

# Kosmologie-Rechner WELTTABELLEN 3.2

## Weltlinien des Standardmodells der Kosmologie ( $\Lambda$ CDM-Modell) in Tabellenform

Programmbeschreibung (Version 12. März 2026)

Windows-Programmversion 3.2

**Autor: Werner Lange, Altos/Paraguay, langealtos  
werner.lange.altos@gmail.com**

### Zusammenfassung

Der Kosmologie-Rechner WELTTABELLEN stellt für das räumlich flache Standardmodell der Kosmologie ( $\Lambda$ CDM-Modell) Weltlinien von Galaxien und Photonen in Tabellenform bereit. Berechnet werden zudem Hubble-Radius, Lichtkegel für beliebige Scheitelpunkte, Ereignishorizont und Partikelhorizont in Abhängigkeit von benutzerdefinierten Koordinatenbereichen. Weiter können verschiedene kosmologische Parameter, Schnittpunkte zwischen Lichtkegel, Hubblesphäre und Horizonten sowie die Rezessionsgeschwindigkeiten von Galaxien, Hubblesphäre und Horizonten ermittelt werden. Von Galaxien zu einem bestimmten Zeitpunkt emittiertes Licht kann jenen Lichtkegel-Scheitelpunkten zugeordnet werden, an denen das emittierte Licht sichtbar ist. Alle Ergebniswerte können in Abhängigkeit von Skalenfaktor, Rotverschiebung und Zeit seit dem Urknall bereitgestellt und sowohl in mitbewegten wie auch in physikalischen Koordinaten abgerufen werden.

WELTTABELLEN zeichnet die wesentlichen Charakteristiken des  $\Lambda$ CDM-Modells in Tabellenform nach. Das Programm kann von Fachleuten (z.B. Dozenten und Studenten an der Universität) und an Kosmologie interessierten Laien verwendet werden. Nach Kenntnis des Autors ist kein kostenloses vergleichbares Programm am Markt verfügbar. Der Leistungsumfang des Programms übersteigt bei Weitem die Fähigkeiten der im Internet auffindbaren Online-Kosmologie-Kalkulatoren.

Neben der Ausgabe von Standardtabellen ist das Programm in der Lage, eine große Anzahl Variablen in eine sogenannte Plotter-Datendatei zu schreiben. Der Begriff *Plotter-Datendatei* ist dabei am ersten angedachten Verwendungszweck, nämlich der Vorbereitung von Zeichnungen orientiert. Grundsätzlich kann dieser Dateityp jedoch auch für sämtliche Anwendungen zur Verarbeitung kosmologischer Daten verwendet werden.

Das aus mehreren Ordnern bestehende WELTTABELLEN-Dateisystem mit dem ausführbaren WELTTABELLEN-Programm im Zentrum kann als ZIP-Datei zusammen mit einer Installationsanweisung kostenlos aus dem Internet heruntergeladen werden.

Das Programm stellt keine graphische Benutzeroberfläche bereit.

Schlüsselwörter: Kosmologie-Kalkulator,  $\Lambda$ CDM, Weltlinie, mitbewegte Distanz, Eigendistanz, Hubble-Parameter, Hubblesphäre, Ereignishorizont, Lichtkegel, Partikelhorizont, Rezessionsgeschwindigkeit, Abbremsparameter, kosmologische Parameter, Skalenfaktor, Rotverschiebung, Lichtlaufzeit, konforme Zeit, kritische Dichte

**English translation of title and abstract for publication on viXra.**

**Cosmology Calculator WELTTABELLEN 3.2**

**Worldlines of the Standard Model of Cosmology (Lambda-CDM Model) in Tabular Form**

**Program Description (Version 12 March 2026)**

Windows program version 3.2

**Author: Werner Lange, Altos/Paraguay, langealtos  
werner.lange.altos@gmail.com**

**Abstract**

The cosmology calculator WELTTABELLEN (literally: WORLDTABLES) provides worldlines of galaxies and photons in tabular form for the spatially flat standard model of cosmology (Lambda-CDM model). In addition, Hubble radius, light cones for arbitrary apexes, event horizon and particle horizon are calculated as a function of user-defined coordinate ranges. Furthermore, various cosmological parameters, intersections between light cone, Hubble sphere and horizons as well as the recession velocities of galaxies, Hubble sphere and horizons can be determined. Light emitted from galaxies at a specific point in time can be assigned to those light cone apexes at which the emitted light is visible. All result values can be provided depending on scale factor, redshift, and time since the Big Bang, and can be displayed in comoving and physical coordinates.

WELTTABELLEN traces the essential characteristics of the Lambda-CDM model. The program may be used by professionals (e.g. lecturers and students at the university) and lay people interested in cosmology. To the author's knowledge, no free comparable software is available on the market. The performance range of the program exceeds by far the capabilities of the online cosmology calculators that can be found on the internet.

In addition to outputting standard tables, the program is capable of writing a large number of variables to a so-called plotter data file. The term *plotter data file* is based on the initial intended use, namely the preparation of drawings. In principle, however, this file type can be used for all applications for processing cosmological data.

The WELTTABELLEN file system, consisting of several folders with the executable WELTTABELLEN program at its core, can be downloaded free of charge from the Internet as a ZIP file together with installation instructions.

The offline program does not provide a graphical user interface. There are no English versions of program printouts and program description.

**Keywords:** cosmology calculator,  $\Lambda$ CDM, worldline, comoving distance, proper distance, Hubble parameter, Hubble sphere, event horizon, light cone, particle horizon, recession velocity, deceleration parameter, cosmological parameters, scale factor, redshift, light travel time, conformal time, critical density

**Änderungsverfolgung**

Version Programm- beschreibung	Änderungen	Programm- version
19. September 2022	Erste Version der Programmbeschreibung	0.2
29. September 2022	Zusätzliches Kapitel mit Beispielen für Programm- ausdrucke	0.2
22. Dezember 2022	Einführung von Plotter-Datendateien, vorherige Version teilweise überarbeitet	1.0
17. Juli 2024	Generelle Überarbeitung	2.0
07. Oktober 2025	Erste Version für WELTTABELLEN-Internet-Seite	3.0
08. Dezember 2025	Rezessionsgeschwindigkeit des Lichtkegels, Rezession in mitbewegten Koordinaten, binäre Über- tragung von Größen von Aufgabe 2 nach Aufgabe 1	3.1
12. März 2026	NEUHEUTE-Methodik	3.2

**Change tracking**

Program Description Version	Changes	Program Version
19 September 2022	First version of the program description	0.2
29 September 2022	Additional chapter with examples for program printouts	0.2
22 December 2022	Introduction of Plotter data files, partial revision	1.0
17 July 2024	General revision	2.0
07 October 2025	First version for WELTTABELLEN Internet site	3.0
08 December 2025	Recession speed of the light cone, recession in comoving coordinates, binary transfer of quantities from task (Aufgabe) 2 to task 1.	3.1
12 March 2026	NEUHEUTE (literally: NEW TODAY) methodology	3.2

Die aktuelle Version der Beschreibung ist nicht konsolidiert. Schreibfehler und Umbruchfehler sind möglich.

The current version of the description is not consolidated. Typos and formatting errors are possible.

**Inhaltsverzeichnis**

1	Leistungen des Programms WELTTABELLEN.....	6
1.1	$\Lambda$ CDM-Modell .....	6
1.2	$\Lambda$ CDM-Parametersatz .....	6
1.3	Bearbeitete Aufgabenstellungen.....	7
1.3.1	Beschreibung der vorbereiteten Aufgaben .....	8
1.3.2	Struktur der Eingangsdaten .....	8
1.4	Zugang zu WELTTABELLEN und Einstieg ins Programm.....	9
2	Vorbereitende Bemerkungen.....	9
2.1	Programmierungsumgebung .....	9
2.2	Rechtliche Hinweise / Avisos legales.....	10
2.2.1	Deutsche Version.....	10
2.2.2	Versión española .....	10
3	Grundlegendes Konzept des $\Lambda$ CDM-Modells.....	11
3.1	Einige theoretische Grundlagen.....	11
3.2	Hilfestellung durch Zeichnungen .....	12
3.2.1	Yukterez (Simon Tyran).....	12
3.2.2	Davis/Lineweaver.....	13
3.2.3	Erläuterung der Weltlinien der Galaxie SPT0418-47.....	13
3.2.4	Zusätzliche Bemerkungen zu den Zeichnungen .....	14
3.3	Begriffserläuterung: Hubblesphäre und Hubbleradius .....	15
3.4	Weitere Distanzbegriffe.....	16
3.5	Skalenfaktor, Zeit und Rotverschiebung .....	16
3.6	Rotverschiebung als Begleitwert von Zeit und Skalenfaktor .....	17
3.7	Rotverschiebung zur Kennzeichnung der Weltlinien von Galaxien.....	18
3.8	Schnittpunkt zwischen Ereignishorizont und Partikelhorizont als Beispiel .....	19
3.9	Verwendete Formeln .....	19
3.10	Alternativen zur Normierung des Skalenfaktors .....	20
3.11	Rezessionsgeschwindigkeiten .....	21
4	Ein einfacher Einstieg in den Kosmologie-Rechner.....	22
4.1	Hinweis auf die Installationsanleitung .....	22
4.2	+++++ VORBEREITETE STEUERDATEIEN +++++.....	22
4.3	Steuerkennzeichen.....	35
4.4	Beispiel für eine Steuerdatei.....	36
4.5	Bemerkungen zur Rechen- und Darstellungsgenauigkeit.....	37
4.5.1	Berechnungsgenauigkeit.....	37
4.5.2	Anzeige von Ergebnissen .....	38
4.6	Obere und untere Grenze für das Rechnen mit WELTTABELLEN .....	38
5	Verwaltungsdateien des Programms WELTTABELLEN.....	39
5.1	+++++ AUFBAU DER STEUERDATEI STEUERW +++++ .....	39
5.2	Dateien vom Typ T_NACH_A.....	61
5.3	Platzhalter .....	61
5.4	Erzeugung von Dateien vom Typ T_NACH_A via STEUERWa.....	62
5.5	Beispiel für die Erzeugung einer T_NACH_A-Datei.....	63
5.6	Datei ITERATIONENW .....	64
5.7	Datei GRENZENW .....	66
5.8	Datei MINUS31, Konsolbefehle m31 und m211 .....	67
5.9	Wiedereinlesbare Daten (Plotter-Datendateien).....	67
5.10	Verwendung von Plotter-Datendateien durch GNUPLOT.....	68
5.11	Beispiele für Plotterzeichnungen.....	69
5.12	Bemerkungen zu Notepad .....	69
5.13	Übernahme von Aufgabe-2-Ergebnissen in Aufgabe 1, Programm a2print.....	70
5.14	NEUHEUTE-Methodik, Befehl DNH.....	71
5.14.1	Methodik.....	71
5.14.2	Vorbereitete ALTHEUTE-Steuerdateien mit NEUHEUTE-Steuertyp .....	74

5.14.3	Extrembeispiel.....	77
6	Symbole, Abkürzungen und Konsolbefehle.....	79
6.1	Symbole und Abkürzungen.....	79
6.2	WELTTABELLEN-Konsolbefehle.....	80
7	Literatur.....	81
8	Anhang 1: Installation von WELTTABELLEN.....	83
8.1	Veröffentlichung via Webador, Download-Namen von Dateien.....	83
8.2	Installation in Kurzfassung (Laufwerk C: oder USB-Stick).....	83
8.3	Verweis auf die Programmbeschreibung.....	84
8.4	Betriebssystem-Umgebungen für WELTTABELLEN.....	84
8.5	Herunterladen der WELTTABELLEN-Ordner und -Dateien.....	84
8.6	Installation von WELTTABELLEN.....	84
8.7	+++++ Einzige erforderliche manuelle Änderung – BITTE LESEN!!! +++++.....	85
8.8	Basisfunktionsweise von WELTTABELLEN.....	85
8.9	WELTTABELLEN-Windows-Umgebung.....	85
8.10	Die wichtigsten Konsolbefehle.....	86
8.11	Ausgabedateien.....	87
8.12	Unterverzeichnisse des Hauptverzeichnisses.....	87
8.13	Funktionstest.....	88
8.14	Eventuelle Änderung von Verzeichnisnamen.....	89
8.15	Konsolbefehle m211 und m31.....	89
8.16	Wartung, Fehlermeldungen, Änderungswünsche, Fragen und Kommentare.....	90
9	Anhang 2: Beispiele.....	91
9.1	Steuerdateien.....	91
9.2	Befehlsausführung.....	97
9.3	WELTTABELLEN-Ausdrucke.....	98

# 1 Leistungen des Programms WELTTABELLEN

## 1.1 $\Lambda$ CDM-Modell

Das  $\Lambda$ CDM-Modell beschreibt auf Basis weniger Parameter die Entwicklung eines seit einem singulären Ereignis (dem Urknall) expandierenden Universums. Da die Resultate des entwickelten Formelwerks gut mit fast allen kosmologischen Beobachtungen übereinstimmen, wird das  $\Lambda$ CDM-Modell auch als Standardmodell der Kosmologie bezeichnet. Verschiedene dieser Gesetzmäßigkeiten werden durch Phänomene gedeutet, die weder beobachtet noch erklärt werden können. Das *CDM* (*Cold Dark Matter*) steht für Dunkle Materie, einer unsichtbaren, hypothetischen Form von Materie, die heute etwa 85 % der gesamten Materie im Universum ausmacht. Sie emittiert kein Licht und kann nicht beobachtet werden – ihre Existenz wird nur über ihre gravitativen Effekte erschlossen. Das  $\Lambda$  steht für Dunkle Energie, einer hypothetischen Form von Energie, die heute mehr als 2/3 der Materie-/Energie-Dichte des Universums ausmacht und die für die beschleunigte Expansion des Universums verantwortlich gemacht wird.

Das Universum des  $\Lambda$ CDM-Modells ist räumlich flach, d.h. die Winkelsumme von Dreiecken beträgt überall 180°. Diese Aussage wird durch die empirisch ermittelte Größe der kritischen Dichte erhärtet – siehe [14]. Für jeden festen Zeitpunkt kann der Raum durch euklidische Koordinaten umschrieben werden.

Massenbedingte Raumkrümmungen müssen oberhalb des von WELTTABELLEN behandelten theoretischen Modellansatzes untersucht werden. Das Universum ist flach, doch in der Umgebung großer Massen (Beispiel: näher gelegene Galaxien formen Gravitationslinsen für entferntere Galaxien in Sichtlinie) krümmt sich der Raum.

## 1.2 $\Lambda$ CDM-Parametersatz

Das  $\Lambda$ CDM-Modell ist von verschiedenen Parametern abhängig. Die heute verlässlichsten Ergebnisse dieser Parameterfindungen entstammen zwei Weltraumteleskop-Missionen zur Vermessung der kosmischen Mikrowellen-Hintergrundstrahlung *CMB*: WMAP (NASA/USA, gestartet 2001) und Planck (ESA/Europa, gestartet 2009). Die Auswertungen dieser Missionen wurden mehrfach präzisiert und liegen als WMAP1, 3, 5, 7 und 9 und Planck13, 15 und 18 vor. Die wichtigsten Ergebnisse für das  $\Lambda$ CDM-Modell sind der heutige Wert des Hubble-Parameters sowie die heutigen Anteile von Strahlung, Materie und Dunkler Energie an der Materie-/Energiedichte des Universums – siehe [15] Planck18v4 und [16] WMAP9v3.

Findet man im Internet sich scheinbar widersprechende Ergebnisse für verschiedene kosmologische Phänomene, so mag dies daran liegen, dass für Berechnungen unterschiedliche Parametersätze verwendet wurden. Gute Darstellungen sollten den zugrundeliegenden Parametersatz veröffentlichen.

Die wichtigsten Parameter des Parametersatzes *Planck18* für den Zeitpunkt HEUTE sind:

Hubble-Parameter $H_0$	67.4 km/Mpc/s *) entspricht: 0.21842852E-17 1/s
Materie-Anteil $\Omega_M$ an der Materie/Energie-Dichte des Universums	0.315
Strahlungsanteil $\Omega_R$	0.9209605429E-04
Anteil Dunkler Energie $\Omega_\Lambda$	0.6849079039

\*) Kilometer pro Megaparsec pro Sekunde

Nur  $H_0$  und  $\Omega_M$  müssen tatsächlich vorgegeben werden.  $\Omega_R$  lässt sich über die heutige CMB-Temperatur berechnen – siehe [14]. Die heutige CMB-Temperatur ist in allen drei Planck-Auswertungen mit 2.7255 K angegeben. Ist geklärt, dass das Universum räumlich flach ist, gilt  $\Omega_\Lambda = 1 - \Omega_M - \Omega_R$ . Häufig wird neben dem Symbol H für den Hubble-Parameter auch den Symbolen  $\Omega_M$ ,  $\Omega_R$ , und  $\Omega_\Lambda$  noch ein Index 0 (NULL) angehängt, um anzudeuten, dass es sich um HEUTIGE Werte handelt. Die entsprechenden Werte für andere Zeitpunkte lassen sich über das  $\Lambda$ CDM-Formelwerk berechnen - siehe ebenfalls [14].

Aus den **Planck18**-Parametern lassen sich die folgenden **HEUTIGEN** Größen ableiten:

Zeit seit dem Urknall	13.790687 Mrd. Jahre
Physikalische Entfernung des Beobachters zur Hubblesphäre	14.507303 Mrd. Lichtjahre
Physikalische Entfernung des Beobachters zum Ereignishorizont	16.679351 Mrd. Lichtjahre
Physikalische Entfernung des Beobachters zum Partikelhorizont	46.132820 Mrd. Lichtjahre

Der kosmische Mikrowellenhintergrund CMB ist HEUTE gemäß Planck18 unter einer Rotverschiebung  $z=1090$  SICHTBAR. Daraus lässt sich eine Emissionszeit von 371'127 Jahren nach dem Urknall berechnen.

Der HEUTE SICHTBARE kosmische Mikrowellenhintergrund war 371'127 Jahre nach dem Urknall *41.447549 Millionen Lichtjahre* vom Beobachter entfernt. Aufgrund der Expansion des Universums beträgt die Entfernung der emittierenden mitbewegten Objekte *HEUTE 45.219275 Mrd. Lichtjahre* vom Beobachter (Partikelhorizont mit Bezugszeitpunkt CMB).

Für die neu eingeführten Begriffe sei auf W. Lange [1] verwiesen. Dieses Dokument kann man als Begleitdokument der hier vorliegenden Programmbeschreibung verstanden werden. Dort sind auch viele Formeln, die im hier vorliegenden Dokument in Abhängigkeit vom Skalenfaktor  $a$  dargestellt werden, als Funktion der Zeit nach dem Urknall  $t$  hergeleitet.

Der **Beobachter** wird in Kap. 3.1 genauer eingeführt. Das Wort (in Großbuchstaben) SEHEN oder abgeleitete Begriffe wie SICHTBAR sollen andeuten, dass eine Galaxie Licht in Richtung des Beobachters emittiert hat und dass dieses Licht den Beobachter erreicht. Ob der Beobachter als theoretisches Konstrukt dieses Licht (alles sehr menschlich gedacht) mit einem Auge oder einem technischen Gerät tatsächlich wahrnehmen kann, ist dabei irrelevant.

### 1.3 Bearbeitete Aufgabenstellungen

Das Programm WELTTABELLEN stellt für das räumlich flache Standardmodell der Kosmologie ( $\Lambda$ CDM-Modell, Lambda Cold Dark Matter) Weltlinien von Galaxien und Photonen in Tabellenform bereit. Berechnet werden zudem Hubble-Radius (Radius der Hubblesphäre), Lichtkegel für beliebige Scheitelpunkte, Ereignishorizont und Partikelhorizont. Weiter können verschiedene kosmologische Parameter, die Schnittpunkte zwischen Lichtkegel, Hubblesphäre und Horizonten sowie die Rezessionsgeschwindigkeiten von Galaxien, Hubblesphäre und Horizonten ermittelt werden. Alle Werte können in Abhängigkeit von Skalenfaktor, Rotverschiebung und Zeit seit dem Urknall bereitgestellt werden. Bezogen auf den Skalenfaktor können alle Größen von  $10^{-16}$  bis  $10^{30}$  durchlaufen werden. Alle Ergebnisse können in mitbewegten und physikalischen Koordinaten abgerufen werden.

### 1.3.1 Beschreibung der vorbereiteten Aufgaben

Drei als AUFGABEN konzipierte Leistungen können über Steuerdateien abgerufen werden. Solche Steuerdateien kann man auch als Mini-Programme verstehen. Für verschiedene vorbereitete (z.B. **Planck18**, **WMAP9**) oder vom Benutzer festgelegte **Parametersätze** werden die folgenden Aufgaben 1-3 in mitbewegten oder physikalischen Koordinaten gelöst.

- 1) Ausgabe von Hubble-Parameter, Hubble-Radius, Ereignishorizont, Lichtkegel und Partikelhorizont in Abhängigkeit von Skalenfaktor, Rotverschiebung, kosmischer Zeit bzw. Look-Back-Time, wobei die zuletzt genannten 4 Größen über die Steuerdateien Ausgabe von Hubble-Parameter, Hubble-Radius, Ereignishorizont, Lichtkegel und Partikelhorizont in Abhängigkeit von Skalenfaktor, Rotverschiebung, kosmischer Zeit bzw. eingegeben werden können, wobei der Scheitel des Rückwärts-Lichtkegels ein zusätzlicher Eingabeparameter ist und wobei alle Ergebnisse in Abhängigkeit von benutzerdefinierten Koordinatenbereichen bereitgestellt werden.

Neben den Standardtabellen werden in einer zusätzlichen Datei verschiedene Deltareihen (z.B. Ereignishorizont minus Hubble-Radius) sowie  $a'(t)$ ,  $a''(t)$  und Abbremsparameter  $q$  ausgegeben. In einer dritten Datei werden die Rezessionsgeschwindigkeiten von Galaxien auf Hubblesphäre, Lichtkegel oder Horizonten und, sofern gewünscht, die Rezessionsgeschwindigkeiten von Hubblesphäre und Horizonten selbst ausgegeben.

Weiter können rund 50 kosmologische Parameter bzw. Funktionen in eine „Plotter-Datendatei“ ausgegeben werden. Neben der Vorbereitung für eine Plotterausgabe (im Zusammenwirken mit Plotterprogrammen) können die zugeordneten Datenreihen auch ohne Plotterabsicht in Abhängigkeit von benutzerdefinierten Koordinatenbereichen zur Weiterverarbeitung durch andere Programme oder das Erstellen von wissenschaftlichen Arbeiten verfügbar gemacht werden.

- 2) Berechnet werden verschiedene kosmologische Parameter: a) Schnittpunkt Ereignishorizont – Partikelhorizont. b) Schnittpunkt Lichtkegel – Partikelhorizont. c) Schnittpunkt Lichtkegel-Hubblerradius. Der Scheitel des Lichtkegels kann in beiden Fällen frei gewählt werden. d) Umkehrpunkt von verlangsamer zu beschleunigter Expansion. e) Wendepunkt des mitbewegten Hubble-Radius. f) Zeitpunkt oder Skalenfaktor exakter Äquivalenzen zwischen verschiedenen Dichteparametern.
- 3) Berechnet werden Weltlinien von flexibel definierbaren Galaxien und deren Schnittpunkte mit der Hubblesphäre sowie mit Lichtkegeln bis zum Ereignishorizont.

### 1.3.2 Struktur der Eingangsdaten

Alle Aufgaben werden über Parametersätze gesteuert. Erwartet werden der heutige Hubbleparameter  $H_0$  und der heutige Anteil  $\Omega_M$  der Materie an der Materie/Energie-Dichte des Universums. Zusätzlich benötigt wird die heutige Temperatur der Mikrowellen-Hintergrundstrahlung, über die der heutige Anteil  $\Omega_R$  der Strahlungsdichte berechnet wird. Zusätzlich wird der heutige Wert ZCMB der Rotverschiebung der Mikrowellen-Hintergrundstrahlung erwartet. ZCMB geht in keine Berechnungen ein, wird aber für viele kosmologische Fragestellungen benötigt.

Alternativ kann auch  $\Omega_R$  vorgegeben werden, und die heutige Temperatur der Mikrowellen-Hintergrundstrahlung wird aus dieser Größe berechnet.

Diese Größen werden üblicherweise von den Institutionen, die Parametersätze veröffentlichen, mitgeliefert. Sollte eine Größe nicht vorhanden sein, so setzt WELTTABELLEN die entsprechende Planck-Größe ein. Es ist auch möglich, fehlende Größen selbst festzulegen.

Über den Parametersatz kann auch der heutige Wert  $t_0=HEUTE$  für die seit dem Urknall verstrichene Zeit berechnet werden. Gemäß Vereinbarung ist der heutige Wert für den Skalenfaktor  $a_0=1$ .

Alle 3 Aufgaben können über Skalenfaktor- oder Zeit-nach-dem-Urknall-Eingabegrößen, zum Teil auch über Rotverschiebungseingabegrößen gesteuert werden – siehe z.B. Kap. 3.5. Ausgegeben werden können physikalische oder mitbewegte Koordinaten, wo angemessen (z.B. bei den Rezessionsgeschwindigkeiten) auch abgeleitete Oberflächenwerte von Lichtkegel, Hubblesphäre und Horizonten.

Aufgaben 1 und 2 beschäftigen sich mit diesen kosmologischen Konstrukten wie Lichtkegel, Hubblesphäre, Ereignishorizont und Partikelhorizont. Man mag es als eine natürliche Wahl betrachten, den Scheitel des Lichtkegels beim Wert  $t_0=HEUTE$  oder  $a_0=1$  anzusetzen. WELTTABELLEN ist allerdings in der Lage, auf Basis des sich auf den Zeitpunkt HEUTE beziehenden Parametersatzes Lichtkegel beliebiger Scheitelpunkte zu betrachten. Man muss daher bei den Aufgaben 1 und 2 neben dem Parametersatz den Lichtkegelscheitelpunkt mit bereitstellen.

Aufgabe 3 befasst sich mit einer Galaxie und ihren Schnittpunkten mit den genannten kosmologischen Konstrukten. Ausreichend ist die Bereitstellung des mitbewegten Abstands dieser Galaxie vom Beobachter oder des physikalischen Abstands zu einem bestimmten Zeitpunkt nach dem Urknall. Dieser Abstand zu einem bestimmten Zeitpunkt kann auch indirekt über die Rotverschiebung der Galaxie im Scheitel eines Lichtkegels oder in anderer Form über Zeit oder Skalenfaktor in Verbindung mit einem Lichtkegel bereitgestellt werden.

Über die NEUHEUTE-Methodik (siehe Kap. 5.14) kann  $a=1$  auch auf andere Zeitpunkte verschoben werden.

#### **1.4 Zugang zu WELTTABELLEN und Einstieg ins Programm**

Kap. 8.5 der Installationsanweisung (Kap. 8) erläutert, wie und von wo WELTTABELLEN heruntergeladen werden kann. In Kap. 8 sind auch die Begriffe *Installationslaufwerk* und *Hauptverzeichnis* (Name: WTAB) erläutert, die gelegentlich im Text erwähnt werden.

WELTTABELLEN ist über zahlreiche Parameter steuerbar, die sämtlich in der hier vorliegenden Programmbeschreibung dargestellt sind. Die Länge der Darstellung mag den Benutzer im ersten Augenblick abschrecken.

Der Funktionstest (Kap. 8.13) der Installationsanweisung (Kap. 8) sollte jedoch einen einfachen Einstieg ins Programm ermöglichen.

## **2 Vorbereitende Bemerkungen**

### **2.1 Programmierumgebung**

Das Programm WELTTABELLEN des Autors wurde mittels GNU-FORTRAN77 über eine Windows-Umgebung der Universität York/Toronto Kanada [7] erstellt:

<http://www.cs.yorku.ca/~roumani/fortran/index.html> .

Wenn man von diesem Link nach DOWNLOADS abzweigt, verfügt man über alle notwendigen Informationen. Alternativ kann man auch über die Seite

<http://www.cs.yorku.ca/~roumani/fortran/ftn.htm>

einsteigen.

Die Verzeichnisstruktur der FORTRAN-Programmierungsumgebung enthält für wissenschaftliche numerische Berechnungen die SLATEC-Bibliothek. Von dieser Bibliothek wurde lediglich auf die Subroutine DQAGS zur numerischen Integration zurückgegriffen, die wiederum die Subroutine DQAGSE aufruft. Beide Unterprogramme kann man sich auch im Internet ohne Schwierigkeiten im Quellcode beschaffen.

## **2.2 *Rechtliche Hinweise / Avisos legales***

### **2.2.1 Deutsche Version**

Der Autor stellt das für eigene Zwecke erstellte Computer-Programm WELTTABELLEN (Kosmologische Weltlinien in Tabellenform) interessierten Benutzern kostenlos zur Verfügung. Der Benutzer erhält eine Nutzungslizenz. Der FORTRAN-Quellcode wird nicht ausgeliefert. Das Programm kommt ohne Garantie und ohne Haftung.

Der Benutzer wird WELTTABELLEN als Quelle erwähnen, falls er durch das Programm ermittelte Zahlen veröffentlicht.

Der Benutzer wird das Programm nicht verwenden, wenn er mit den rechtlichen Rahmenbedingungen nicht einverstanden ist.

Es gilt paraguayisches Recht. Gerichtsstand ist Altos/Cordillera, PARAGUAY.

Die rechtlichen Hinweise sind in deutscher und spanischer Sprache formuliert. Im Zweifelsfall gilt die spanische Version.

### **2.2.2 Versión española**

El autor pone a disposición de los usuarios interesados, de forma gratuita, el programa informático WELTTABELLEN (líneas de universo cosmológicas en forma de tabla), creado para fines propios. El usuario obtiene una licencia de uso. No se entrega el código fuente FORTRAN. El programa se suministra sin garantía y sin responsabilidad.

El usuario mencionará WELTTABELLEN como fuente si publica cifras determinadas mediante el programa.

El usuario no utilizará el programa si no está de acuerdo con las condiciones legales.

Se aplica la legislación paraguaya. La jurisdicción competente es Altos/Cordillera, PARAGUAY.

Las notas legales están redactadas en alemán y español. En caso de duda, prevalecerá la versión española.

## 3 Grundlegendes Konzept des $\Lambda$ CDM-Modells

### 3.1 Einige theoretische Grundlagen

Auf großen Skalen wird das seit dem Urknall expandierende Universum als isotrop und homogen angenommen. Der lediglich durch expansionsbedingte Abstandsänderungen charakterisierte Raum wird auch als Hubble-Flow bezeichnet. Die anwachsenden Abstände zwischen im Hubble-Flow treibenden, als *ruhend* angenommenen (oder synonym *mitbewegten*) Objekten können durch einen Skalenfaktor  $a(t)$  beschrieben werden, der allein von der Zeit  $t$  seit dem Urknall abhängt. Im Sinne der Allgemeinen Relativitätstheorie wird die Zeit als Eigenzeit der im Hubble-Flow treibenden ruhenden Objekte (mit synchronisierten Uhren) verstanden.

Koordinatensysteme für die Raumzeit des Universums bestehen aus 3 Raumachsen und einer Zeitachse. Die Raumachsen kann man im Fall des räumlich flachen  $\Lambda$ CDM-Modells in natürlicher Form als gemäß  $a(t)$  expandierende euklidische Koordinatenachsen interpretieren, wobei ruhende Objekte der Expansion der Achsen folgen. Basis für die Entwicklung des durch die Koordinaten abgebildeten expandierenden Universums ist dabei die Friedmann-Gleichung, zeitlicher Verlauf und Abstände sind durch die Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker-Metrik (FLRW-Metrik) umschrieben.

Anders als für die Zeitachse gibt es für die Raumachsen kein natürliches Maß. Entfernungen zwischen Objekten zu konstanter gemeinsamer Zeit existieren, sind jedoch nicht messbar. Vielmehr müssen diese Distanzen über die kosmologische Theorie erschlossen werden. "Mitbewegte Koordinaten" treiben mit dem Hubble-Flow. Die mitbewegte Distanz (englisch: comoving distance) zwischen Objekten, die ebenfalls im Hubble-Flow treiben, ändert sich trotz der Expansion des Universums nicht. Im Gegensatz dazu spiegeln physikalische Koordinaten die mit der Expansion des Universums anwachsenden Entfernungen als physikalische Distanz oder synonym Eigendistanz (englisch: proper distance) zwischen Objekten wider. Aufgrund von Isotropie und Homogenität des Universums kann der Ursprung des Koordinatensystems im Prinzip an einem beliebigen Ort des Universums angesetzt werden.

Genaugenommen gelten die Hubble-Gesetze, über die die Rezessionsgeschwindigkeiten von Objekten hergeleitet werden, nur für die anfangs eingeführten *ruhenden* (oder synonym *mitbewegten*) Objekte. Außerdem wollen wir einen *Beobachter* annehmen, der seit dem Urknall und für alle zukünftigen Zeiten gemeinsam mit den ruhenden Objekten im Hubble-Flow treibt.

Der Beobachter selbst unterscheidet sich von einem ruhenden Objekt nur dadurch, dass er lediglich mit Lichtgeschwindigkeit übermittelte Photonen empfängt, während die mitbewegten Objekte (i.a. Galaxien) diese Photonen (auch) emittieren. Der heutige Ort des Beobachters ist in der Milchstraße (hier bei uns) gelegen. Durch diese Festlegung werden zum ersten Mal Ort und Zeit einer kosmologischen Instanz definiert. Wir stellen den Beobachter ins Zentrum unserer theoretischen Überlegungen und betrachten als willkürliche Festlegung das Universum für alle Zeiten vom Ort des Beobachters aus. Alle mitbewegten Objekte entfernen sich mit dem Hubble-Flow vom Beobachter. Nur von den mitbewegten Objekten emittierte, auf den Beobachter gerichtete (bewegliche) Photonen erreichen (eventuell) den Beobachter.

Die von WELTTABELLEN veröffentlichten Dokumente kennen nur diesen einen Beobachter. Es sei aber darauf hingewiesen, dass verschiedene Autoren den Begriff weiter definieren und verschiedene theoretische Aussagen, für die wir mitbewegte Objekte verwenden, auch über den Begriff des Beobachters herleiten. Der Beobachter wird übrigens allein aus Verständnisgründen

(was machen wir hier überhaupt?) zu uns in die Milchstraße verlegt. Alle hergeleiteten Formeln und alle Ergebnisse sind unabhängig vom Ort des Beobachters.

WELTTABELLEN befasst sich mit Abständen von Galaxien und kosmologischen Konstrukten (Lichtkegel, Hubblesphäre, Horizonte) von diesem Beobachter und skizziert in Tabellenform die Weltlinien dieser Konstrukte und dieser Galaxien sowie die Weltlinien von auf den Beobachter gerichteten Photonen, die von Galaxien emittiert werden.

Anders als die als ruhend angenommenen Objekte sind die Galaxien jedoch in gravitativ bedingte Bewegungen eingebunden. Diese Pekuliarbewegungen werden durch die hier zugrundeliegende Theorie nicht abgebildet. Je länger das Licht benötigt hat, den heutigen Ort der Milchstraße zu erreichen, desto geringer sind die durch Pekuliarbewegungen bedingten relativen Fehler.

Der Beobachter in der Milchstraße wird heute, in der Vergangenheit und in der Zukunft im Zentrum des beobachtbaren und durch den Partikelhorizont begrenzten Universums angenommen. Wer mit der theoretischen Annahme keine Schwierigkeiten hat, dass für die Milchstraße keine gravitativ bedingten Pekuliarbewegungen stattgefunden haben, kann die Weltlinie des Beobachters unter dieser Annahme als Weltlinie der Milchstraße interpretieren. Zu bemerken ist, dass sich die wirkliche Weltlinie der Milchstraße nicht über eine nicht allzu große – hier nicht ermittelte - kritische Größe hinaus von der Weltlinie des Beobachters entfernt haben kann, da sich die Milchstraße sonst aufgrund der Expansion des Universums für immer vom Beobachter entfernt hätte.

### 3.2 *Hilfestellung durch Zeichnungen*

In den im Folgenden erwähnten Zeichnungen sind jeweils eine waagerechte Raumachse und eine senkrechte Zeitachse aufgeführt. Dimension der Raumachse ist Milliarden Lichtjahre, die der Zeitachse Milliarden Jahre. Zusätzlich zur Zeitdimension mag auf der Zeitachse noch der zum jeweiligen Zeitpunkt zugehörige Skalenfaktor eingezeichnet sein.

**Achtung:** Üblicherweise wird der Abstand zum Beobachter (Raumachse) als Funktion von Zeit oder Skalenfaktor betrachtet. In den Zeichnungen ist der unabhängige Wert (Zeit oder Skalenfaktor) auf der vertikalen, der abhängige Wert (Abstand) auf der waagerechten Achse abgetragen. Das Koordinatensystem ist also im Vergleich zum gewohnten Bild zur Darstellung von Funktionen achsenverkehrt. Insbesondere werden deshalb Steigungen gern fehlinterpretiert. Um zum gewohnten Bild zurückzukehren, muss man die Zeichnungen über die den Punkt (Zeit=0, Abstand=0) enthaltende Diagonale (von links unten nach rechts oben) spiegeln.

#### 3.2.1 **Yukterez (Simon Tyran)**

Zunächst wird empfohlen, die animierten Zeichnungen von Yukterez (Simon Tyran, Wien) [10] zu studieren.

<http://lcdm.yukterez.net/i.html#plot>

Die beiden Zeichnungen (eine für physikalische, die andere für mitbewegte Koordinaten) zeigen auf der waagerechten Achse eine durch das Zentrum der expandierenden Kugeloberflächen von Hubblesphäre (englisch: hubble sphere), Ereignishorizont (englisch: event horizon) und Partikelhorizont (englisch: particle horizon) verlaufende Gerade, die ohne Beschränkung der Allgemeinheit als eine der 3 räumlichen Koordinatenachsen aufgefasst

werden kann. Der Abstand zwischen 2 Punkten auf dieser Achse ist der Absolutbetrag der Differenz zwischen beiden Punkten.

Die Zeitachse ist die senkrechte Achse der animierten Grafik.

Was man den Zeichnungen auch entnehmen kann: Jedem  $t$  oder  $a$  wird ein fester Entfernungswert auf dem jeweiligen Horizont bzw. der Hubblesphäre zugeordnet. Animiert dargestellt ist nur der Lichtkegel (englisch: light cone), der seine Gestalt im Zeitverlauf für alle Vergangenheitszeitpunkte (und auch alle Zukunftszeitpunkte) insgesamt ändert. Der Mantel des Rückwärts-Lichtkegels zeichnet alle Ereignisse nach, die man im Scheitelpunkt des Lichtkegels SEHEN kann. In der Grafik wandert dieser Scheitel von der frühen Vergangenheit bis in die fernere Zukunft, wobei der heutige Zeitpunkt durch eine waagerechte Linie besonders gekennzeichnet ist.

Das Wort SEHEN soll lediglich andeuten, dass von Ereignissen auf dem Lichtkegel emittierte Photonen den Ort des Beobachters passieren.

In der bildlichen Darstellung sieht man, dass der Rückwärts-Lichtkegel mit steigendem Scheitelpunkt  $T$  (bzw.  $a_S$ ) für jeden Zeitpunkt  $t < T$  (bzw. Skalenfaktor  $a < a_S$ ) langsam (nach außen) größer wird und sich in der Zukunft in physikalischen und mitbewegten Koordinaten mehr und mehr dem Ereignishorizont annähert. In mitbewegten Koordinaten ist diese Annäherung an den Ereignishorizont besonders gut zu erkennen. Die jeweilige Achse am linken Rand ist  $t$ -äquidistant in  $t$  (Zeit seit dem Urknall), die rechte Achse in  $a$  (Skalenfaktor, nicht  $a$ -äquidistant) eingezeichnet.

Am Scheitel  $T$  (bzw.  $a_S$ ) sichtbare Ereignisse kennzeichnen auf den Beobachter gerichtetes Licht, das von Galaxien zu einem bestimmten Vergangenheitszeitpunkt emittiert wurde.

Betrachten wir nun eine Galaxie, deren Licht zu einem Zeitpunkt  $t_1$  emittiert wurde und deren zum Zeitpunkt  $t_1$  emittiertes Licht an einem Scheitel  $T_1$  (z.B. heute) SICHTBAR ist. Stellt man eine solche Galaxie in den Mittelpunkt seiner Überlegungen, so weiß man, dass sich diese Galaxie gemäß geschilderter Theorie vom Beobachter entfernt. Sendet diese Galaxie zu einem späteren Zeitpunkt  $t_2$  weiterhin Photonen in Richtung des Beobachters aus, so ist dieses zum Zeitpunkt  $t_2$  emittierte Licht nun an einem Scheitel  $T_2$  mit  $T_2 > T_1$  SICHTBAR. Das Programm WELTTABELLEN ist in seiner AUFGABE 3 in der Lage, den Verlauf von Galaxien und zugeordneten Scheitelpunkten zu verfolgen.

### 3.2.2 Davis/Lineweaver

Zusätzlich zu den animierten Zeichnungen von Yukterez schlagen wir noch Figure 1 des Artikels von Davis/Lineweaver [2] zum Studium vor. Es handelt sich um die Darstellung analoger kosmologischer Konstrukte wie jene von Yukterez. Anders als bei Yukterez kann man die (unbewegliche) Zeichnung samt ausführlichen Erläuterungen in Ruhe studieren.

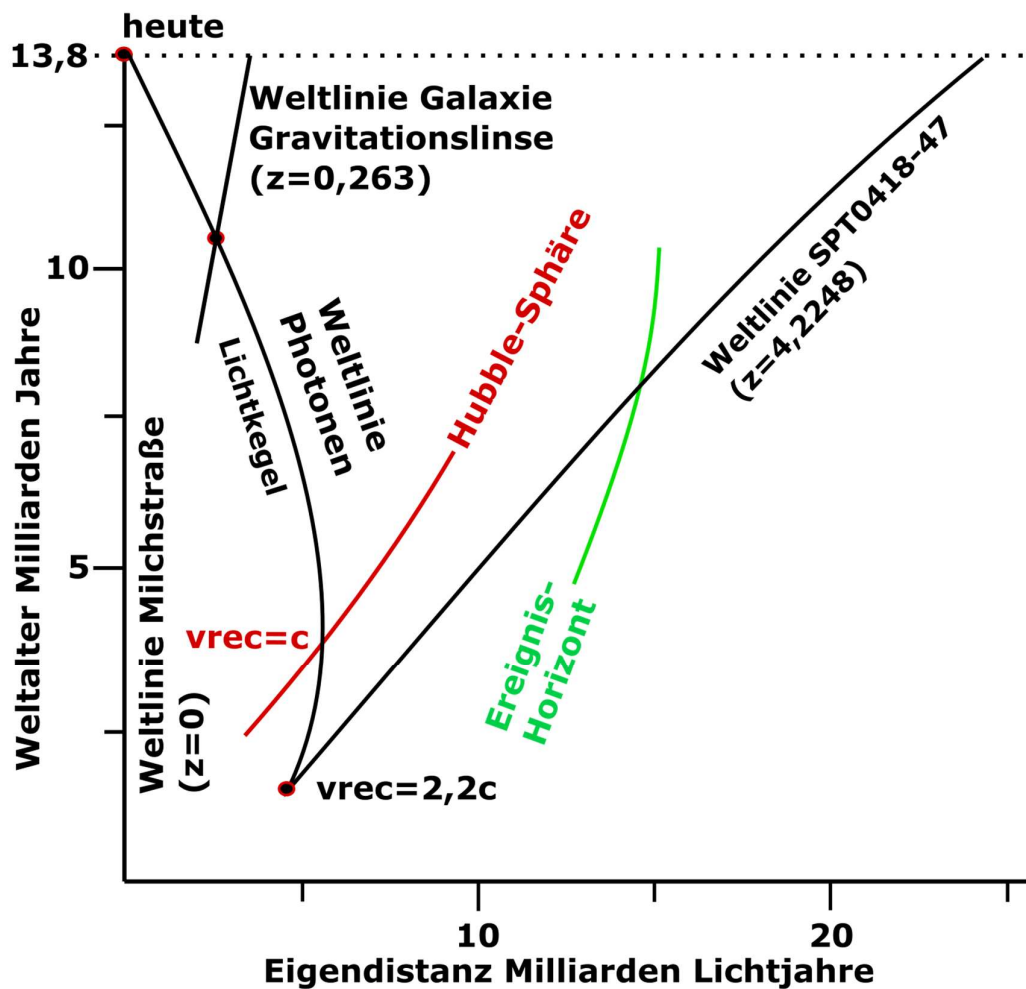
### 3.2.3 Erläuterung der Weltlinien der Galaxie SPT0418-47

Schließlich sei noch auf die bei Wikipedia veröffentlichte Zeichnung des Autors [8] von WELTLINIEN verwiesen. Diese Zeichnung ist unter dem in [8] erwähnten Link in allen Details breit erläutert. Die Erläuterungen ergänzen zudem die oben erläuterten theoretischen Grundlagen für das  $\Lambda$ CDM-Modell.

Auf SPT0418-47 und indirekt auf diese Zeichnung wird bisweilen in den später erläuterten Steuerdateien verwiesen, so dass auch ein Blick auf den Wikipedia-Artikel über die Galaxie SPT0418-47 sinnvoll erscheint. Ein Link auf diesen Artikel ist am unteren Ende der Erläuterungen zur Zeichnung in Wikipedia vorhanden.

In dieser Zeichnung wird die Weltlinie des Beobachters als Weltlinie der Milchstraße etikettiert.

Hat man eine bestimmte Galaxie im Auge, so spricht nichts dagegen, die waagerechte Koordinatenachse ohne Raumwinkel in Richtung des radialen Pfads vom Beobachter zu dieser Galaxie (in der Zeichnung SPT0418-47) zu wählen. Die Galaxie entfernt sich auf dieser Achse vom Beobachter. Auch Photonen bewegen sich auf dieser Achse, und da diese Photonen den Beobachter schlussendlich erreichen, nähern sich diese zumindest in der Endphase dem Beobachter. (Zur *radialen Koordinatenachse* siehe auch W. Lange [1], Kap. 6.1.)



### 3.2.4 Zusätzliche Bemerkungen zu den Zeichnungen

Die doppelseitigen Zeichnungen der beiden Kapitel 3.2.1 und 3.2.2 liefern im Vergleich zur einseitigen Skizze des dritten Beispiels keine Zusatzinformationen und können eventuell sogar in die Irre führen. Oberhalb des Scheitelpunkts des Lichtkegels bewegen sich die Photonen in den negativen Teil der Koordinatenachse. Alle als ruhend angenommenen Galaxien (auch die Galaxie der Gravitationslinse im Artikel über SPT0418-47, überhaupt alle auf einem

Rückwärts-Lichtkegel gelegenen Galaxien, ohne Berücksichtigung von Pekuliarbewegungen) entfernen sich im positiven Koordinatenbereich vom Beobachter.

Die Weltlinie jeder Galaxie wird gemäß zugrundeliegender Theorie zu einem bestimmten Zeitpunkt den Ereignishorizont schneiden. Liegt die Galaxie erst einmal hinter dem Ereignishorizont, wird sie in Zukunft vom Beobachter nicht mehr zu SEHEN sein. Je mehr sich eine Galaxie dem Ereignishorizont nähert, desto größer wird der  $t$ - oder  $a$ -Wert des Scheitels jenes Lichtkegels, den die Weltlinie der Galaxie gerade schneidet. Bei Annäherung an den Ereignishorizont läuft der Lichtkegelscheitel mehr und mehr gegen UNENDLICH. Salopp wird bisweilen formuliert, dass ein auf den Beobachter gerichteter Lichtstrahl auf dem Ereignishorizont den Beobachter zum Zeitpunkt UNENDLICH erreicht, während ein von jenseits des Ereignishorizonts emittierter Lichtstrahl den Beobachter auch zum Zeitpunkt UNENDLICH nicht mehr erreicht. Genaugenommen handelt es sich jedoch um eine falsche Grenzwertbildung. Ein vom Ereignishorizont auf den Beobachter gerichtetes Photon wird für immer auf dem Ereignishorizont bleiben. Auf den Beobachter gerichtete Photonen jenseits des Ereignishorizonts werden sich immer weiter vom Beobachter entfernen (Divergenz gegen UNENDLICH), diesen also nie erreichen.

Man kann es auch anders formulieren: eine Galaxie, die beim Passieren des Ereignishorizonts noch existiert und beim Passieren noch Photonen in Richtung auf den Beobachter emittiert, wird vom Beobachter in jeder Zukunft noch zu SEHEN sein, und zwar umso später, je mehr sie sich dem Ereignishorizont genähert hat.

Erinnern wollen wir an dieser Stelle noch einmal daran, dass Hubblesphäre, Ereignishorizont, Partikelhorizont und auch die Lichtkegel vom Ort des Beobachters abhängige theoretische Konstrukte sind.

Der Lichtkegel jedes Scheitels ist anfangs (in den Zeichnungen im unteren Bereich) außerhalb der Hubblesphäre gelegen. Photonen am Scheitelpunkt SICHTBARER Galaxien, die zum Zeitpunkt der Photonenemission außerhalb der Hubblesphäre gelegen waren, haben sich deshalb zunächst (mit Überlichtgeschwindigkeit) vom Beobachter entfernt, bevor diese von der sich vergrößernden Hubblesphäre eingeholt wurden.

Zu allen Zeichnungen kann man feststellen, dass diesen (bei Außerachtlassung von Pekuliarbewegungen) keinesfalls notwendigerweise eine Reduktion der 4-dimensionalen Raumzeit auf eine 2-dimensionale Zeichenfläche zugrunde liegt. Zumindest dann, wenn man primär den radialen Pfad zu einer bestimmten Galaxie ins Auge fasst, sind alle Zeichnungen originär 2-dimensional. Die Galaxien entfernen sich exakt auf der Koordinatenachse, auf den Beobachter gerichtete Photonen bewegen sich in Richtung des Beobachters. Auch dann, wenn die Photonen sich (anfangs noch oder jenseits des Ereignishorizonts immer) entfernen sollten, sind sie immer auf der Koordinatenachse gelegen.

### **3.3 Begriffserläuterung: Hubblesphäre und Hubbleradius**

Der Hubbleradius ist der Radius der Hubblesphäre zum Zeitpunkt  $t$  (bzw. zum Skalenfaktor  $a$ ). Unter Hubblesphäre wird die Sequenz von Kugeloberflächen als Ganzes verstanden, wobei jede Kugeloberfläche einem  $t$  bzw.  $a$  zugeordnet ist.

Da für viele Fragen der Radius die allein relevante Eigenschaft der Sphäre ist, können Hubblesphäre und Hubbleradius oft fast synonym verwandt werden. Das Programm WELTTABELLEN verwendet in Textausdrücken im Allgemeinen den Begriff Hubbleradius.

### 3.4 Weitere Distanzbegriffe

Die Zeit seit dem Urknall  $t$ , der Skalenfaktor  $a$ , die mitbewegte Distanz und die Eigendistanz (physikalische Distanz) sind globale Begriffe, die auch unabhängig von bestimmten Lichtkegeln gelten. Für alle von WELTTABELLEN ausgegebenen von  $a$  und  $t$  abhängigen Reihen lässt sich die mitbewegte Distanz (Ausgabe in mitbewegten Koordinaten) bzw. die Eigendistanz (Ausgabe in physikalischen Koordinaten) vom Beobachter in Form eines  $a$  und  $t$  zugeordneten Reihenwerts für Hubblesphäre, Ereignishorizont, Lichtkegel eines bestimmten Scheitels oder Partikelhorizont als Basisgrößen ablesen.

Die Rotverschiebung  $z$  und die Look-Back-Zeit (Synonym: Lichtlaufzeit) sind vom Scheitelpunkt eines Rückwärts-Lichtkegels (Vergangenheits-Lichtkegels) abhängige Größen. In Bezug auf die ausgegebenen Reihen gelten sie nur für den Lichtkegel.

In Kosmologie-Lehrbüchern finden noch andere Abstandsbegriffe Verwendung, die im Normalfall mit dem Scheitel eines Lichtkegels bei  $a=1$  bzw.  $t=HEUTE$  (siehe auch Kap. 3.5) verbunden sind.

Die *Lichtlaufzeit-Entfernung* stellt (Entfernung über Raum und Zeit) einen Bezug zur Länge des Weges her, den das Licht im expandierenden Raum auf dem Weg vom Emissionszeitpunkt zum Scheitelpunkt des Lichtkegels infinitesimal (Lichtgeschwindigkeit auf jedem kleinsten zeitabhängigen Streckenabschnitt) zurückgelegt hat. Es wird einfach die Lichtlaufzeit (Look-Back-Zeit) mit der Lichtgeschwindigkeit multipliziert. Man kann diese Entfernung mittels WELTTABELLEN ermitteln, indem man den  $a$  und  $t$  zugeordneten LOOK-BACK-Wert abliest und anstelle der aufgeführten LOOK-BACK-Dimension „Mrd. Jahre“ nun die Dimension „Mrd. Lichtjahre“ verwendet. In populärwissenschaftlichen Veröffentlichungen wird die Lichtlaufzeit-Entfernung oft als primäres Entfernungsmaß gebraucht. Bei vielen Fachleuten hingegen hat das Maß geringes Prestige.

Die *Winkeldurchmesser-Entfernung* ist im räumlich flachen  $\Lambda$ CDM-Modell wertmäßig identisch mit der Eigendistanz auf dem Rückwärts-Lichtkegel. Im Allgemeinen wird man in der Lichtkegel-Reihe mit dem Scheitel bei  $a=1$  bzw.  $t=HEUTE$  den der Rotverschiebung  $z$  zugeordneten Wert ablesen. Die Winkeldurchmesser-Entfernung nimmt ihren Maximalwert dort an, wo der Lichtkegel die Hubblesphäre schneidet.

Die *Leuchtkraft-Entfernung* (in Mrd. Lichtjahren, Entfernung über Raum und Zeit) kann als Variable 17 in die Plotter-Datendatei ausgegeben werden (siehe Kap. 5.1, Steuertyp -107).

### 3.5 Skalenfaktor, Zeit und Rotverschiebung

Zunächst verwenden wir, wie in Lehrbüchern üblich, für den Skalenfaktor den Buchstaben  $a$ , für die Zeit sei dem Urknall den Buchstaben  $t$  und für die Rotverschiebung den Buchstaben  $z$ .

Der Skalenfaktor  $a$  für den Zeitpunkt  $t=HEUTE$  wird mit  $a=1$  festgelegt. Alle vom Programm verwendeten Berechnungen gehen von dieser Festlegung aus. Die Festlegung auf  $a=1$  ist bedingt durch eine der möglichen Transformationen, die die FLRW-Metrik invariant lässt. Bei allen diesen Transformationen bleibt das Produkt aus Skalenfaktor und mitbewegter Entfernung stets gleich.

WELTTABELLEN ist in der Lage, Werte für Lichtkegel beliebiger Scheitelpunkte zu berechnen. Unter einem Scheitelpunkt oder Scheitel ist stets der Scheitelpunkt eines

Rückwärts-Lichtkegels (Vergangenheits-Lichtkegels) gemeint. Die Rotverschiebung  $z=z(\text{Scheitel})$  ist damit eine vom Scheitel abhängige Größe. Mit  $z^*$  wird die Rotverschiebung des heutigen Lichtkegels bezeichnet. Diesem Thema ist das nächste Kapitel 3.6 gewidmet.

Der Wert mitbewegter Koordinaten entspricht dem Wert der physikalischen Koordinaten bei  $a=1$  (und nicht etwa beim Scheitel eines vom heutigen Lichtkegel verschiedenen Lichtkegels). Man findet in Lehrbüchern keine Hilfestellung, wie diese Wahl bei der Betrachtung unterschiedlicher Lichtkegel genau zu treffen ist. Sicher ist aber, dass es äußerst verwirrend wäre, wenn man neben  $z$  auch noch  $a$  in Abhängigkeit von Lichtkegel-Scheitelpunkten variabel festlegen würde. Aber: Bei Bedarf kann man mittels Steuertyp -107 Variable 15 (siehe Kap. 5.1) die Entfernung des Beobachters von einer Galaxie im Beobachtbaren Universum beim Scheitelpunkt  $a_s$  eines Lichtkegels ermitteln, wenn die Galaxie ihr Licht beim Skalenfaktor  $a$  emittiert hat.

$a$  und  $t$  sind also globale Größen und bijektiv aufeinander abbildbar. Alle internen Berechnungen der Applikation WELTTABELLEN erfolgen über den Skalenfaktor  $a$ . Das zu einem  $a$  gehörige  $t$  ist einfach berechenbar. Die Umkehrfunktion zur Abbildung von  $t$  auf  $a$  ist numerisch aufwendiger. Die Verwendung von  $z$  als scheitelabhängige Größe ist für Berechnungen im Rahmen der in diesem Programm erbrachten Leistungen nicht geeignet.

Zusätzlich können zu erbringende Leistungen noch von der Look-Back-Time (Lichtlaufzeit) *Scheitelzeit minus  $t$*  abhängig gemacht werden. Insbesondere kann z.B. für jeden Vergangenheits- und Zukunftszeitpunkt die (mitbewegte oder physikalische) Distanz einer durch die Lichtlaufzeit umschriebene Galaxie vom Beobachter ermittelt werden.

In der DELTA-Datei (siehe Kap. 8.11 bzw. Kap. 5.1, Steuertyp -105, AUFGABE 1) ist zusätzlich die konforme Zeit  $\eta$  aufgeführt. Die konforme Zeit kann auch über die Variable 10 in die Plotter-Datendatei (siehe Kap. 8.11 bzw. Kap. 5.1, Steuertyp -107) geschrieben werden. Der Wert der konformen Zeit  $\eta$  (definiert durch  $d\eta = dt/a(t)$ , die Dimension ist also eine transformierte Zeit) ist mit dem Wert des mitbewegten Partikelhorizonts (Dimension: mitbewegte Entfernung vom Beobachter zum Zeitpunkt  $t$  bzw.  $\eta$  in Mrd. Lichtjahren) identisch.

### 3.6 Rotverschiebung als Begleitwert von Zeit und Skalenfaktor

Rotverschiebungen sind ohne weitere Erläuterungen nur für einen Lichtkegel (genauer: für den Mantel eines Lichtkegels) relevant. Die Rotverschiebung  $z = a_s / a - 1$  bezieht sich immer auf den Scheitelpunkt  $a_s$  des Rückwärts-Lichtkegels. Das ist die natürliche Wahl. (Ist  $a_s < a$ , so wird  $z$  negativ, wobei  $z > -1$  gilt. Verschiedene wissenschaftliche Veröffentlichungen, die Vergangenheitsereignisse über Rotverschiebungen einordnen, benutzen für Zukunftsprojektionen die so definierten negativen  $z$ .)

$z^* = 1 / a - 1$  bezieht sich auf den Scheitelpunkt zum heutigen Zeitpunkt. Ist der Scheitelpunkt von HEUTE verschieden, so sollte man mit der Interpretation von  $z^*$  vorsichtig sein.

$z^*$  ist bei einem von HEUTE verschiedenen Zeitpunkt bestenfalls dann einmal nützlich, wenn man via  $z^*$  nicht eine Rotverschiebung im eigentlichen Sinne, sondern in Wirklichkeit einen Skalenfaktor oder einen Zeitpunkt bezeichnen will, den man nur in der  $z^*$ -Form für den Lichtkegel mit Scheitelpunkt HEUTE vorliegen hat.

In den Ausgabe-Tabellen von WELTTABELLEN steht  $z$  (oder ggfs. auch  $z^*$ ) gleichwertig neben dem Skalenfaktor  $a$  und der Zeit seit dem Urknall  $t$ . Während  $a$  und  $t$  globale Größen sind, die für alle gelieferten Reihen (Hubblesphäre, Horizonte, Lichtkegel) Gültigkeit besitzen, ist  $z$  als Wert neben  $a$  und  $t$  nur für den Lichtkegel eine sinnvolle Größe.  $z^*$  als Wert neben  $a$

und  $t$  bei einem Lichtkegel, dessen Rückwärts-Scheitelpunkt von HEUTE verschieden ist, ergibt genau genommen keinen Sinn.

Ist  $z^*$  vorgegeben und ist  $a_s$  ( $a_s \neq 1$ ) der Scheitelpunkt des Lichtkegels, so verweist

$$z = a_s (z^* + 1) - 1$$

als Rotverschiebung für den Scheitel  $a = a_s$  auf den gleichen Zeitpunkt und das gleiche  $a$  wie  $z^*$  als Rotverschiebung für den Scheitel  $a = 1$ . Damit sind auch Hubble-Parameter, Hubblesphäre, Ereignishorizont und Partikelhorizont bei  $z^*$  (bezogen auf den Scheitel  $a = 1$ ) und  $z$  (bezogen auf den Scheitel  $a = a_s$ ) gleich. Lediglich die beiden Lichtkegel sind verschieden. Also gilt: Eine Galaxie, die sich bei  $z^*$  auf dem Lichtkegel mit Scheitel  $a = 1$  befindet, hält sich bei  $z$  bzw. beim beiden gemeinsamen  $a$  oder  $t$  NICHT auf dem Lichtkegel mit Scheitel  $a = a_s$  ( $a_s \neq 1$ ) auf. (Mittels AUFGABE 3 können die Schnittpunkte der Weltlinie einer Galaxie mit verschiedenen Lichtkegeln ermittelt werden.)

Allgemeiner gilt für unterschiedliche Scheitelpunkte  $a_{s1}$  und  $a_{s2}$  und zugeordnete  $z_1$  und  $z_2$  bei gemeinsamem  $a$  bzw.  $t$  die Formel

$$z_1 = ((a_{s1} (z_2 + 1)) / a_{s2}) - 1.$$

### 3.7 Rotverschiebung zur Kennzeichnung der Weltlinien von Galaxien

In Zeichnungen verschiedener wissenschaftlicher Veröffentlichungen wird  $z$  zur Kennzeichnung der Weltlinie einer als mitbewegtes Objekt modellierten Galaxie verwendet.  $z$  ist die Rotverschiebung des am Scheitel  $T$  bzw.  $a_s$  sichtbaren Lichts dieser Galaxie. Diesem  $z$  kann wieder ein  $a$  oder  $t$  zugeordnet werden.  $z$  als Weltlinienbezeichnung umschreibt die Weltlinie dieser Galaxie, die den Lichtkegelmantel bei  $z$  bzw.  $t$  bzw.  $a$  schneidet. Der Verlauf dieser Galaxie oberhalb der radialen Koordinatenachse wird im Schnittpunkt wie auch außerhalb des Lichtkegelmantels durch den physikalischen oder mitbewegten Abstand vom Beobachter bestimmt (und gezeichnet), wird also für Zeichnungen mit einer (meistens) senkrechten Zeitachse und einer (meistens) waagerechten Abstandsachse verwendet. In Zeichnungen für einen mitbewegten Abstand sind die Weltlinien von Galaxien für den genannten Typ von Zeichnungen senkrechte Linien. Gern werden diese Linien unten mit dem mitbewegten Abstand und oben mit dem zugeordneten  $z$  beschriftet.

Für die Interpretation von  $z$  bei WELTTABELLEN-AUFGABE 2 beim Schnittpunkt zwischen Partikelhorizont und Ereignishorizont siehe Davis/Lineweaver [2], speziell die unteren beiden Zeichnungen von Figure 1 und den vorletzten Abschnitt vor Kap. 4.  $z$  (im Artikel ist  $z = z^* = z(\text{HEUTE})$ ) ist dadurch gekennzeichnet, dass der mitbewegte Abstand der Koordinate des Lichtkegels vom Beobachter (zweite Linie des Zweizeilen-Ausgabepaketes) gleich ist wie der mitbewegte Abstand des „Schnittpunktes“ zwischen Partikelhorizont und Ereignishorizont (erste Linie) vom Beobachter. Zum Zeitpunkt bzw. Skalenfaktor des „Schnittpunktes“ stimmen Ereignishorizont und Partikelhorizont als Kugeloberflächen vollständig überein, insbesondere auch über jener radialen Achse, oberhalb derer üblicherweise eine Galaxie betrachtet wird.

Nur um hier verschiedene Varianten von Steuertyp -105, Aufgabe 2 noch kurz anzusprechen, sollen einige Scheitel-Sonderfälle kurz erläutert werden, wobei wir uns bei der Darstellung an der Zeit nach dem Urknall und einem physikalischen Abstand  $d$  vom Beobachter orientieren wollen. (Eine Darstellung mittels Skalenfaktor und / oder mitbewegtem Abstand wäre analog möglich.) Der „Schnittpunkt“ (Zeitpunkt  $S$ , Abstand vom Beobachter  $d$ ) zwischen Partikelhorizont und Ereignishorizont ist unabhängig vom jeweiligen Lichtkegel. Ist der Scheitelpunkt  $T$  des Lichtkegels gleich dem Zeitpunkt  $S$ , so kann nur ein mitbewegtes Objekt

auf dem Lichtkegel bei  $t=0$  bzw.  $a=0$  den Schnittpunkt (S, d) erreichen (Definition des Partikelhorizonts mit dem Wert d für den Lichtkegel im Beobachtbaren Universum zum Zeitpunkt S), was für die z-Weltlinie die Zuordnung  $z=UNENDLICH$  bedeuten würde. Nähert sich der T-Wert des Lichtkegelscheitels von oben dem entsprechenden Wert des Zeitpunktes S, so strebt z gegen UNENDLICH (ist jedoch durch WELTTABELLEN im Allgemeinen noch berechenbar). Ist der T-Wert des Scheitels kleiner als der entsprechende Wert des Schnittpunktes S, so existiert kein mitbewegtes Objekt mehr, das sowohl den Lichtkegel als auch den Schnittpunkt (S, d) schneidet. Die Weltlinie jedes mitbewegten Objekts auf dem Lichtkegel hat zum Zeitpunkt S einen Abstand  $<d$  vom Beobachter. Ein z-Wert im Sinne der Weltlinien-Kennzeichnung eines mitbewegten Objekts ist nicht mehr definiert.

### 3.8 *Schnittpunkt zwischen Ereignishorizont und Partikelhorizont als Beispiel*

Der Schnittpunkt zwischen Ereignishorizont und Partikelhorizont kann für einen Skalenfaktor oder eine Zeit seit dem Urknall berechnet werden. Wie wollen diese Schnittpunkt-Werte als  $a_1$  bzw.  $t_1$  bezeichnen. Mit Lichtkegeln hat der Schnittpunkt im Normalfall nichts zu tun. Wird ein Lichtkegel mit einem Scheitel  $a_s$  oder T zusammen mit Ereignishorizont und Partikelhorizont ausgegeben, was bei der Standard-Ausgabe immer der Fall ist, so wird neben  $a_1$  und  $t_1$  auch noch die Rotverschiebung  $z_1$  ausgegeben, die aber genaugenommen nur für den Lichtkegel einen Sinn ergibt. (Es kann allerdings vorkommen, dass man für eine bestimmte Galaxie nur die Rotverschiebung kennt, und Skalenfaktor und Zeit seit dem Urknall müssen mit Hilfe von Scheitel-Zahlenfaktor bzw. Scheitel-Zeit aus der Rotverschiebung berechnet werden. Das hat aber mit unseren Schnittpunkt zwischen Ereignishorizont und Partikelhorizont alles nichts zu tun.)

Man kann aber für den Lichtkegel mit dem Scheitel  $a_s$  bzw. T (es handelt sich also genau um den Lichtkegel des vorherigen Abschnitts) einen Skalenfaktor  $a_2$  bzw. eine Zeit  $t_2$  bzw. eine Rotverschiebung  $z_2$  ermitteln, die auf eine Galaxie auf dem Lichtkegel verweist, deren Weltlinie den Schnittpunkt zwischen Ereignishorizont und Partikelhorizont schneidet. Da diese Galaxie auf dem Lichtkegel liegt, ist  $z_2$  jetzt eine sinnvolle Rotverschiebung. Man kann jetzt über eines der Tupel  $(a_1, z_2)$  oder  $(t_1, z_2)$  den Lichtkegel mit dem Schnittpunkt zwischen Ereignishorizont und Partikelhorizont verbinden.

Die geschieht z.B. an der oben in Kap. 3.7 zitierten Stelle von Davis/Lineweaver [2]. In WELTTABELLEN wird bei Aufgabe 2 der Schnittpunkt zwischen Ereignishorizont und Partikelhorizont durch zwei Zeilen umschrieben. Die erste Zeile berechnet  $a_1$  bzw.  $t_1$ , die zweite  $z_2$ .

### 3.9 *Verwendete Formeln*

Unter Verwendung des Ausdrucks (für  $H_0, \Omega_R, \Omega_M, \Omega_\Lambda$  siehe Kap. 6)

$$d(a_1, a_2, a_3) = c a_3 \int_{a_1}^{a_2} \frac{d\alpha}{\alpha^2 H(\alpha)}$$

mit der Lichtgeschwindigkeit  $c$ , dem Hubble-Parameter  $H(a) = H_0 E(a)$  und der Dichtefunktion  $E(a) = (\Omega_R a^{-4} + \Omega_M a^{-3} + \Omega_\Lambda)^{1/2}$  ergeben sich für den Beobachter im Ursprung des räumlichen Koordinatensystems beim Skalenfaktor  $a$  für den mitbewegten bzw.

physikalischen Abstand zu den Kugeloberflächen von Partikelhorizont, Ereignishorizont und Hubblesphäre die folgenden Formeln:

#### Entfernung vom Beobachter für Lichtkegel, Hubblesphäre und Horizonte

Entfernung zu	mitbewegt	physikalisch
Partikelhorizont	$D_{PH}(a)=d(0, a, 1)$	$d_{PH}(a)=d(0, a, a)$
Ereignishorizont	$D_{EH}(a)=d(a, \infty, 1)$	$d_{EH}(a)=d(a, \infty, a)$
Hubblesphäre	$D_{HS}(a)=c / (a H(a))$	$d_{HS}(a)=c / H(a)$
Lichtkegel LK( $a_s$ )	$D_{LK}(a_s, a)=d(a, a_s, 1)$	$d_{LK}(a_s, a)=d(a, a_s, a)$

Der physikalische Abstand vom Beobachter ist der Radius der jeweiligen Kugeln.

Die Formeln für den Lichtkegel LK( $a_s$ ) mit Scheitel bei  $a_s$  umschreiben den Abstand des Beobachters beim Skalenfaktor  $a$  von einer Galaxie, von der der Beobachter beim Skalenfaktor  $a_s$  des Lichtkegelscheitels mit Lichtgeschwindigkeit übermittelte Informationen (i.a. Photonen) empfängt, die beim Skalenfaktor  $a$  emittiert wurden.

In W. Lange [10] (Tabelle 4) sind diese Formeln in Abhängigkeit von der kosmologischen Zeit auffindbar.

Der Partikelhorizont ohne Parameter ist in der hier vorliegenden Beschreibung immer auf den Urknall bezogen. In anderen Veröffentlichungen wie [11] und [12] wird dieser Partikelhorizont als PH(Urknall) bezeichnet. Zusätzlich kann man den Partikelhorizont noch auf andere Bezugspunkte  $a_{min}$  (oder ein zugehöriges  $t_{min}$ ) beziehen, wobei der Zeitpunkt oder Skalenfaktor CMB der Emission der kosmischen Hintergrundstrahlung (Partikelhorizont PH(CMB)) eine besondere Rolle spielt. In [12] ist der Partikelhorizont PH( $a_{min}$ ) folgendermaßen definiert.

Entfernung zu	mitbewegt	physikalisch
Partikelhorizont PH( $a_{min}$ )	$D_{PH}(a_{min}, a)=d(a_{min}, a, 1)$	$d_{PH}(a_{min}, a)=d(a_{min}, a, a)$

Eine Erläuterung der Definition ist in [11] Kap. 2 auffindbar, dort allerdings zeitorientiert für  $t_{min}$  formuliert. Der Partikelhorizont PH( $a_{min}$ ) oder PH( $t_{min}$ ) kann über die Variable 18 in die Plotter-Datendatei (siehe Kap. 8.11 bzw. Kap. 5.1, Steuertyp -107) geschrieben werden.

### 3.10 Alternativen zur Normierung des Skalenfaktors

Kosmologische Lehrbücher geben keinen Hinweis darauf, wie der Skalenfaktor zu wählen ist, wenn ein Lichtkegel betrachtet werden soll, dessen Scheitelpunkt nicht bei  $t=HEUTE$  angesiedelt ist. Viele praktische Gründe sprechen dafür, auch in diesen Fall die Vereinbarung weiter zu verwenden, dass der Skalenfaktor von HEUTE den Wert 1 annimmt. Grundsätzlich wäre es selbstverständlich möglich, einen Skalenfaktor  $a_p=a/a_s$  für einen Lichtkegel LK $a_p(a_s)$  so zu wählen, dass LK $a_p(a_s)$  seinen Scheitelpunkt bei  $a_p=1$  annimmt. Das kann dadurch geschehen, dass man  $a_p=a/a_s$  wählt und folgende Definitionen trifft.

#### Normierung Lichtkegel mit Skalenfaktor $a_p$ , $a_p=a/a_s$ , $a(HEUTE)=1$

Entfernung zu	mitbewegt	physikalisch
LK $a_p(a_s)$	$D_{LKap}(a_s, a_p)=d(a_p*a_s, a_s, a_s)$	$d_{LKap}(a_s, a_p)=d(a_p*a_s, a_s, a_p*a_s)$

$D_{LKap}(a_s, a_p)$  beschreibt einen "alternativen mitbewegten Abstand", der dem physikalischen Abstand eines mitbewegten Objekts (einer Galaxie) vom Beobachter bei  $a_s$  entspricht, das beim Skalenfaktor  $a_p$  auf dem Lichtkegel mit Scheitel  $a_s$  gelegen ist.

Der Wert des Lichtkegels am Scheitelpunkt  $a_S$  ist selbstverständlich stets NULL.

Der mitbewegte Abstand  $D_{LKap}(a_S, a_p)$  beträgt beim Wert  $a_p$  nun das  $a_S$ -fache jenes Werts, den  $D_{LK}(a_S, a)$  beim Wert  $a$  (mit  $a = a_S \cdot a_p$ ) annimmt. Der physikalische Abstand  $d_{LKap}(a_S, a_p)$  hat bei  $a_p$  den gleichen Wert wie  $d_{LK}(a_S, a)$  beim Wert  $a$ .

Solche Vereinbarungen würden z.B. dann zu Problemen führen, wenn man Lichtkegel mit verschiedenen Scheitelpunkten in einer Zeichnung darstellen wollte. In Zeichnungen ohne Lichtkegel müsste man stets zusätzlich die Normierung des Skalenfaktors erläutern.

Jeder Zeitpunkt, dem bisher der Skalenfaktor  $a(t)$  mit  $a(\text{HEUTE})=1$  zugeordnet war, verweist neu auf den Wert  $a_p(t) = a(t)/a_S$ .

Für den Kosmologie-Rechner WELTTABELLEN wurde zunächst die Entscheidung gefällt, nur auf den Skalenfaktor  $a$  mit  $a(\text{HEUTE})=1$  zurückzugreifen. Erst später im Projekt wurde die NEUHEUTE-Methodik von Kap. 5.14 hergeleitet.

Lediglich mit Hilfe der Plottervariablen 15 ( $D_{LKap}(a_S, a_p)$  bzw.  $d_{LKap}(a_S, a_p)$ ) und 16 ( $a_p = a/a_S$ ) können zusätzlich alternative Skalenfaktoren und zugeordnete Lichtkegelwerte ausgegeben werden – siehe Kap. 5.1, Steuertyp -107. Dieses Konzept des Abstands bei einem alternativen Skalenfaktor wird für andere kosmologische Fragestellungen nicht fortgesetzt - siehe aber Kap. 5.14.

Es dürfte sinnvoll sein, für erste Übungen stets die Variablen 3, 1, 8, 16, und 15 ( $t, a, LK, a_p, LKap$ ) gemeinsam auszugeben.

Ab WELTTABELLEN-Version 3.2 ist eine neue übergeordnete Möglichkeit verfügbar, die sich nicht nur auf den Lichtkegel beschränkt, Diese neue Leistung ist in Kap. 5.14 beschrieben.

### 3.11 *Rezessionsgeschwindigkeiten*

A: Ausgabe in Rezessionsdatei in Vielfachen der Lichtgeschwindigkeit  $c$  und in km/s

- 1) Ausgabe physikalischer Koordinaten (STYP -211=1): Rezessionsgeschwindigkeit einer Galaxie auf Hubblesphäre, Ereignishorizont, Lichtkegel und Partikelhorizont.
- 2) Ausgabe von „Horizonten“ in physikalischen Koordinaten (STYP -211=101): Ausgabe der Rezessionsgeschwindigkeiten von Hubblesphäre, Ereignishorizont, Lichtkegel und Partikelhorizont.
- 3) Ausgabe mitbewegter Koordinaten (STYP -211=0): Erinnerung sei daran, dass der mitbewegte Abstand vom Beobachter einer Galaxie zum Zeitpunkt  $t$  (bzw. zum Skalenfaktor  $a$ ) dem physikalischen Abstand der Galaxie HEUTE entspricht. Rezessionsgeschwindigkeit der Galaxie auf Hubblesphäre, Ereignishorizont, Lichtkegel und Partikelhorizont, berechnet über das Produkt des heutigen Hubble-Parameters  $H_0$  mit dem mitbewegten Abstand zum Zeitpunkt  $t$  (bzw. zum Skalenfaktor  $a$ ).

Im Hinblick auf Hubblesphäre, Ereignishorizont und Lichtkegel wird bei allen Berechnungen stets angenommen, dass von Galaxien auf diesen Oberflächen emittierte Photonen auf den Beobachter gerichtet sind. Photonen auf dem Partikelhorizont hingegen wurden kurz nach dem Urknall am Ort des Beobachters emittiert, sie bewegen sich also vom Beobachter fort – siehe auch [11] Kap. 6. Die physikalischen Rezessionsgeschwindigkeiten von Ereignishorizont und Lichtkegel sind bei jedem  $t$  oder  $a$  um  $c$  (Lichtgeschwindigkeit) geringer als die von Galaxien

auf diesen Oberflächen. Die physikalische Rezessionsgeschwindigkeit des Partikelhorizonts ist bei jedem  $t$  oder  $a$  um  $c$  größer als die einer Galaxie auf dem Partikelhorizont. Die physikalische Rezessionsgeschwindigkeit der Hubblesphäre beträgt  $c(1+q(t))$  mit dem Abbremsparameter  $q(t)$  – siehe auch [1] Kap. 7.1.

B: Ausgabe in Plotter-Datendatei in  $c$  und  $\text{km/s}$

4) Variablen 29-32: Rezessionsgeschwindigkeiten bezogen auf Hubblesphäre, Ereignishorizont, Lichtkegel und Partikelhorizont, abhängig von STYP -211=0, 1, 101 wie oben.

C: Ausgabe physikalischer Koordinaten in Plotter-Datendatei in  $c$  (alternative Berechnungen)

5) Variable 26: Ableitung des physikalischen Hubble-Radius (Radius der Hubblesphäre), identisch mit Variable 29, wenn STYP -211=101 und Rezession in  $c$

6) Variable 51: Ableitung des physikalischen Lichtkegels, identisch mit Variable 31, wenn STYP -211=101 und Rezession in  $c$

D: Ausgabe mitbewegter Koordinaten in Plotter-Datendatei in  $c$

Der Begriff „Rezessionsgeschwindigkeit“ wird bei mitbewegten Koordinaten vermieden. Es wird einfach nur von der Ableitung der behandelten Größen oberhalb der radialen Koordinatenachse gesprochen.

7) Variable 27: Ausgabe der Ableitung des mitbewegten Hubble-Radius

8) Variable 50: Ausgabe der Ableitung des mitbewegten Partikelhorizonts, gleich (plus)  $1/a(t)$

9) Variable 52: Ausgabe der Ableitung des mitbewegten Lichtkegels (scheitelunabhängig) bzw. des Ereignishorizonts, gleich minus  $1/a(t)$

Variablen 50 und 52 lassen sich einfach über den mittleren Ausdruck in [1] Kap. 6.2, Formel (4) mit Hilfe des Hauptsatzes der Differenzial- und Integralrechnung ermitteln, wobei man die Formeln von Tabelle 4 in die Überlegungen einbeziehen muss.

Anders als in physikalischen Koordinaten überlagert die Expansion des Universums im mitbewegten Fall nicht die Eigengeschwindigkeit von Photonen. Vielmehr ist die Lichtgeschwindigkeit im Fall mitbewegter Koordinaten nicht konstant, sondern beträgt  $1/a(t)$  - siehe [2] Davis/Lineweaver, Appendix A, Seite 19, Text zwischen Formeln (21) und (22).

## 4 Ein einfacher Einstieg in den Kosmologie-Rechner

### 4.1 Hinweis auf die Installationsanleitung

In Kap. 8 ist eine Installationsanleitung für WELTTABELLEN vorhanden. Im aktuellen Kapitel sollen ergänzend einige zusätzliche Details und eine vollständige Auflistung aller vom Entwickler mitgelieferten Steuerdateien aufgeführt werden.

### 4.2 +++++ VORBEREITETE STEUERDATEIEN +++++

Bevor sich ein Benutzer im Detail mit dem Aufbau von Steuerdateien befasst, ist es ratsam, zunächst die Leistungen von WELTTABELLEN über einige vorbereitete Steuerdateien

abzurufen. Es dürfte kein schlechtes Konzept sein, sich langsam durch Korrektur einzelner Elemente der Steuerdateien einen Einblick in deren Aufbau zu erarbeiten.

Sollten aus Versehen originäre Steuerdateien durch Korrekturen verlorengehen, so kann man diese aus dem WELTTABELLEN-ZIP-Ordner wiederherstellen.

Um einen Überblick über den abgedeckten Wertebereich zu erhalten, spricht nichts dagegen, die zentrale Steuerdatei STEUERW1a.txt auszuführen. Man gibt also auf der Konsole

### *d 1a*

ein. Als Ergebnis findet man 3 neue Dateien im Unterordner \WTAB\AUSGABE des Hauptordners \WTAB (zu Ordernamen siehe Kap 8). Die Steuerdatei STEUERW1a.txt ist inline dokumentiert.

Die im Weiteren erwähnten Steuerdateien sind vorbereitet. Durch einen Vergleich des Inhalts der Steuerdatei und den Ergebnisdateien gewinnt man schnell das Verständnis für den Aufbau von Steuerdateien. In der Tabelle wird auf die Aufführung der Extension .TXT jeder Steuerdatei verzichtet. Die erste Ziffer hinter STEUERW bezeichnet die WELTTABELLEN-AUFGABE (1, 2, oder 3), die durch die Steuerdatei bearbeitet wird. Ist danach ein a, t, z oder r im Namen vorhanden, so wird angedeutet, dass in der Datei die primären Eingaben über den Skalenfaktor, die Zeit seit dem Urknall, die Rotverschiebung bzw. die Look-Back-Zeit (Lichtlaufzeit) erfolgen. Im Normalfall ist als Parametersatz Planck18 mit der automatisch berechneten Strahlungsdichte  $\Omega_R$  und dem Lichtkegel-Scheitel  $a=1$ ,  $t=HEUTE$  besetzt. Nur Abweichungen von diesen Festlegungen werden erwähnt.

In der folgenden Tabelle steht in der ersten Spalte die Namenserverweiterung der Steuerdatei (Beispiel: 1t steht für STEUERW1t.txt), in der zweiten Spalte die Aufgabennummer (1-3), in die dritten Spalte die Erläuterung zur Steuerdatei. In der letzten Spalte steht M für mitbewegt und P für physikalisch. X steht für den **Platzhalter -31**, der durch den Konsolbefehl m31 gesetzt werden kann. Voreingestellt ist der Platzhalter -31 durch den I-Steuertyp -1020, der vom Entwickler mit 1 (physikalisch) vorbesetzt ist. Für STYP und ITYP siehe Kap. 6. Weiter steht *t* für die Zeit in Mrd. Jahren nach dem Urknall, und *a* für den Skalenfaktor.

a	1	Siehe Kap. 5.4 – wird vom Benutzer nie oder selten benötigt.	M
aa	1	Korrekturversion von aa, siehe Kap. 5.4	M
aM	1	Siehe Kap. 5.14.3	M
a-EVO	1	Siehe Kap. 5.5 – wird vom Benutzer nie oder selten benötigt.	M
1a	1	Aufgabe 1 für den gesamten a-Wertebereich. Durchläuft alle a von $10^{-12}$ bis $10^{30}$ mit größenabhängigen Deltawerten. Für sehr hohe Werte ist Kap. 4.5 zu lesen. Der Scheitel des Lichtkegels ist auf $a=1$ voreingestellt. Ausgegeben werden mitbewegte Koordinaten.	M
1a28	1	Wie 1a, allerdings für Scheitelpunkt bei $T=28$ . Via Wandelvariable wird $T=28$ in a umgewandelt und via STYP -301 abgerufen.	M
1aa	1	Wie 1a. Ausgabe ab $a=10^{-16}$	M
1am7_plot	1	Wie 1a, zusätzlich werden a, z, t, in sec, PH(Urknall), PH(7) in die PLOT-Datei ausgegeben.	M
1amz4_plot	1	Wie 1aa zusätzlich werden a, z, t, PH(Urknall), PH( $z^*=4.2248$ , Galaxie SPT0418-47) in die PLOT-Datei ausgegeben.	M
1ap	1	Wie 1a, es werden allerdings physikalische Koordinaten ausgegeben.	P
1aap	1	Wie 1ap. Ausgabe ab $a=10^{-16}$	P

lap28	1	Wie lap, allerdings für Scheitelpunkt bei T=28. Via Wandelvariable wird T=28 in a umgewandelt und via STYP -301 abgerufen.	P
lap_plot1 lap_plot2	1	Wie lap, zusätzlich werden in lap_plot1 a, t, H, HR, EH, LK, PH(Urknall), PH(CMB), Rezession PH in die _PLOT-Datei ausgegeben, in lap_plot2 die zugehörigen Rezessionsgeschwindigkeiten der Abstände. Dimensionen in lap_plot1 via STYP -221: km, 1/s und km/s, in lap_plot2 die Standard-Dimensionen.	P
larez	1	Wie lap, es werden in _REZESSION die Rezessionsgeschwindigkeiten von Hubblesphäre, Lichtkegel und Horizonten (und nicht die von Galaxien auf der Hubblesphäre, Lichtkegel und diesen Horizonten) ausgegeben. Für sehr hohe Werte ist Kap. 4.5 zu lesen. Für kleinste Koordinaten Horizontwerte mit 1a-EVOrez vergleichen (in larez ist $\Omega_R \neq 0$ ).	P
1a-EVOrez	1	Gleiche Leistung wie 1a, jetzt aber für den Parametersatz EVO (siehe Kap. 5.5). Für kleinste Koordinaten Horizontwerte mit larez vergleichen (in 1a-EVOrez ist $\Omega_R = 0$ ).	P
1aWICHTIG	1	Schreibt die 5 wichtigsten Zeitpunkte (identifiziert via Skalenfaktor) auf 14 Stellen genau in die Plotter-Datendatei.	P
1aWICHTIG61	1	Wie 1aWICHTIG, jetzt unter Verwendung der Wandelvariablen -60 und -61.	P
1a2WICHTIG61	1	Wie 1aWICHTIG61, jetzt für Scheitel bei a=2	P
1aSQt	1	Ausgegeben wird u.a. die Variable 35: Wurzel(t/HEUTE)/a in die Plotter-Datendatei. In der zeitlichen Umgebung des Urknalls sind Zähler und Nenner proportional. Eingegeben werden Skalenfaktoren. Ausgabe von HR, EK, LK, PH, PH(CMB) in km.	p
1t	1	Eingabe Zeitpunkte seit dem Urknall, Scheitel -14 für HEUTE. Für sehr hohe Werte ist Kap. 4.5 zu lesen.	P
1tk	1	Wie 1t, aber für eine sehr kleine Anzahl an Zeitpunkten. Ausgabe von Dichteparametern $\rho_R$ , $\rho_M$ , $\rho_\Lambda$ , $\rho_{\text{crit}}$ und $\Lambda$ in Plotter-Datendatei.	P
1tkm	1	Wie 1tk, aber mitbewegt und mit Ausgabe $\Omega_b$ , $\Omega_c$ , kein Plotten	M
1tkEHHR	1	Ähnlich wie 1tk, aber in Plotter-Datendatei wird Ereignishorizont/Hubblerradius ausgegeben.	P
1trez	1	Wie 1t. Es werden allerdings in _REZESSION die Rezessionsgeschwindigkeiten von Hubblesphäre, Lichtkegel und Horizonten (und nicht die von Galaxien auf Hubblesphäre, Lichtkegel und Horizonten) ausgegeben. Für sehr hohe Werte ist Kap. 4.5 zu lesen. Für kleinste Koordinaten Horizontwerte mit 1t-EVOrez vergleichen (in 1trez ist $\Omega_R \neq 0$ ).	P
1t-EVO	1	Wie 1t, aber für Parametersatz EVO – siehe Kap. 5.5,	P
1t-EVO-rez	1	Wie 1t-EVO, es werden aber in _REZESSION die Rezessionsgeschwindigkeiten von Hubblesphäre, Lichtkegel und Horizonten (und nicht die von Galaxien auf Hubblesphäre, Lichtkegel und Horizonten) ausgegeben. Für kleinste Koordinaten Horizontwerte mit 1trez vergleichen (in 1at-EVOrez ist $\Omega_R = 0$ ).	P
1T1000	1	Eingabe für Zeichnungen, Scheitel T=1000, Ausgabe Plotter-Datendatei, für [13] Kap. 7	P
1T1000-960	1	Siehe Kap. 5.14.3	P

1T200	1	Eingabe für Zeichnungen, Scheitel T=200, Ausgabe Plotter-Datendatei, für [13] Kap. 7	P
1ta2	1	Eingabe Zeitpunkte, Scheitel bei a=2	P
1t9t2	1	Eingabe Zeitpunkte für WMAP9, Scheitel bei 2*HEUTE	P
1t9t2z	1	Wie 1t9t2, neben z(Scheitel) wird zusätzlich z*=z(HEUTE) ausgegeben.	P
1tHREH	1	Ausgabe einiger Größen in Bezug zu Hubbleradius und Ereignishorizont in die Plotter-Datendatei	P
1tV	1	Eingabe Zeitpunkte als Vielfache der Zeit von HEUTE	P
1tLKap	1	Siehe Kap. 5.14.2	P
1t-LKap-42	1	Ausgabe VERALLGEMEINERTER MITBEWEGTER Abstand von Galaxien auf einem Lichtkegel mit Scheitelpunkt $a_s \neq 1$ (hier $a_s = (a(t=42))$ ). Es gilt $a_p = a/a_s$ , LKap( $a_s$ )=0 wenn $a_p=1$ . Würde man festlegen, dass der Skalenfaktor beim Scheitel $a_s$ den Wert 1 annehmen soll (alternative Definition des mitbewegten Abstands), so wäre $a_p$ dieser Skalenfaktor. Siehe Kap. 5.1, STYP -107, Variablen 16 und 15.	M
1tLkD	1	Siehe Kap. 5.14.2	P
1tmr	1	Ausgabe der Ableitungen (der mitbewegten Rezessionsgeschwindigkeiten) von Lichtkegel, Ereignishorizont und Partikelhorizont in mitbewegten Koordinaten in die Plotter-Datendatei	M
1tmh	1	Ausgabe mitbewegter Rezessionsgeschwindigkeiten, bezogen auf die Hubblesphäre, in die Plotter-Datendatei	M
1tx	1	Wie 1t, zusätzlich Ausgabe von Dichteparametern $\rho_R$ , $\rho_M$ , $\rho_\Lambda$ , $\rho_{crit}$ und $\Lambda$ in Plotter-Datendatei	P
1tRHO	1	Ausgabe von Dichteparametern $\rho_R$ , $\rho_M$ , $\rho_\Lambda$ und $\rho_{crit}$ in Plotter-Datendatei (siehe auch STYP -114). Voreinstellung: anteilmäßig. Steuerung über STYP -221, Position 5 möglich. Ausgabe $\Omega_\gamma$ und $\Omega_v$ in Hauptausgabedatei.	X
1tRHOall	1	Ausgabe von Dichteparametern $\rho_\gamma$ , $\rho_v$ , $\rho_b$ , $\rho_c$ und $\rho_{crit}$ in Plotter-Datendatei (siehe auch STYP -114). Voreinstellung: anteilmäßig. Steuerung über STYP -221, Position 5 möglich. Ausgabe $\Omega_b$ , $\Omega_c$ , $\Omega_\gamma$ und $\Omega_v$ in Hauptausgabedatei.	X
1tRHOall-960	1	Siehe Kap. 5.14.2	P
1tdichtkg	1	Ausgabe von Dichten in die Plotter-Datendatei in $\text{kg/m}^3$ . Enthält Zeitpunkte von 1txrho. Außerdem werden alle intern verwendeten Konstanten (via STYP -113) und in die Plotter-Datendatei die Kosmologische Konstante $\Lambda$ ausgegeben	P
1tdichtkg15	1	Ausgabe von Dichten in die Plotter-Datendatei in $\text{kg/m}^3$ . Planck15, zum Vergleich mit Ergebnissen des ICRAR-Rechners.	P
1tdichtGeV	1	Ausgabe von Dichten in die Plotter-Datendatei in $\text{GeV}/c^2/\text{m}^3$ . BOBLEST. Via Steuertyp -112. Siehe auch 2t112.	P
1tdichtant	1	Ausgabe von Dichten, $\log_{10}(t)$ , H und q in die Plotter-Datendatei als Anteile der kritischen Dichte. Voller Zeitbereich (erweitert) wie in 1t. G-Format.	P
1tdichtant2	1	Wie 1tdichtant, allerdings eingeschränkter Zeitbereich, typisch für $\text{Log}_{10}(t)$ -Plotter-Ausgabe. Ausgabe PLOT-Daten nach C:\WZEICHNUNGEN (Datei DICHTEN.TXT)	P
1tdichtantR0	1	Wie 1tdichtant, allerdings mit geänderten Parametersatz: $\Omega_M$ wie Planck18, aber $\Omega_R = 0$ . Ergebnis für q beachten!	P

1tUebertrag-960	1	Siehe Kap. 5.14.2	P
1tvollj	1	Ausgabe von Volumen in <code>_PLOT.TXT</code> in $L_j^3$ . Planck15	P
1tvolkM	1	Ausgabe von Volumen in <code>_PLOT.TXT</code> in $km^3$ . Planck15	P
1t-variablen	1	Ausgabe verschiedener Variablen in die Plotter-Datendatei (siehe Kap. 5.9). Durchlauf mit kleinsten bis zu größten zulässigen t-Werten - siehe Beispiel in Kap. 9.	X
1txrho	1	Schnittpunkte zwischen kosmologischen Dichteparametern. Zum Vergleich mit den Ergebnissen von Aufgabe 2.	P
1r	1	Eingabe Look-Back-Time. Standardscheitel.	P
1r61	1	Wie 1r, aber Scheitel 21 Mrd. Jahren nach dem Urknall, und Verwendung von Wandelvariablen -58 bis -64. Steuerdatei 2t21 sollte vorausseilen.	P
1r-virgo	1	Eingabe Look-Back-Time. Standardscheitel. Entfernungen zum Zentrum des Virgo-Superhaufens.	P
1rV	1	Eingabe Look-Back-Time als Vielfaches des Scheitels HEUTE	P
1rV2	1	Wie 1rV, aber Scheitel $T=2*HEUTE$ , via externen Scheitel	P
1rV61	1	Wie 1rV, aber Scheitel 21 Mrd. Jahren nach dem Urknall, und Verwendung von Wandelvariablen -58 bis -64. Steuerdatei 2t21 sollte vorausseilen.	P
1r-vgl	1	Erwartet Eingaben gemäß Look-Back-Time, die als Laufzeitentfernungen interpretiert werden. Ausgegeben werden u.a. die Laufzeitentfernung, die Lichtkegelentfernung und deren Differenz. Gezeigt werden soll in der Plotter-Datendatei, dass beide in der Umgebung des Lichtkegel-Scheitelpunkts (hier: HEUTE) ungefähr gleich sind.	P
1r-vgl1	1	Wie 1r-vgl, zusätzlich werden in der Plotter-Datendatei einige zusätzliche Eigenschaften wie die Einbindung von Platzhaltern und die Normierung der Differenz aufgezeigt. Verwendung der Wandelvariablen -60.	P
1r-vgl5	1	Wie 1t-vgl1, jetzt aber für den Scheitel $5*HEUTE$ . Verwendung der Wandelvariablen -60.	P
1z	1	Eingabe Rotverschiebungen (Standardscheitel) $z=1090$ , Entfernung CMB heute: 45.22 <u>Mrd.</u> Lichtjahre (Planck18). Ausgabe in mitbewegten Koordinaten.	M
1z_plot	1	Wie 1z, aber physikalische Koordinaten. Mit Plotter-Ausgabe. Entfernung CMB vom Beobachter bei $z=1090$ (zur Zeit der Lichtemission): 41.45 <u>Millionen</u> Lichtjahre (Planck18)	P
1z2_plot	1	Wie 1z_plot, aber Scheitel $z^*=-0.5$ , aber Eingabe $z^*$ . Ausgabe $z$ und $z^*$ .	P
1zp	1	Siehe Kap. 9.1. Wie 1z, aber Ausgabe in physikalischen Koordinaten.	P
1zprez	1	Siehe Kap. 9.1. Wie 1zp. Es werden allerdings in <code>_REZESSION</code> die Rezessionsgeschwindigkeiten von Hubblesphäre, Lichtkegel und Horizonten (und nicht die von Galaxien auf Hubblesphäre Lichtkegel und diesen Horizonten) ausgegeben.	P
1z2	1	Eingabe Rotverschiebungen $z^*$ , Ausgabe $z$ (Scheitel $z^*=-0.5$ , entspricht $a=2$ ), für vorgegebenen Zeitbereich (zeitliche Nähe zu SPT0418-47) auch Ausgabe $z^*$ .	M
1z3	1	Eingabe Rotverschiebungen $z^*$ , Ausgabe $z^*$ (Scheitel $z^*=-0.5$ ) Von Verwendung wird abgeraten.	M

1z4	1	Eingabe Rotverschiebungen $z$ (nicht $z^*$ ) via Platzhalter -6, Ausgabe $z$ (Scheitel $a=2$ ). Das ist zwar jetzt sinnvoll, aber vermutlich hat man keine Eingabedaten für $z$ . (Die angegebenen $z$ z.B. für CMB-Werte ergeben nicht jenen Sinn, der diesen für $z^*$ zugehört war.)	M
1z44	1	Wie 1z4. Es werden zusätzlich die Wandelvariablen -60 und -61 ausgegeben. Diese werden genau wie die Wandelvariable -22 korrekt in $z$ umgerechnet.	M
1z5	1	Eingabe $z^*$ (Scheitel $z^*=-0.5$ ). Ausgabe $z$ und zusätzlich $z^*$ für $z^*$ zwischen 1100 und 4. Im Wesentlichen gleiche Leistung wie 1z2, allerdings werden physikalische Daten ausgegeben.	P
1z-ICRAR	1	Im Prinzip wie 1z, aber für Planck15 und $\Omega_R$ von ICRAR [9]	M
1zkons	1	AUFGABE 1 (weil Steuertyp -105 fehlt), Steuertyp -301 fehlt: Eingabe $z^*$ (oder auch $z$ ) von der Konsole. Es wird ein externer Scheitel bei $a=3$ definiert, den man abrufen kann oder auch nicht. Ruft man den externen Scheitel mit -7 ab, so werden $z^*$ -Werte erwartet. Ruft man den externen Scheitel mit -6 ab, so werden $z$ -Werte erwartet.	P
1zkon2	1	Wie 1zkons. Ausgegeben wird neben $z$ (Normalfall) in Zusatzeile $z^*$ (via Steuertyp -222). Gibt man z.B. 1100, -1, 1089, -7, -9 ein, so kann man die CMB-Rotverschiebungen $z$ für $a=3$ neben $z^*$ für $a=1$ sehen. In einem zweiten Lauf mit 1zkon2 für $z^*=0$ (also $a=1$ ) kann man durch einen Vergleich beider Ergebnisse für den jeweiligen Lichtkegel die unterschiedlichen physikalischen Entfernungen des jeweiligen Surface of Last Scattering ermitteln.	P

1tgal99-?	1	Eingabe von Zeitwerten. Ausgabe der Weltlinie eines mitbewegten Objektes („Galaxie“) in die Plotter-Datendatei, das HEUTE auf dem Partikelhorizont PH(Urknall) (vgl. W. Lange, [11], 2023) gelegen ist. Dieses Objekt schneidet (später als zum Zeitpunkt des Urknalls) den Lichtkegel LK(HEUTE) nicht – siehe aber 1tgal99-1, wo anstelle des Urknalls ein in zeitlicher Nähe zum Urknall gelegenes Objekt auf dem Lichtkegel zur Lokalisation des Objekts verwendet wird. Die 8-stellige Plotterausgabe ist für die 3 folgenden Dateien bei der Ausgabe <u>physikalischer Koordinaten</u> identisch.	
1tgal99-1	1	Ausgabe in Plotter-Datendatei für HEUTE unter $z=UNENDLICH$ sichtbares mitbewegtes Objekt (tituliert: Galaxie). Die Galaxie liegt auf dem Lichtkegel, gekennzeichnet durch die Rotverschiebung $z^*=z(\text{HEUTE})=0.1D+17$ , entspricht (in Rechengenauigkeit) $a=0.1D-15$ , entspricht $t=0.75585097E-29$ Mrd. Jahre nach dem Urknall. Wichtige Eigenschaft: Der Abstand des Objekts ist bei $z^*=0.1D+17$ bei den ausgegebenen 8 zählenden Ziffern identisch mit dem Abstand vom Lichtkegel LK(HEUTE). Ab einer Ausgabe von mehr als 10 zählenden Ziffern wäre Abstand des Objekts geringfügig größer als der Abstand vom Lichtkegel.	X

ltgal99-2	1	Geplottet wird (unter dem Begriff GALAXIE) ein mitbewegtes Objekt, das 371'127 Jahre nach dem Urknall ( $t=CMB$ ) einen physikalischen Abstand von 42.28489486 MILLIONEN Lichtjahren vom Beobachter hatte. (Dieser Abstand wurde durch ltgal99-1 ermittelt.) Offenbar ist die Entfernung größer als der Wert des Lichtkegels bei $t=CMB$ . Das mitbewegte Objekt liegt also nicht auf dem Lichtkegel.	X
ltgal99-3	1	Geplottet wird die Weltlinie eines mitbewegten Objektes (Galaxie), das HEUTE 0.46132820297220E+02 Mrd. Lichtjahre vom Beobachter entfernt ist. Äquivalent: ... das HEUTE auf dem Partikelhorizont PH(Urknall) gelegen ist. Äquivalent: ... dessen mitbewegte Entfernung 0.46132820297220E+02 Mrd. Lichtjahre vom Beobachter beträgt.	X

ltgalEH-?	1	Eingabe von Zeitwerten. Ausgabe in _PLOT.TXT der Weltlinie eines mitbewegten Objektes („Galaxie“), das HEUTE einen physikalischen Abstand von 62.81217166 Mrd. Lichtjahren (entspricht den mitbewegten Abständen $D_{PH(\infty)}=D_{EH(0)}$ ) vom Beobachter hat. Die 8-stellige Plotter-Ausgabe ist für die 3 folgenden Dateien identisch.	
ltgalEH-1	1	Ausgabe in Plotter-Datendatei für ein mitbewegtes Objekt (tituliert als Galaxie), das kurz nach dem Urknall bei $a=1E-16$ (entspricht einen physikalischen Abstand von 0.62812171662513E-14 Mrd. Lichtjahren vom Beobachter hat. Wichtige Eigenschaft: Der Abstand des Objekts vom Beobachter ist bei $a=1E-16$ auf 13 zählende Ziffern genau wie der Abstand vom Ereignishorizont.	P
ltgalEH-2	1	Geplottet wird (unter dem Begriff GALAXIE) die Weltlinie eines mitbewegten Objekts, das 371'127 Jahre nach dem Urknall ( $t=CMB$ ) einen physikalischen Abstand von 57.573026271779 MILLIONEN Lichtjahren vom Beobachter hatte. Das mitbewegte Objekt ist bei $t=CMB$ geringfügig größer als der Wert des Ereignishorizonts (56.x).	P
ltgalEH-3	1	Geplottet wird die Weltlinie eines mitbewegten Objektes (Galaxie), das HEUTE 62.81217166 Mrd. Lichtjahre vom Beobachter entfernt ist. Äquivalent: ... dessen mitbewegte Entfernung dem mitbewegten Abstand $D_{PH(\infty)}=D_{EH(0)}$ vom Beobachter beträgt.	P

l?galExakt-?	1	Steuerdateien vom Exakt-Typ sind Vorlagen für die Ausgabe von kosmologischen Daten mit 14 zählenden Ziffern in eine Plotter-Datendatei. Derart genaue Daten an der Grenze der Rechengenauigkeit werden z.B. benötigt, wenn man ausgegebene Daten in einer Steuerdatei wieder einlesen möchte. Es kann so erreicht werden, dass Rechnungen mit diesen so eingelesenen Größen zu denen mit Originärdaten bei der üblichen 8-stelligen Ausgabe konsistent sind. Es wird davon ausgegangen, dass der Benutzer diese Vorlagen für eigene Zwecke abändert. Der voreingestellte Inhalt der Vorlagen wird im Weiteren trotzdem erläutert. Wenn man mit 14-stelligen t- oder a-Werten rechnen kann, sind a-Werte als Berechnungsbasis vorzuziehen, da keine Fehler wegen der Transformation von a nach t auftreten (im Allgemeinen bei Nichtfastnullergebnissen Differenz von 2 in der 14. Ziffer).	
--------------	---	--	--

1tgalExakt-1	1	Eingabe von Zeitwerten $t$ (Mrd. Jahre seit dem Urknall). Ausgegeben werden physikalische Koordinaten. Geplottet wird (unter dem Begriff GALAXIE) ein mitbewegtes Objekt, das 371'127 Jahre nach dem Urknall ( $t=CMB$ ) einen physikalischen Abstand von 41.447548518611 MILLIONEN Lichtjahren vom Beobachter hatte (Basisrechnung). Die Weltlinie dieses alternativ durch $z*=z(HEUTE)=1090$ ( $z*=CMB$ ) definierbaren mitbewegten Objekts (Alternativrechnung in 1tgalExakt-11) schneidet den Partikelhorizont $PH(CMB)$ bei $t=HEUTE$ . $PH(CMB)$ ist im $\_PLOT$ -Ausdruck durch $PHu-a$ gekennzeichnet (Ausgabe Plotter-Variablen 18). $z*=1090$ ist als untere Grenze $u$ voreingestellt, falls nicht durch $STYP -122$ (Wandelvariable -22) anderes definiert wird. Die beschriebene Rechnung für 14 zählende Ziffern liefert für Basisrechnung und Alternativrechnung bei einigen Werten Unterschiede in der letzten Ziffer. Verwendet man stattdessen eine 12-stellige Ausgabe, sind beide $\_PLOT$ -Ausgabedateien identisch.	P
1tgalExakt-11	1	Alternativrechnung zu 1tgalExakt-1	P
1tgalExakt-2	1	Eingabe von Zeitwerten $t$ (Mrd. Jahre seit dem Urknall). Ausgegeben werden physikalische Koordinaten. Geplottet wird (unter dem Begriff GALAXIE) ein mitbewegtes Objekt mit einem mitbewegten Abstand von 62.812171662514 Mrd. Lichtjahren (entspricht den mitbewegten Abständen $D_{PH(\infty)}=D_{EH(0)}$ ) vom Beobachter. Die Ergebnisse von 1tgalExakt-2 und 1tgalExakt-22 sind in der $\_PLOT$ -Datei auf 13 zählende Ziffern identisch.	P
1tgalExakt-22	1	Eingabe von Zeitwerten $t$ (Mrd. Jahre seit dem Urknall). Ausgegeben werden physikalische Koordinaten. Geplottet wird (unter dem Begriff GALAXIE) ein mitbewegtes Objekt bei $a=1E-16$ mit einem mitbewegten Abstand von 0.62812171662514E-14 Mrd. Lichtjahren vom Beobachter. Wie ein Wertevergleich zeigt, handelt es sich um ein ruhendes (SYNONYM: mitbewegtes) Objekt, das beim Urknall bzw. unmittelbar danach auf dem Ereignishorizont lag. Das Objekt hat bei $t=HEUTE$ ( $a=1$ ) den Abstand von 62.812171662514 Mrd. Lichtjahren vom Beobachter.	P
1agalExakt	1	Wie in 1a wird der gesamte zulässige Skalenfaktor-Wertebereich durchlaufen. Zusätzlich können in die Plotter-Datendatei maximal sieben 14-stellige Variablen gemäß $STYP -107$ ausgegeben werden. In der Vorlage wird bei einem Scheitel bei $a=1$ der Abstand zu einem mitbewegten Objekt ( $STYP -224$ ) ausgegeben, das kurz nach dem Urknall (bei Rotverschiebung von $1.E+16$ ) auf dem Lichtkegel $LK(a=1)=LK(HEUTE)$ gelegen war. (Verkommentiert sind einige alternative Eingaben mit gleicher Wirkung, z.B. ein mitbewegter Abstand von 46.132820297218 Mrd. Lichtjahren vom Beobachter.) Das Objekt liegt also bei $a=1$ ( $HEUTE$ ) auf dem Partikelhorizont $PH(Urknall)$ .	X
1agalExakt2	1	Wie 1agalExakt, aber bezogen auf $LK(a=2)$	X
1agalExaktEH	1	Wie 1agalExakt, aber mitbewegtes Objekt liegt kurz nach dem Urknall auf dem Ereignishorizont $EH=LK(a=\infty)$ .	X
1agalExakt-CMB	1	Wie 1agalExakt, aber Rotverschiebung von $ZCMB$ (bei Planck18: 1090). Auch Ausgabe von $PH(CMB)$ in Plotter-Datendatei.	X
1agalExakt2-CMD	1	Wie 1agalExakt-CMB, aber Rotverschiebung von $z*=ZCMB$ (bei Planck18: 1090). $z^*$ wird umgewandelt in $z$ .	X
1agalExaktEH-CMB	1	Wie 1agalExakt-CMB, aber mitbewegtes Objekt liegt bei $a=CMB$ auf dem Ereignishorizont $EH$ .	X
1agalExakt 1000-CMB	1	Wie 1agalExakt oder 1agalExakt2, aber mit Scheitel $a=1.0E29$ . $EH$ und $LK(1.0E29)$ sind von unten bis $1.E16$ identisch. Ergebnis: Der Abstand vom Beobachter wird über den Lichtkegel angesteuert. Nur um zu zeigen, was auch möglich ist.	X

1t-Objekt-?-?	1	Durchläuft für Zeichnungen sinnvolle Werte von $t=0$ bis $t=42$ Mrd. Jahre nach dem Urknall. Berechnet werden Weltlinien von (als Galaxien titulierten) mitbewegten Objekten. Das Wort GALAXIE wird benutzt, weil WELTTABELLEN diesen Begriff in den Ausdrücken verwendet. Die Ergebnisse findet man in der PLOT-Datei.	
1t-Objekt-t7-Urknall	1	Berechnet werden soll die (im Allgemeinen physikalische) Weltlinie einer Galaxie, die kurz nach dem Urknall auf dem Lichtkegel $LK(t=7)$ liegt. $a=0 / t=0$ wird durch $z^*=1.D+16$ (entspricht im Rahmen der Genauigkeit $a=1.D-16$ , $tsec=0.24D-12$ , also 0.24 mal $10$ hoch $-12$ Sekunden nach dem Urknall) simuliert.	X
1t-Objekt-t14-Urknall	1	Berechnet werden soll die (im Allgemeinen physikalische) Weltlinie einer Galaxie, die kurz nach dem Urknall auf dem Lichtkegel $LK(HEUTE)$ liegt.	X
1t-Objekt-t21-Urknall	1	Berechnet werden soll die (im Allgemeinen physikalische) Weltlinie einer Galaxie, die kurz nach dem Urknall auf dem Lichtkegel $LK(21)$ liegt.	X
1t-Objekt-EH-Urknall	1	Berechnet werden soll die (im Allgemeinen physikalische) Weltlinie einer Galaxie, die kurz nach dem Urknall auf dem Ereignishorizont liegt. Scheitelpunkt Lichtkegel: $T=1000$ zum Vergleich Lichtkegel-Ereignishorizont. Außerdem Ausgabe Galaxie/Hubblesphäre-Information (STYP -105 / 111) – selbstverständlich schneidet die Galaxie die Hubblesphäre nicht.	X
1t-Objekt-t7-CMB	1	Berechnet werden soll die (im Allgemeinen physikalische) Weltlinie einer Galaxie, die zum Zeitpunkt CMB (Planck18: $z^*=1090$ ) auf dem Lichtkegel $LK(t=7)$ liegt.	X
1t-Objekt-t14-CMB	1	Berechnet werden soll die (im Allgemeinen physikalische) Weltlinie einer Galaxie, die zum Zeitpunkt CMB (Planck18: $z^*=1090$ ) auf dem Lichtkegel $LK(HEUTE)$ liegt.	X
1t-Objekt-t21-CMB	1	Berechnet werden soll die (im Allgemeinen physikalische) Weltlinie einer Galaxie, die zum Zeitpunkt CMB (Planck18: $z^*=1090$ ) auf dem Lichtkegel $LK(t=21)$ liegt.	X
1t-Objekt-EH-CMB	1	Berechnet werden soll die (im Allgemeinen physikalische) Weltlinie einer Galaxie, die zum Zeitpunkt CMB auf dem Ereignishorizont liegt. $T=1000$ .	X
1a-Objekt-a1-Urknall	1	Skalenfaktor-Variante von 1t-Objekt-t14-Urknall. Kann verwendet werden, wenn man verschiedene Skalenfaktor-Werte eingeben möchte.	X

Bei den Erläuterungen zu AUFGABE 3 bezieht sich die Variable AUFGABE3-EINGABEMODUS auf STYP -227 und die Variable EIGENART auf STYP -224.

2a	2	Kosmische Parameter für Scheitel bei $a=1$
2a2	2	Kosmische Parameter für Scheitel bei $a=2$
2a3	2	Kosmische Parameter für Scheitel bei $a=3$
2a3-960	2	Siehe Kap. 5.14.2
2t	2	Kosmische Parameter für Scheitel bei $t=HEUTE$ Die Ergebnisse von 2a und 2t sind identisch
2tt	2	Wie 2 t, aber Rezessionsgeschwindigkeiten in Rezessionsdatei und Plotter-Datendatei in km/s und Hubble-Parameter in 1/s
2tEHPH	2	Kosmische Parameter für einen Scheitel knapp oberhalb des Schnittpunktes zwischen Ereignishorizont und Partikelhorizont
2tCMB	2	Kosmische Parameter für den Scheitel bei $t(z^*=1090)$
2t21	2	Kosmische Parameter für den Scheitel bei $t=21$
2t9-21	2	Kosmische Parameter WMAP9 für den Scheitel bei $t=21$
2t9-960	2	Siehe Kap. 5.14.2
2t9-5H	2	Kosmische Parameter WMAP9 für den Scheitel bei $5*HEUTE$
2t5H	2	Kosmische Parameter PLANCK18 für den Scheitel bei $t=5*HEUTE$
2T1000		Kosmische Parameter für den Scheitel bei $T=1000$
2T200		Kosmische Parameter für den Scheitel bei $T=200$

2tPhCMB	2	Kosmische Parameter, bezogen auf den Partikelhorizont PH(CMB), siehe [11]
2tPH7	2	Kosmische Parameter, bezogen auf den Partikelhorizont PH(7), siehe [11]
2tV	2	Kosmische Parameter für Scheitel bei $t=3 \cdot \text{HEUTE}$
2tW	2	Wie 2tV. Ausgabe $z^*$ anstelle $z$ . Nur um zu zeigen, dass es geht.
2t112	2	BOBLEST-Modell mit $\Omega_R=0$ - siehe Steuerdatei 1tdichtGeV. Eingabe via STYP -112. Weitere Besonderheit: Keine Äquivalenz zwischen Strahlung und Materie. Siehe auch 1tdichtGeV.
3-1-1	3	AUFGABE 3, (STYP -227) AUFGABE3EINGABEMODUS 1, (STYP -224) EIGENART -1: In der Dritten Zeile von Steuertyp -227 werden a-Werte erwartet. Welchen Scheitel hat der Lichtkegel, den die Galaxie mit einem mitbewegten Abstand von 10 Mrd. Lichtjahren vom Beobachter beim jeweiligen a-Wert schneidet?
3-1-2	3	AUFGABE 3, AUFGABE3EINGABEMODUS 1, EIGENART -2: In der Dritten Zeile von Steuertyp -227 werden a-Werte erwartet. Welchen Scheitel hat der Lichtkegel, den die Galaxie mit der Rotverschiebung $z=4$ beim Scheitel $a=2$ beim jeweiligen a-Wert der DRITTEN Zeile schneidet? Gerechnet wird mit PLANCK15.
3-3-1	3	AUFGABE 3, AUFGABE3EINGABEMODUS 3, EIGENART -1: In der Dritten Zeile von Steuertyp -227 werden t-Werte erwartet. Welchen Scheitel hat der Lichtkegel, den die Galaxie mit einem bei $a=0.8$ physikalischen Abstand von 10 Mrd. Lichtjahren vom Beobachter beim jeweiligen t-Wert schneidet? Gerechnet wird mit PLANCK15.
3-3-1V	3	Wie 3-3-1: Wegen Parameter 1 zu STEUERTYP -200 werden die t-Werte als Vielfaches von HEUTE erwartet.
3-3-3	3	AUFGABE 3, AUFGABE3EINGABEMODUS 3, EIGENART -3: In der Dritten Zeile von Steuertyp -227 werden t-Werte erwartet. Welchen Scheitel hat der Lichtkegel, den die Galaxie mit einem bei $t=12$ Mrd. Jahren physikalischen Abstand von 5 Mrd. Lichtjahren vom Beobachter beim jeweiligen t-Wert schneidet?
3-3-3X	3	Der Lichtkegel welchen Scheitelpunkts schneidet einen Punkt (t,d) in der Raumzeit, wobei t die Zeit nach dem Urknall und d den physikalischen Abstand vom Beobachter darstellt. Der Abstand d wird zwischen Hubblesphäre und Ereignishorizont gewählt, wo sich auf den Beobachter gerichtete Photonen vom Beobachter entfernen. Der Schnittpunkt kommt zustande, weil die Hubblesphäre die sich entfernenden Photonen überholt. Die Steuerdatei ist beispielhaft dokumentiert.
3-3-5	3	AUFGABE 3, AUFGABE3EINGABEMODUS 3, EIGENART -5: In der Dritten Zeile von Steuertyp -227 werden t-Werte erwartet. Betrachtet wird die Weltlinie einer Galaxie, die sich 5 Mrd. Jahre nach dem Urknall auf einem Lichtkegel mit einem Scheitel bei 8 Mrd. Jahren nach dem Urknall befindet. Über den mitbewegten Abstand dieser Galaxie vom Beobachter werden die Scheitel jener Lichtkegel berechnet, den die Galaxie zu den Zeitpunkten in Mrd. Jahren der Dritten Zeile schneidet.
3-3-22	3	AUFGABE 3, AUFGABE3EINGABEMODUS 3, EIGENART -22: In der Dritten Zeile von Steuertyp -227 werden a-Werte erwartet. Betrachtet wird die Weltlinie einer Galaxie, die unter einer Rotverschiebung $z=0.4118745344$ beim Scheitel eines Lichtkegels bei 8 Mrd. Jahren nach dem Urknall SICHTBAR ist. Achtung: $z(t=8)=0$ . Über den mitbewegten Abstand dieser Galaxie vom Beobachter werden die Scheitel jener Lichtkegel berechnet, den die Galaxie zu den Zeitpunkten in Mrd. Jahren der Dritten Zeile schneidet. Dieses Mal wird mit PLANCK15 gerechnet.
3-3-22-EVO	3	Wie 3-3-22, aber für Parametersatz EVO – siehe Kap. 5.5

3-4-1	3	AUFGABE 3, AUFGABE3EINGABEMODUS 4, EIGENART -1: In der Dritten Zeile von Steuertyp -227 werden a-Scheitelpunkte erwartet. Bei welchen a bzw. t schneidet eine Galaxie mit einem mitbewegten Abstand von 10 Mrd. Lichtjahren vom Beobachter die Lichtkegel mit den a-Scheitelpunkten der Dritten Zeile?
3-4-5	3	AUFGABE 3, AUFGABE3EINGABEMODUS 4, EIGENART -5: In der Dritten Zeile von Steuertyp -227 werden a-Scheitelpunkte erwartet. Bei welchen a bzw. t schneidet eine Galaxie, die zum Zeitpunkt 0.3583579236 Mrd. Jahre nach dem Urknall auf einem Lichtkegel mit Scheitel bei $t=4.27938$ Mrd. Jahren gelegen ist, die Lichtkegel mit den a-Scheitelpunkten der Dritten Zeile? Gerechnet wird mit PLANCK15.
3-5-2-S	3	AUFGABE 3, AUFGABE3EINGABEMODUS 5, EIGENART -2: In der Dritten Zeile von Steuertyp -227 werden t-Scheitelpunkte erwartet. Betrachtet wird die Weltlinie der Galaxie SPT0418-47, die unter einer Rotverschiebung $z=4.2248$ beim Scheitel des HEUTIGEN Lichtkegels SICHTBAR ist. Es wird beobachtet, wie sich Zeitpunkte und Abstände der Galaxie vom Beobachter verändern, wenn die Beobachtungszeiten (Veränderung des Scheitelpunkts) um mehrfach jeweils 100 Millionen Jahren (beim heutigen ersten Zeitpunkt um etwas mehr) in die Zukunft verschoben werden.
3-5-2-St 3-5-2-Sa 3-5-2-StS	3	Wie 3-5-3-S, jetzt aber (einmalige) Veränderung des Scheitelpunkts für 100'000 Jahre. Berechnungen für [13], Kap. 5.2.2, ab Version 3.
3-5-2-G	3	Wie 3-5-2-S Allerdings erfolgen die Berechnungen für die zugehörige Gravitationslinse mit $z=0.263$ .
3-5-22	3	AUFGABE 3, AUFGABE3EINGABEMODUS 5, EIGENART -22: In der Dritten Zeile von Steuertyp -227 werden t-Scheitelpunkte erwartet. Betrachtet wird die Weltlinie einer Galaxie, die unter einer Rotverschiebung $z=0.4118745344$ beim Scheitel eines Lichtkegels bei 8 Mrd. Jahren nach dem Urknall SICHTBAR ist. Achtung: $z(t=8)=0$ . Bei welchen a bzw. t schneidet die Galaxie die Lichtkegel mit den t-Scheitelpunkten der Dritten Zeile? Es wird mit PLANCK15 gerechnet.
3-5-22V	3	Im Prinzip wie 3-5-22. Allerdings werden die t-Scheitelpunkte der Dritten Zeile jetzt als Vielfache von HEUTE erwartet. Die aufgeführten Scheitelpunkte der Dritten Zeile stimmen nicht mit den absolut aufgeführten von 3-5-22 überein.
3-5-22_plot  Siehe Kap. 9. Ist beispielhaft inline dokumentiert!	3	AUFGABE 3, AUFGABE3EINGABEMODUS 5, EIGENART -22: In der Dritten Zeile von Steuertyp -227 werden T-Scheitelpunkte erwartet. Betrachtet wird in STYP -224 die Weltlinie einer Galaxie, die unter einer Rotverschiebung 4.2248 (SPT0418-47) beim Standardscheitel eines Lichtkegels (T=HEUTE) SICHTBAR ist. Bei welchen a bzw. t schneidet die Galaxie die Lichtkegel mit den T-Scheitelpunkten der Dritten Zeile zu STYP -227? Außerdem werden die Schnittpunkte (t, Galaxie, siehe STYP -107) in physikalischen Koordinaten bis zum Ereignishorizont in die Plotter-Datendatei geschrieben. (Die Steuerdatei ist inhaltlich nicht äquivalent zu 3-5-22, sondern zu 3-5-2-S.)
3-5-22_plot-960	3	Siehe Kap. 5.14.2

3-11-2	3	AUFGABE 3, AUFGABE3EINGABEMODUS 11, EIGENART -2: In der Dritten Zeile von Steuertyp -227 werden a-Werte erwartet, und zwar in folgender Form (SONDERAUFBAU): zwischen dem vorletzten Wert (hier -8 für die durch das TRIPEL von STYP -224 bestimmte Galaxie) und dem Ereignishorizont werden so viele a eingefügt, wie es der letzte Wert anzeigt. Werte davor sind, sofern vorhanden, a-Werte (im Allgemeinen kleiner als der vorletzte Wert), die zusätzlich behandelt werden. Betrachtet wird die Weltlinie einer Galaxie, die unter einer Rotverschiebung $z=9$ beim Scheitel eines Lichtkegels bei $a=8$ SICHTBAR ist. Achtung: $z(a=8)=0$ . Über den mitbewegten Abstand dieser Galaxie vom Beobachter werden die Scheitel jener Lichtkegel berechnet, den die Galaxie zu den Skalenfaktoren a der Dritten Zeile (gemäß SONDERAUFBAU) schneidet.
3-11-22	3	AUFGABE 3, AUFGABE3EINGABEMODUS 11, EIGENART -22: In der Dritten Zeile von Steuertyp -227 werden a-Werte gemäß SONDERAUFBAU (siehe 3-11-2) erwartet. Betrachtet wird die Weltlinie einer Galaxie, die unter einer Rotverschiebung $z=0.4118745344$ beim Scheitel eines Lichtkegels bei $t=8$ Mrd. Jahre SICHTBAR ist. Achtung: $z(t=8)=0$ . Über den mitbewegten Abstand dieser Galaxie vom Beobachter werden die Scheitel jener Lichtkegel berechnet, den die Galaxie zu den Skalenfaktoren a der Dritten Zeile (gemäß SONDERAUFBAU) schneidet. Es wird mit PLANCK15 gerechnet.
3-11-22-EVO	3	Wie 3-11-22, allerdings für den Paarmetersatz EVO, der über STYP -112 eingegeben wird. Siehe Kap. 5.5.
3-13-22	3	AUFGABE 3, AUFGABE3EINGABEMODUS 13, EIGENART -22: In der Dritten Zeile von Steuertyp -227 werden t-Werte erwartet, und zwar in folgender Form (SONDERAUFBAU): zwischen dem vorletzten Wert (hier -8 für die durch das TRIPEL von STYP 224 bestimmte Galaxie) und dem Ereignishorizont werden so viele t eingefügt, wie es der letzte Wert anzeigt. Werte davor sind, sofern vorhanden, t-Werte (im Allgemeinen kleiner als der vorletzte Wert), die zusätzlich behandelt werden. Betrachtet wird die Weltlinie einer Galaxie, die unter einer Rotverschiebung $z=0.4118745344$ beim Scheitel eines Lichtkegels bei $t=8$ Mrd. Jahre SICHTBAR ist. Achtung: $z(t=8)=0$ . Über den mitbewegten Abstand dieser Galaxie vom Beobachter werden die Scheitel jener Lichtkegel berechnet, den die Galaxie zu den Zeitpunkten t der Dritten Zeile (gemäß SONDERAUFBAU) schneidet. Es wird mit PLANCK15 gerechnet.
3-13-22S	3	Siehe Kap. 9.1. Es werden Lichtkegel für 3 t-äquidistante Schnittpunkte der HEUTE unter $z=4.2248$ sichtbaren Galaxie SPT0418-47 mit Lichtkegeln zwischen dem HEUTE-Lichtkegel und dem Ereignishorizont ermittelt.
3-13-22Splotp	3	Wie 3-13-22S, zusätzlich werden Zeit und physikalische Galaxie-Koordinaten in die Plotter-Datendatei geschrieben.
3-13-22Splotm	3	Wie 3-13-22S, zusätzlich werden Zeit und mitbewegte Galaxie-Koordinaten in die Plotter-Datendatei geschrieben.
3-13-22G		Wie 3-13-22S, jetzt aber für die Gravitationslinse der Galaxie SPT0418-47 mit der Rotverschiebung $z=0.263$ .
3-3-1HR	3	In der Dritten Zeile von Steuertyp -227 werden t-Werte erwartet. Betrachtet wird die Weltlinie einer Galaxie mit einem mitbewegten Abstand von 13. Mrd. Lichtjahren vom Beobachter. Welchen Scheitel hat der Lichtkegel, den die Galaxie beim jeweiligen t-Wert der Dritten Zeile von STYP -227 schneidet? Abbildung 1 von Quelle [13] kann anhand der Schnittpunkte der Galaxie mit dem Hubble radius in Zusammenwirken mit der Plotterausgabe der Steuerdatei <code>1tHR_plot</code> überprüft werden. (STYP -227 ist dazu irrelevant.)

3-0-1HR	3	Nur Schnittpunkte der Galaxie mit dem Hubbleradius werden ausgegeben. Schnittpunkte können mit Plotterausgabe der Steuerdatei 1tHR_plot überprüft werden.	
1tHR_plot	1	Durchläuft einige t-Werte, mit denen Abbildung 1 von Quelle [13] mittels der erzeugten Plotter-Datendatei überprüft werden kann. Es werden a, t, HR, Galaxie in die _PLOT-Datei geschrieben. Dabei ist die Galaxie durch den mitbewegten Abstand von 13 Mrd. Lichtjahren vom Beobachter definiert. Alle anderen in Quelle [13] erwähnten Galaxien sind verkommentiert und können bei Bedarf abgerufen werden. Die t-Werte aller Schnittpunkte zwischen der Weltlinie der Galaxie und der Hubblesphäre sind in den t-Werten von STYP -301 enthalten. Man kann die mitgelieferte Galaxie/Hubble-Radius-Information mit den Werten der _PLOT-Datei vergleichen. 1tHR_plot enthält alle erforderlichen Informationen und kann unabhängig von den beiden zuvor erwähnten Steuerdateien aufgerufen werden.	M

Die folgenden Steuerdateien berechnen Werte im Zusammenhang mit dem Abbremsparameter  $q$  mit  $q=0$  bei  $t=7.6931755$  Mrd. Jahren nach dem Urknall. Dies ist genau jener Zeitpunkt, bei dem (bei PLANCK18) in mitbewegten Koordinaten die Hubblesphäre ihren Maximalabstand von 16.516757 Mrd. Lichtjahren vom Beobachter annimmt. Derartige Steuerdateien sind geeignet, die Probleme von [13], Kap. 4 inkl. Abbildung 1 zu lösen.

3-3-1-q	3	Der Lichtkegel welchen Scheitelpunkts schneidet beim 8-stelligen Zeitpunkt $t=7.6931755$ die Galaxie mit einem mitbewegten Abstand von 16.516757 Mrd. Lichtjahren vom Beobachter? Im Punkt ( $t=7.6931755$ , $D=16.516757$ ) schneiden sich LK(Ergebnisscheitelpunkt), Hubblesphäre und die Weltlinie der Galaxie. Möchte man die geschilderte Aufgabe zeichnen, wo wählt man vorzugsweise mitbewegte Koordinaten.	
3-3-1-qexakt	3	Wie 3-3-1-q. Es werden jedoch 16-stellige Werte anstelle der 8-stelligen von 3-3-1-q eingegeben. Man kann die exakten Werte über die Galaxie-Hubleradius-Schnittpunkt-Information von Aufgabe 3 erhalten. (Diese Information ist auch in Aufgabe 1 verfügbar, wenn dort eine Galaxie (Steuertyp -224) definiert wird.) Bei den hier eingegebenen exakten 16-stelligen Werten haben Galaxie und Hubblesphäre nur einen Schnittpunkt. Bei der 8-stelligen Information werden 2 Schnittpunkte ausgewiesen. Bei dieser Aussage wird davon ausgegangen, dass der letzte Wert DIFFBERUEHR von ITYP -1130 (Datei ITERATIONENW) nicht geändert wurde.	
3-4-1-q	3	In der Dritten Zeile von Steuertyp -227 werden a-Scheitelpunkte, nämlich $a=1$ (entspricht $t=HEUTE$ ), $a=2$ , und $a=3$ erwartet. Bei welchen $a/t/z^*$ -Werten schneidet die Galaxie mit einem mitbewegten Abstand von (8-stelligen) 16.516757 Mrd. Lichtjahren vom Beobachter die Lichtkegel mit den Scheitelpunkten bei $a=1$ (heute), $a=2$ und $a=3$ ?	
3-5-1-q	3	In der Dritten Zeile von Steuertyp -227 werden t-Scheitelpunkte, nämlich $t=HEUTE$ , $t=28$ , $t=42$ , $t=56$ und $t=70$ erwartet. Bei welchen $a/t/z^*$ -Werten schneidet die Galaxie mit einem mitbewegten Abstand von (8-stelligen) 16.516757 Mrd. Lichtjahren vom Beobachter die Lichtkegel mit den Scheitelpunkten bei den eingegebenen t-Scheitelpunkten?	

Im Unterverzeichnis STEUERD des Hauptverzeichnisses ist eine Datei „Zusaetzliche-Steuerdateien-WELTTABELLEN.PDF“ verfügbar, in der zusätzliche Beispiele für Steuerdateien (insbesondere Plotter-Datendateien) erläutert werden.

### 4.3 Steuerkennzeichen

Man kann Steuerdateien mit einem Steuerkennzeichen versehen. Dieses kann über den Steuertyp -102 hinter einem Semikolon eingegeben werden. Bei allen zuvor erwähnten Steuerdateien wird die Buchstabenfolge des Dateinamens der Steuerdatei hinter STEUERW als Steuerkennzeichen verwendet.

Beispiel: Bearbeitet wird die Steuerdatei STEUERW1ap28.TXT, für die im weiteren Text meistens nur der wesentliche Teil *1ap28* zur Kennzeichnung verwendet wird,

Diese Steuerdatei enthält die Befehlsfolge

```
-102  
;1ap28
```

Für die Steuerdatei wird das Steuerkennzeichen *1ap28* vereinbart. Dieses Steuerkennzeichen steht hinter dem Dateinamen der Ausgabedatei, der hier fehlt, weil das voreingestellte ZZ als Dateiname verwendet wird. Es könnte also auch

```
-102  
ZZ;1ap28
```

vereinbart sein. Das Steuerkennzeichen wird an die Dateinamen der \_DELTA und \_REZESSION-Dateien, falls vorhanden auch an die \_PLOT-Datei, hinter einem Underscore „\_“ angehängt.

Beim Steuerkennzeichen *1ap28* hätte die \_DELTA-Datei z.B. den vollständigen Namen ZZ<Erweiterung>\_DELTA\_1ap28\_P.TXT.

#### 4.4 Beispiel für eine Steuerdatei

Es folgt der Ausdruck der Steuerdatei STEUERW1t. Ist der letzte Eingabeparameter einer Eingabezeile eine Zahl, so kann hinter einem Komma im Anschluss an diese Zahl ein Kommentar stehen.

```
-102, Steuerkennzeichen
;t
-103, Text bis vor &&&-Zeile wird am Anfang der ersten Ausgabedatei ausgegeben.
Eingabe von Zeitwerten t (Mrd. Jahre seit dem Urknall). Es wird eine grosse Anzahl
an t-Werten durchlaufen
&&&
-111
18,-9, Planck 18, OMEGA_R automatisch berechnet
-121
1,0.1D-11, Wandelvariable -21, definiert durch a=0.1D-11
-123
1,0.6128499921842745,0, Wandelvariable -23, a beim Zeitpunkt zu q=0 bei Planck 18,
-888, ermittelt via Steuerdatei 2t, höchstens 13.5 zählende Ziffern
-201
3, via Steuertyp -301 werden Zeitwerte in Mrd. Jahren seit Urknall erwartet
-211
1, es werden physikalische Daten ausgegeben
-301, auszugebende Zeitpunkte
-21,0,0,-14,-8, Wandelvariable -21 entspricht a=0.1E-11. Scheitelpunkt Lichtkegel: HEUTE (-14).
0.00002,0.00002,0.0001,-8
0.0002,0.0001,0.0003,-8
-22,0,0,-8, Zeit CMB (via Wandelvariable -22, auf CMB voreingestellt).
0.0004,0.0001,0.0009,-8
0.001,0.001,0.009,-8
0.01,0.01,0.09,-8
0.1,0.05,0.95,-8
1,0.1,1.9,-8
2,0.5,7.5,-8
-23,0,0,-8, Wandelvariable -23
8,0.5,12.5,-8
13,0.1,13.7,-8
-14,0,-14,-8, -14 ist Platzhalter für HEUTE
13.9,0,0,-8
14,2,70,-8
80,10,500,-8
600,100,1100,-9
-999, ENDE DER DATEI
```

Der Platzhalter -14 (siehe auch Kap. 5.3.) in der ersten Folgezeile von Steuertyp -301 legt den Scheitelpunkt des Lichtkegels auf den Zeitpunkt HEUTE fest. Da der Steuertyp -102 keinen Dateinamen enthält, beginnen die Namen aller Ausgabedateien mit der voreingestellten Buchstabenfolge ZZ.

In Kap. 8.13 wird diese Steuerdatei in dort vorgesehenen Funktionstest einbezogen.

## 4.5 Bemerkungen zur Rechen- und Darstellungsgenauigkeit

### 4.5.1 Berechnungsgenauigkeit

Das Programm WELTTABELLEN arbeitet mit doppelter Genauigkeit, was ungefähr 16 Dezimalziffern entspricht. Bei Iterationsverfahren wird im Allgemeinen eine relative Genauigkeit von  $10^{-13}$  (kleinster sinnvoller Wert:  $5 \cdot 10^{-14}$ ) vorgegeben.

Man kann bei der Mehrheit der zwischen  $10^{-16}$  und  $10^{30}$  angesiedelten a-Eingangswerte mit 8, meistens sogar mit 12 zählenden Ziffern bei den Ergebniswerten rechnen. Schwierigkeiten treten immer dann auf, wenn durch Rechnung mit absolut großen Werten kleine Ergebnisse (Ergebnisse in der Nähe von NULL bezogen auf die Größe der Eingangswerte) zustande kommen.

Da das Programm davon ausgeht, dass man die Scheitelpunkte von Lichtkegeln beliebig nach oben und unten verschieben kann, ist es a priori fast unmöglich zu sagen, wo sinnvolle Grenzen für eine Bewertung von Ergebnissen vorhanden sind.

Wir raten, in Zweifelsfällen einen Blick auf jene Ergebnisreihen zu werfen, die durch Berechnungen von WELTTABELLEN über die Steuerdateien 1a oder 1ap zustande gekommen sind.

Für die weiteren Überlegungen gehen wir von einem Lichtkegel-Scheitelpunkt von  $a=1$  (d.h.  $t=HEUTE$ ) aus.

Man kann sich das Genauigkeitsproblem an den beiden Größen Hubble-Radius und Ereignishorizont klar machen. Für große a-Werte konvergieren beide gegen den gleichen Wert, in mitbewegten Daten gegen NULL und in physikalischen Daten gegen  $c / (H_0 \cdot \Omega_\Lambda^{-1/2})$ . Ausgedruckt werden alle Werte in Mrd. Lichtjahren, bei Ausgabe in die Plotter-Datendatei ist zusätzlich eine Ausgabe in km möglich.

In der 8-ziffrigen Darstellung sind bei Planck18 und automatisch berechnetem  $\Omega_R$  beide Reihen (bei der Darstellung in Mrd. Lichtjahren) ab  $a=0.4 \cdot 10^3$  (14 Ziffern:  $0.3 \cdot 10^5$ ) in mitbewegten, ab  $a=0.3 \cdot 10^3$  (14 Ziffern:  $0.3 \cdot 10^5$ ) in physikalischen Koordinaten nicht mehr voneinander unterscheidbar, und die Werte ändern sich danach auch nicht mehr. Es ist klar, dass es in dieser Darstellung zwecklos ist zu fragen, wo ein nahe beim Ereignishorizont gelegener Lichtkegel den Hubble-Radius schneidet, sofern dieser Schnittpunkt oberhalb der kritischen Grenze gelegen ist.

Schaut man sich in den DELTA-Dateien (siehe Kap. 8.11 bzw. Kap. 5.1, Steuertyp -105, Aufgabe 1) die Reihe Ereignishorizont-minus-Hubble-Radius an, so kann man in mitbewegten und physikalischen Koordinaten bis  $0.6 \cdot 10^5$  ein halbwegs vernünftiges Verhalten feststellen. Danach sieht man nur noch Rundungsfehler.

Die Verfolgung beider Reihen in der Druckausgabe soll nur als ein exemplarisches Beispiel dienen, wie man grundsätzlich feststellen kann, ob man Ergebnisse (besonders solche nahe NULL) bei sehr hohen Eingangswerten (bei anderen Fragestellungen bei sehr niedrigen Eingangswerten) noch sinnvoll verwenden kann. Meistens ist es durch eine analoge Verfolgung anderer Reihen ebenfalls möglich zu ermitteln, wo durch erratisches Verhalten die Zone der Nur-noch-Rundungsfehler beginnt.

Mittels Plotter-Ausgabe ist es auch möglich, eine beliebige Anzahl zählender Ziffern (mehr als 14 ist nie sinnvoll) auszugeben. Dies ist eventuell dann zweckmäßig, wenn die Werte in natürlicher Größenordnung (nicht nahe NULL, Werte von a- oder t-benachbarten Ausgabewerten unterscheidbar) verfügbar sind und wenn man diese Ausgabewerte in einem späteren WELTTABELLEN-Lauf wieder als Eingabewerte verwenden will. Da die Zeit  $t$  über ein Iterationsverfahren aus dem Skalenfaktor  $a$  berechnet wird, ist es günstiger, bei Grenzgenauigkeit Ausgabewerte aus a-Eingabewerten herzuleiten, sofern dies im Rahmen der Aufgabenstellung sinnvoll ist. Die Herleitung von  $t$  aus  $a$  kostet erfahrungsgemäß eine Differenz von 2 in der 14. zählenden Ziffer, wodurch bei Differenzfortpflanzung auch vorherige Ziffern betroffen sein können. Dieses Problem wird z.B. bei den vorbereiteten 1?Exakt?-Steuerdateien in Kap. 4.2 genauer und beispielhaft thematisiert.

#### 4.5.2 Anzeige von Ergebnissen

Ist es sinnvoll, ein Ergebnis auf 16 Stellen genau anzuzeigen, wenn z.B. der heutige Hubble-Parameter  $H_0$  und der heutige Materieanteil  $\Omega_M$  an der Materie-/Energiedichte des Universums nur in Form dreiziffriger Dezimalzahlen vorgegeben werden?

Es sollte selbstverständlich sein, dass so genau wie möglich gerechnet wird. Ziffern in Endergebnissen zu streichen, ist immer möglich, zu verlängern naturgemäß nicht. WELTTABELLEN rechnet doppelgenau, was ungefähr 16 Dezimalziffern entspricht. Da viele Ergebnisse über Iterationsprozesse gewonnen werden, kann man eine Genauigkeit von 14.5 Ziffern als sinnvoll erachten, sofern nicht Ergebnisse in die Umgebung von NULL in Vergleich jenen Größen geraten, über die diese Ergebnisse gewonnen werden.

Hier gibt es die erste allgemeine Antwort: Ein Benutzer kann Zahlen, die für ihn Endergebnisse darstellen, auf eine für ihn als sinnvoll erachtete Ziffernzahl runden. Es ist aber klar, dass man nie mit verkürzter Ziffernzahl weiterrechnen sollte. Möchte man WELTTABELLEN Ergebniswerte in anderen Steuerdateien wiederverwenden, so sollten möglich exakte Zahlen weitergegeben werden. Runden soll man erst ganz zum Schluss.

In Kap. 5.13 wird dargestellt, wie Aufgabe 2-Ergebnisse binär nach Aufgabe 1 übertragen werden können. Die dort geschilderten Möglichkeiten helfen allerdings im Allgemeinen nicht, wenn eine in WELTTABELLEN Version 3.2 neu eingeführte Leistung, die sogenannte NEUHEUTE-Methodik (siehe Kap. 5.14), verwendet wird. Obwohl der Autor nicht glaubt, dass die neue Methodik breit angewendet wird, so wurde doch bei der Darstellung verschiedener Ergebnisse die Genauigkeit der Darstellung erhöht. Der Benutzer sollte darauf gefasst ein, dass beim Studium der Ergebnisse aller Aufgaben vielziffrige Zahlen auftauchen, insbesondere solche, die für die neue Methodik zweckmäßig erscheinen.

#### 4.6 Obere und untere Grenze für das Rechnen mit WELTTABELLEN

Für Benutzer sind a-Eingangswerte zwischen  $10^{-16}$  und  $10^{30}$  möglich. Der maximale Bereich ist durch die Datei GRENZENW (siehe Kap. 5.7) festgelegt. Durch WELTTABELLEN-Durchläufe mittels STEUERWa werden den a-Werten in Dateien vom Typ T\_NACH\_A Parametersatz-abhängige t-Werte zugeordnet.

Die zulässige Größenordnung für a- und t-Werte ist offensichtlich äußerst großzügig bemessen. Es liegt aber in der Natur einer Applikationsnutzung, dass Benutzer versuchen, die Größenordnungen auszutesten. Während die a-Werte in WELTTABELLEN rechentechnisch Parametersatz-unabhängig sind, werden t-Werte über den jeweils aktuellen Parametersatz zugeordnet. Dadurch ist es unter der Annahme Parametersatz-spezifischer T\_NACH\_A-

Dateien möglich, dass insbesondere für t-definierte Programmaufrufe das Programm für einen Parametersatz (z.B. PLANCK18) erfolgreich beendet wird, bei einem anderen Parametersatz (z.B. 737) jedoch wegen Grenzüberschreitung abbricht.

## 5 Verwaltungsdateien des Programms WELTTABELLEN

Mittels Steuerdateien vom Typ STEUERW werden einzelne Dienstleistungen programmiert, die von WELTTABELLEN bereitgestellt werden sollen. Dies geschieht dadurch, dass mittels Steuerdateien vom Typ STEUERW einzelne dienstleistungsspezifische Parameter übergeben werden.

Andere Parameter zur Steuerung von WELTTABELLEN sind globaler Natur. Diese werden nur selten geändert und werden über die Datei ITERATIONENW an WELTTABELLEN übermittelt. Über die meisten Parameter werden Iterationsverfahren zur Lösung bestimmter Aufgaben gesteuert, wobei die Bereitstellung von Startwerten für diese Iterationsverfahren ein häufiges Anliegen ist.

Es ist relativ einfach, einem Skalenfaktor  $a$  einen Zeitwert  $t=F(a)$  seit dem Urknall zuzuordnen. Die Umkehrung dieser Aufgabenstellung, also die Zuordnung  $a=F^{-1}(t)$  erfolgt numerisch über ein Iterationsverfahren. Die Startwerte für die Abbildung für bestimmte  $t$  sind in einer Datei vom Typ T\_NACH\_A abgespeichert.

Für den Abruf bestimmter Dienstleistungen stellt der Autor Steuerdateien vom Typ STEUERW bereit. Um andere Typen von Steuerdateien muss sich der Benutzer nicht oder nur sehr selten kümmern.

### 5.1 +++++ AUFBAU DER STEUERDATEI STEUERW +++++

**Vorbemerkung:** Ein Benutzer sollte die vorbereiteten Steuerdateien zu Rate ziehen, falls ihm Teile der im Weiteren dargelegten Beschreibung nicht klar sind. Vom Benutzer nicht voll verstandene Variablen in diesen Dateien sollten nicht ohne Not geändert werden. Durch den Konsolbefehl „d xyz“ (via Befehlsdatei d.BAT) wird die Steuerdatei STEUERWxyz.TXT im Unterverzeichnis STEUERD auf STEUERW.TXT im Hauptverzeichnis kopiert und anschließend vom WELTTABELLEN-Programm w.exe im Hauptverzeichnis ausgeführt. Die Ergebnisse findet man im Ausgabeverzeichnis.

Die Steuerdatei STEUERW.TXT besteht aus einer Folge von Zeilen, wobei eine Zeile mit genau einem negativen Wert (dem STEUERTYP – abgekürzt: STYP) andeutet, was in einer Folgezeile (oder mehreren Folgezeilen) aufgeführt ist.

Die Steuertypen müssen gemäß Absolutwert aufsteigend geordnet aufgeführt sein.

Es werden in der folgenden Tabelle diese Abkürzungen verwendet: (I) = Integer, (D)=Double Precision (der alleinig verwendete Gleitkommatyp), V=Voreinstellung.

Ist der letzte Wert einer Zeile ein (I)- oder (D)-Wert (es gibt zusätzlich noch Character- oder Text-Werte), kann nach einem Komma hinter diesem letzten Wert ein Kommentar stehen.

Alle Steuertypen sind optional. Fehlt der Steuertyp, werden Voreinstellungen (V) verwendet.

Noch eine Vorbemerkung: Häufig wird die Zahl -9 als Platzhalter für einen voreingestellten Wert verwendet.

<p>STYP -100 Normalfall: fehlt. Entwickler- Steuertyp.</p>	<p>Debug, nur für Entwicklung: Folgezeile DDEBUG (D), DEBUG(I), DEBUG2(I), DEBUG3(I). V:0.D0,0,0,0 DDEBUG: im Allgemeinen Wert von a, bei dem allein Debug durchgeführt wird. DEBUG: 1=Debug JA (abzuraten bei großer Anzahl von a), 0=Debug NEIN DEBUG2=1,2,3,4: Debug (auch bei DEBUG=0) nur für Zeit, Ereignishorizont, Lichtkegel, Partikelhorizont, und nur für den laufenden Skalenfaktor DDEBUG.  DEBUG3=-1: Verschiedene Steuerdatei-Eingaben werden auf der Konsole ausgegeben. DEBUG3=1: Debug Intervallgrenzen Integration. DEBUG3=2: Debug des Einlesens von STEUERW und ITERATIONENW DEBUG3=3: DEBUG des Überlesens von Zeilen in ITERATIONENW und REWINDS ITERATIONENW DEBUG3=4: Debug NULLST DEBUG3=5: DEBUG LKapex, bzw. FFF Variante 2 DEBUG3=6: DEBUG LINKSAPEX, insbesondere Grenzen GRENZENW DEBUG3=7: DEBUG AzuT</p>
<p>STYP -101 Normalfall: fehlt</p>	<p><u>Nur für den Spezialfall der Erzeugung einer Datei von T_NACH_A. Nur für zentrale Steuerdatei STEUERa.TXT (gemäß AUFGABE 1)</u> In der Folgezeile folgen 3 (I)-Werte. Der 2. und 3. Wert sind derzeit mit -9 zu besetzen. V: 1,-9,-9 Erster Wert gleich -1: Es erfolgt ein Probelauf ohne Erzeugung der Datei vom Typ T_NACH_A. Erster Wert gleich 1: Es werden in die Datei T_NACH_A.TXT_parametersatz.TXT alle abgerufenen a und die zugeordneten t je Zeile ausgegeben. Dies ist nur sinnvoll für die große a-Standarddatei STEUERWa.TXT (durchläuft alle a von <math>10^{-16}</math> bis <math>10^{31}</math>, also oben und unten eine Potenz mehr als sonst für Benutzerwerte zulässig). Eine Datei vom Typ T_NACH_A muss verfügbar sein, wenn „Eingabe t“ bei Eingabetyp -301 bei einem späteren Aufruf gefordert wird. Außerdem ist die Datei für AUFGABEN 2 und 3 erforderlich. Erzeugt wird z.B. die Datei T_NACH_A_PLANCK18.TXT, wenn der Parametersatz PLANCK18 verwendet wird, und zwar mit genau jenem <math>\Omega_R</math>, das auch sonst bei der Ausgabe verwendet wird. Wird später ein Lauf mit PLANCK18 durchgeführt, so wird auf die Datei T_NACH_A_PLANCK18.TXT zurückgegriffen. Ist diese nicht vorhanden wird T_NACH_A.TXT abgerufen. Besonders bei sehr kleinen und bei sehr großen Werten von a (und entsprechenden Werten von t und z) kann eine Fehlermeldung erfolgen, wenn die gelesene Datei nicht in allen Parametern mit den Laufparametern übereinstimmt. Im Zweifelsfall muss eine T_NACH_A-Datei mit identischen Parametern erstellt werden. Zu bemerken ist allerdings, dass solche Fehler vor allem bei der großen a-Steuerdatei auftreten. Für praktische Rechnungen wird man die sehr kleinen und sehr großen a-Werte kaum verwenden.</p>

	<p>Möchte man eine T_NACH_A-Datei für einen nicht voreingestellten Parametersatz erstellen, so kann man dem mittels Steuertyp -112 erzeugten Parametersatz in der zweiten Folgezeile einen Namen (ohne Leerzeichen) geben. Für diesen Namen wird dann eine T_NACH_A_name.TXT erstellt, die beim erneuten Aufruf mit gleichem -112-Steuertyp erkannt wird.</p> <p>Die beiden weiteren Parameter MINUSUNTEN und PLUSOBEN sollen vom Benutzer nicht geändert werden. Bedeutung des zweiten Parameters MINUSUNTEN (I) (V:-9, entspricht 1): Untere Grenze für Benutzereingaben in GRENZENW wird um MINUSUNTEN verringert. Bedeutung des dritten Parameters PLUSOBEN (I) (V:-9, entspricht 1): Obere Grenze für Benutzereingaben in GRENZENW wird um PLUSOBEN erhöht.</p>
STYP: -102 V=ZZ	<p>Dateiname Ausgabedatei (ohne Extension „.TXT“) und Steuerkennzeichen. In der Folgezeile steht der Dateiname (maximal 70 Zeichen inklusive allen im Weiteren erwähnten Ergänzungen) der Hauptausgabedatei, optional gefolgt von einem Semikolon und einem anschließenden Steuerkennzeichen. Ist der Dateiname bereits vorhanden, wird durch Anhängen von Buchstaben ein neuer Dateiname gebildet. Übliches Vorgehen ist, sich um die Dateinamen nicht mehr zu kümmern, nachdem man die Festlegung über den Typ -102 einmal getroffen hat. Bei allen Folgeaufrufen ist derselbe Dateiname aufgeführt, der vom Programm durch Anhängen von Buchstaben ergänzt wird. Zusätzlich werden bei allen 3 AUFGABEN zwei zusätzliche Ausgabedateien erstellt, bei der _DELTA_ &lt;Steuerkennzeichen&gt; bzw. _REZSSION_ &lt;Steuerkennzeichen&gt; an den Namen der Hauptausgabedatei angehängt wird. Wird mit STYP -107 eine Plotter-Datendatei erstellt und ist STYP -106 nicht vorhanden, so wird eine Plotter-Datendatei mit der Extension _PLOT ins Ausgabeverzeichnis geschrieben. Ist ein Steuerkennzeichen angegeben – Beispiel ZZ;1a28 oder nur ;1a28 -, so wird dieses in der ersten Zeile der Hauptausgabedatei erwähnt. Außerdem wird das Steuerkennzeichen dem Namen der _DELTA, der _REZSSION und, falls im Standardverzeichnis vorhanden, auch der _PLOT-Datei angehängt. Das Steuerkennzeichen ist ein bloßer Name und hat keine erweiterte Funktion. Man wird hier häufig die Zeichen hinter STEUERW im Namen der Steuerdatei (z.B. STEUERW1a28.TXT) wählen.</p>
STYP -103	<p>Die Text-Folgezeilen (max. 160 Zeichen) werden an den Anfang der ersten Ausgabedatei geschrieben, Zeilen, die mit *** beginnen, zusätzlich auch auf die Konsole. &amp;&amp;&amp; als erste 3 Zeichen einer Zeile beenden Ein- und Ausgabe.</p>
STYP -104 Normalfall: fehlt. Nicht ohne Not verwenden! Entwickler- Steuertyp.	<p>9 Parameter in Folgezeile: EPSREL (D), LINKSMULTIPLIKATOR (D), RECHTSMULTIPLIKATOR (D), MAXREP (I), AENDANZ(I), AUNTENMULT (D), AUNTENMIN (D), AOBENMULT (D), AOBENMAX (D) EPSREL: relative Genauigkeit bei der Berechnung von Integralen: V: -9, siehe auch ITERATIONENW ITYP=1060. LINKSMULTIPLIKATOR (V:-9), RECHTSMULTIPLIKATOR (V:-9), MAXREP: (V:-9), AENDANZ (V:-9): wie in Kap. 5.6 für ITERATIONENW ITYP=-1060/-1070 und ITERATIONENW ITYP=-1060/-1070 inline beschrieben.</p>

	<p>AUNTENMULT, AUNTENMIN, AOBENMULT, AOBENMAX, alle mit -9 vorbesetzt, entspricht 0.1,1.D-100,10,1.D100. Obere und untere Grenzen für NULLST-Iteration. Im Fehlerfall wird die untere Grenze mit AUNTENMULT, die obere mit AOBENMULT multipliziert.</p> <p>Kleinste sinnvolle Größe für EPSREL: 5.D-14. Beispiel LINKSMULTIPLIKATOR, RECHTSMULTIPLIKATOR: 0.1, 10. Bedeutung -9: wie in ITERATIONENW vorgegeben. Fehlt im Allgemeinen. Man kann jedoch die Genauigkeit für bestimmte Durchläufe ändern, ohne ITERATIONENW abzuändern. Ist aber in erster Linie für Entwickler bestimmt.</p>
STYP -105 V=1	<p>AUFGABE. In der Folgezeile steht ein (I)-Wert. AUFGABE 1: STANDARD</p> <p>a) Ausgabe der Standardtabellen (a, z, t, Look-Back, Hubble-Parameter, Hubble-Radius, Ereignishorizont, Lichtkegel, Partikelhorizont). b) In Datei mit Primärname _DELTA ( _DELTA wird an den Namen der primären Ausgabedatei angehängt) zusätzliche Deltareihen (Ereignishorizont minus Hubble-Radius, Lichtkegel minus Hubble-Radius, Partikelhorizont minus Ereignishorizont). Für die kosmische Zeit wird zusätzlich die konforme Zeit <math>\eta</math> aufgeführt. Zusätzlich noch <math>a'(t)</math>, <math>a''(t)</math> und Abbremsparameter <math>q</math>. c1) In Datei mit Primärname _REZESSION werden die Rezessionsgeschwindigkeiten (in Vielfachen der Lichtgeschwindigkeit <math>c</math>, wenn nicht durch STYP -221 abgeändert) von Galaxien auf den Weltlinien der Standardtabellen von Punkt a) ausgegeben. Im Falle der Ausgabe von mitbewegten Koordinaten werden die heutigen Fluchtgeschwindigkeiten der entsprechenden Galaxien kenntlich gemacht. c2) Ist der Wert in der Folgezeile von Steuertyp -211 gleich 101, so werden in der Datei _REZESSION nicht die Rezessionsgeschwindigkeiten von Galaxien auf der Hubblesphäre, dem Lichtkegel und auf Horizonten ausgedruckt. Vielmehr werden die Rezessionsgeschwindigkeiten der Hubblesphäre, des Lichtkegels und der Horizonte (in physikalischen Koordinaten) selbst ausgegeben.</p> <p>Was genau ausgegeben wird, wird mittels Steuertyp -301 festgelegt. Steuertyp -201 legt fest, wie die mittels -301 eingegebenen Werte zu interpretieren sind. Steuertyp -211 entscheidet darüber, ob mitbewegte oder physikalische Koordinaten ausgegeben werden.</p> <p>Bei den AUFGABEN 2 und 3 werden die oben erwähnten Tabellen zusätzlich in kleinen Paketen ausgedruckt. Nur die Tabellen von c2) werden ausschließlich bei AUFGABE 1 verwendet.</p> <p>AUFGABE 111: Wie AUFGABE 1. Weiter gilt: Wird mittels STYP -224 eine Galaxie definiert, so wird die Information über die Schnittpunkte der Galaxie mit der Oberfläche der Hubblesphäre zusätzlich ausgegeben. ++++++</p>

	<p>AUFGABE 2: Ausgabe verschiedener kosmologischer Parameter: Schnittpunkt Partikelhorizont-Ereignishorizont, Schnittpunkt Lichtkegel-Partikelhorizont, Schnittpunkt Lichtkegel- Hubblesphäre, Übergang von verlangsamer zu beschleunigter Expansion. Wendepunkt der mitbewegten Hubblesphäre. Exakte Äquivalenzschnittpunkte zwischen Dichteparametern.</p> <p>In der 2. Folgezeile werden 2 Werte erwartet:  AUFGABE2EINGABETYP(I), Scheitelpunkt Lichtkegel (D)</p> <p>Bedeutung:  AUFGABE2EINGABETYP=1: Scheitelpunkt in <math>a</math> (<math>1</math>=Skalenfaktor HEUTE)  AUFGABE2EINGABETYP=3: Scheitelpunkt in <math>t</math> (Mrd. Jahre, <math>-14</math>=HEUTE)  AUFGABE2EINGABETYP=33: Scheitelpunkt in <math>t</math> (Vielfaches des Werts von HEUTE)</p> <p>Eine <math>-7</math> (siehe STYP <math>-120</math>) bzw. eine <math>-21</math>, <math>-22</math>, <math>-23</math> (siehe STYP <math>-121</math>, <math>-122</math>, <math>-123</math>) für den Abruf des externen Scheitels sind zulässig.</p> <p>Nur die Schnittpunkte zwischen Lichtkegel und Hubblesphäre bzw. Partikelhorizont (sowie zusätzlich die durch <math>z</math> markierte Weltlinie in der 2. Zeile zum Schnittpunkt zwischen Ereignishorizont und Partikelhorizont) sind vom Scheitelpunkt des Lichtkegels abhängig. Bei den anderen beiden Parametern ändern sich lediglich die vom Scheitelpunkt abhängigen <math>z</math>-Werte.</p> <p>Unter den aktiven Steuertypen werden nur <math>-111/-112</math>, <math>-120</math>, <math>-121</math>, <math>-122</math>, <math>-123</math> und (teilweise) <math>-221</math> ausgewertet.</p> <p>Es gibt noch einige Varianten von Aufgabe 2. Anstelle von 2 kann man auch 201, 202 203 eingeben. Im Allgemeinen funktioniert Aufgabe 2 reibungslos. Treten die am Ende von Kap. 3.7 dargelegten Komplikationen auf, ist <math>z</math> der zweiten Zeile des Pakets für den Schnittpunkt Partikelhorizont-Ereignishorizont numerisch nicht mehr berechenbar. Für diesen Fall sind die folgenden Varianten vorbereitet. (Wird der <math>a</math>- oder <math>t</math>-Wert des Lichtkegel-Scheitels kleiner als der entsprechende Wert des Schnittpunkts, so wird Aufgabe 2 automatisch in Aufgabe 201 umgewandelt.)</p> <p>201: Nur die erwähnte 2. Zeile wird weder berechnet noch ausgegeben.  202: Der Schnittpunkt Partikelhorizont-Ereignishorizont wird insgesamt nicht ausgegeben.  203: Zusätzlich wird auch der Schnittpunkt zwischen Lichtkegel und Partikelhorizont nicht ausgegeben.</p> <p>Meistens ist man nur am Schnittpunkt zwischen Lichtkegel und Hubblesphäre (größter Abstand des Lichtkegels vom Beobachter) interessiert, und dessen Ausgabe ist gewährleistet.</p> <p>Der Schnittpunkt zwischen Partikelhorizont und Ereignishorizont ist unabhängig von Lichtkegel-Scheitel. Man kann sich den Schnittpunkt auch über den Scheitel HEUTE besorgen. Nur zugehörige <math>z</math>-Werte sind scheitelabhängig.</p> <p>Anstelle von 2 kann auch 210, 211, 212, 213 stehen. 210 ist gleich wie 2, allerdings wird beim Schnittpunkt Ereignishorizont und Partikelhorizont sowie zwischen Lichtkegel und Partikelhorizont nicht der Schnittpunkt mit dem Partikelhorizont <math>PH(0)=PH(\text{Urknall})</math> berechnet, sondern der Schnittpunkt mit dem Partikelhorizont <math>PH(u)</math>, wobei <math>u</math> durch die Wandelvariable <math>-22</math> (Eingabe via STYP <math>-122</math>)</p>
--	--

	<p>festgelegt wird. Die vom Programm ausgegebenen Texte sind zu beachten!!! 211, 212, 213 funktionieren wie 201, 202, 203, jedoch wird auch hier der Schnittpunkt mit PH(u) berechnet. In W. Lange [1], [11] und [12] wird PH(u) mit PH(t<sub>min</sub>) bzw. PH(a<sub>min</sub>) bezeichnet. +++++</p> <p>AUFGABE 3 befasst sich mit den Weltlinien von Galaxien (als Beispiel massebehafteter, als ruhend angenommener Objekte) und deren Schnittpunkten mit Lichtkegeln und Ereignishorizont. Berechnungen erfolgen in 2 Schritten. Der Ort der Galaxie wird intern durch den physikalischen Abstand vom Beobachter bei a oder t bei diesem Wert bzw. durch einen mitbewegten Abstand vom Beobachter identifiziert. Die Parameter werden durch die Steuertypen -224 und -227 eingegeben, wo Genaueres erläutert ist. Information über die Schnittpunkte der Galaxie mit der Oberfläche der Hubblesphäre wird zusätzlich ausgegeben. Enthält die Steuerdatei keinen STYP -227, so wird nur diese Zusatzinformation ausgedruckt.</p>
STYP -106 Normalfall: fehlt	<p>Ist STYP -106 nicht besetzt, wird aber via STYP -107 geplottet, so erscheint das Ergebnis im Ausgabeverzeichnis (siehe STYP -102). <u>Der Character-String in der Folgezeile des Steuertyps überschreibt den Standardnamen für die Plotter-Datendatei.</u> Ist der String gleich &amp;&amp;&amp;, ist das Steuerkennzeichen der Name der Plotter-Datendatei. Die Plotter-Datendatei wird bei vorhandenem STYP -106 im Normalfall in das durch ITYP -1010 (Datei ITERATIONENW) bezeichnete Verzeichnis geschrieben. Voreingestellt ist \WZEICHNUNGEN auf den Installationslaufwerk (siehe Kap. 8). Enthält der Dateiname (in der Folgezeile von STYP -106) keine Extension, wird .TXT angehängt. Ist ein Verzeichnisname enthalten, so überschreibt dieser den Verzeichnisnamen von I-Steuertyp -1010 (in ITERATIONENW).</p> <p>Ist kein Steuerkennzeichen vorhanden und ist der Character-String gleich &amp;&amp;&amp; oder besteht der String aus 3 Minuszeichen, ist das Verhalten so, als wäre STYP -106 nicht vorhanden.</p>
STYP -107 Normalfall: fehlt, d.h. kein Plotten	<p>Zusätzliche Ausgabe in eine Plotter-Datendatei. Diese mag auch für andere Zwecke als zur Vorbereitung von Plotter-Zeichnungen verwendet werden.</p> <p><b>1. Folgezeile:</b> 3 (I)-Werte. ANZPLOT, PKOPFTYP, PZEILANZ  ANZPLOT(I): Anzahl auszugebender Variablen (pro a, t, z) (I). 0 = keine Plotter-Datendatei (wie STYP -107 fehlt)  PKOPFTYP(I): Kopfzeilen: 0 (Normalfall): keine Kopfzeilen; 1: Parametersatzkopfzeile; 2: Variablenkennzeichnungskopfzeile; 3: beide Kopfzeilen; 4: zusätzliche Ausgabe von Variablenerläuterungen (schließt die Leistungen negativer Werte ein); 5: Wie 4, zusätzliche Detailausgaben zur Kopfzeileninformation. Ein negativer Wert (z.B. -3) von PKOPFTYP hat die gleiche Wirkung wie dessen Absolutwert, allerdings werden bei den Werten -1, -2 und -3 zusätzlich unverzichtbare (derzeit nur u von Variable 18) Erläuterungen zusätzlich ausgegeben. Sollen Plotter-Datendateien von GNUPLOT eingelesen werden, kann man (sofern man die Voreinstellungen der <b>3. Folgezeile</b> verwendet) unbesorgt PKOPFTYP=4 ode 5 setzen, da mit einem „#“ (Numeralsymbol) beginnende Zeilen sämtlich überlesen werden. Das gleiche gilt, wenn die Plotter-Datendatei nicht für ein Zeichenprogramm, sondern allein zur Variablenausgabe für das Auge des Benutzers verwendet werden soll. Andere Applikationen erfordern eventuell andere Maßnahmen.  PZEILANZ(I): Anzahl Eingabezeilen hinter 2. Folgezeile. Normalfall: 0</p>

<p>Ist ANZPLOT=0, werden die restlichen Werte und Zeilen ausgewertet. Zweck ist, dass man Durchläufe mit und ohne Plotter-Ausgabe durchführen kann, ohne die Steuerdatei ständig vollständig zu ändern.</p> <p><b>2. Folgezeile:</b> In Tabellenform auszugebende Variablen, in der auszugebenden Reihenfolge von links nach rechts (bei Aufgabe 3 sind nur 1, 3 und 14 bzw. deren negative Werte erlaubt, erster Wert muss 1 oder 3 sein).</p> <p>Folgende Variablennummern wurden vergeben:</p> <p>1: a      2: z      3: t      4: Look-Back-Zeit      5: Hubble-Parameter      6: Hubble-Radius      7: Ereignishorizont  8: Lichtkegel      9: Partikelhorizont      10: Konforme Zeit <math>\eta</math>      11: <math>a'(t)</math>      12: <math>a''(t)</math>      13: q      14: Galaxie  15: LK-ap (siehe Kap. 3.10)      16: ap (=a / <math>a_s</math>)      17: Leuchtkraftdistanz (Flux) (<math>LeuKD(a)=a_s^2 * D_{LK}(a_s, a) / a</math>) (<math>D_{LK}</math> s. Kap. 3.9) <b>**</b>)  18: PHu-a: Partikelhorizont u bis a, u=Wandelvariable -22 (siehe STYP -122): Mitbew.: <math>D_{PH}(a)-D_{PH}(u)</math>, Phys.: <math>a * (D_{PH}(a)-D_{PH}(u))</math>  19: <math>\rho_R</math>-Strahlungsdichte (inkl. Neutrinos)      20: <math>\rho_M</math>-Materiedichte      21: <math>\rho_{Ld}</math>-Dichte Dunkle Energie (konstant)  22: <math>\rho_{CR}</math>-Kritische Dichte, 19-22 in <math>kg/m^3</math>, siehe aber STYP -221, Pos. 5  23: VolLK: Volumen Kugel über Distanz Lichtkegel      24: VolPH: Volumen Beobachtb. Univ. <math>V:(Mrd Lj)^3</math>, siehe STYP -221, Pos. 10  25: t in sec      26: Ableitung in c Hubble-Radius physikalisch nach t <b>*</b>)      27: Ableitung in c Hubble-Radius mitbewegt nach t <b>*</b>)  28: Ableitung des Hubble-Parameters nach t      29: Rezessionsgeschwindigkeiten (c oder km/s) Hubbleradius  30: Rezessionsgeschwindigkeiten (c oder km/s) Ereignishorizont      31: Rezessionsgeschwindigkeit (c oder km/s) Lichtkegel  32: Rezessionsgeschwindigkeiten (c oder km/s) Partikelhorizont      33: Hubble-Parameter für Rezessionsgeschwindigkeiten 29-32  34: 2. Ableitung Hubble-Radius mitbewegt nach <math>t^2</math> <b>*</b>)      35: Wurzel(t/HEUTE)/a (zur Beobachtung bei a, t nahe NULL)</p> <p>Die Variablen mit den Nummern 29-32 sind noch abhängig von den Parametern 0 (Galaxie mitbewegt), 1 (Galaxie physikalisch) und 101 (Rezessionsgeschwindigkeiten von Hubblesphäre und Horizonten) des Steuertyps -211. Dabei umschreibt „Galaxie mitbewegt“ die Rezessionsgeschwindigkeit HEUTE einer Galaxie, die sich zum Zeitpunkt t auf einem der Horizonte bzw. auf der Hubblesphäre oder dem Lichtkegel befand. Die Rezessionsgeschwindigkeiten können als Vielfache von c (1. Position von STYP -221 gleich 1 oder -9) oder in km/s (1. Position von STYP -221 gleich 2) ausgegeben werden.</p> <p>Variable 33 ist gleich der Variablen 5, nur im Fall von der Ausgabe mitbewegter Koordinaten (STYP 211=0) wird konstant der Hubble-Parameter von HEUTE aufgeführt. Wie oben beschrieben, sind Variable 29/mitbewegt (Rezession Galaxie auf Hubbleradius HEUTE) und Variable 27 (Rezession des mitbewegten Hubbleradius) nicht identisch, sie weisen im Gegenteil überhaupt keine gemeinsamen Eigenschaften (Rezession Galaxie versus Rezession Hubbleradius) auf..</p> <p>Zusätzliche Variablennummern zur Kontrolle (Alternativrechnungen), werden eventuell später (zumindest teilweise) abgeschafft:</p> <p>36: Laufzeitentfernung minus Lichtkegelentfernung, also Variable 4 minus Variable 8. Siehe noch STYP -221, Position 7.  37: Kosmologische Konstante <math>\Lambda</math> in <math>1/m^2</math>  38: vorläufig: Ableitung Hubble-Radius mitbewegt nach t <b>*</b>) (Alternativrechnung, siehe Variable 27)  39: Variable 22 minus (Summe Variablen 19 bis 21) (Testgröße, sollte NULL sein)</p>
--

<p>40: <math>\text{Log}_{10}(t)</math> – siehe auch Variable 3    41: <math>\text{Log}_{10}(\text{Rezessionsgeschwindigkeit in } c \text{ oder km/s Lichtkegel})</math> – siehe auch Variable 31  42: <math>\text{Log}_{10}(\text{Hubble-Parameter})</math> – siehe auch Variable 5    43: <math>\text{Log}_{10}(\text{Skalenfaktor } a)</math> – siehe auch Variable 1  44: Ereignishorizont geteilt durch Hubble-Radius</p> <p>45: <math>\rho_b = \text{Dichte baryonischer Materie}</math>    46: <math>\rho_c = \text{Dichte dunkler Materie}</math>    <math>\rho_b + \rho_c = \rho_M</math>  47: <math>\rho_\gamma = \text{Photonendichte}</math>    48: <math>\rho_{ny} = \text{Neutrino-Dichte}</math>    <math>\rho_\gamma + \rho_{ny} = \rho_R</math>  49: Variable 22 minus (Summe Variablen 45-48) minus Variable 21 (Testgröße, sollte NULL sein)  50 Ableitung in <math>c</math> des mitbewegten Partikelhorizonts, = <math>1/\text{Skalenfaktor}</math>. Siehe auch Kommentar zu Steigungen bei Variable 52. *)  51 Ableitung in <math>c</math> des physikalischen Lichtkegels, identisch mit Variable 31, wenn STYP -211=101 und Rezession in <math>c</math> *)  52 Ableitung in <math>c</math> des mitbewegten Lichtkegels, = minus <math>1/\text{Skalenfaktor}</math> (scheitelunabhängig). Gilt auch für den mitbewegten Ereignishorizont *)  53 Ableitung in <math>c</math> des physikalischen Ereignishorizonts, identisch mit Variable 30, wenn STYP -211=101 und Rezession in <math>c</math> *)  54 Ableitung in <math>c</math> des physikalischen Partikelhorizonts, identisch mit Variable 32, wenn STYP -211=101 und Rezession in <math>c</math> *)  55 Hubble-Radius + (Variable -19) * (Ereignishorizont-Hubleradius), in Mrd. Lichtjahren  56 Ereignishorizont minus Lichtkegel  57 Lichtkegel mitbewegt, damit Lichtkegel physikalisch und mitbewegt in einer Plotter-Datendatei gemeinsam ausgegeben werden können.</p> <p>Es ist zu beachten, dass Steigungen in Zeichnungen mit senkrechter t-Achse und waagerechter Abstandsachse in Zeichnungen mit umgekehrten Achsen (Spiegelung über die Diagonale, falls (0,0) links unten) abgelesen werden müssen. Siehe auch Bemerkungen am Anfang von Kap. 3.2. *)</p> <p><math>\rho_b</math> und <math>\rho_c</math> heute müssen durch STYP -114 gesetzt sein. <math>\rho_\gamma</math> und <math>\rho_{ny}</math> erfordern, dass <math>\rho_R</math> automatisch berechnet wurde – d.h. <math>sd</math> in STYP 111 bzw. 112 muss -9 sein.  Logarithmen nichtpositiver Zahlen werden nicht abgefangen, sind aber über die Formatierung der Ausgabe des FORTRAN-Compilers leicht identifizierbar.  Zu den Rezessionsgeschwindigkeiten betreffenden Variablen 26,29-32,(33),51,27,50,52 siehe Kap. 3.11.  *) = physikalisch bzw. mitbewegt <u>unabhängig</u> vom Koordinatentyp der Modellrechnung.  **) Die Leuchtkraftdistanz ist stets physikalisch zu verstehen, negative Werte (für Objekte in der Zukunft) können ignoriert werden.  Zusätzlich können alle Variablennummern noch mit einem Minuszeichen (z.B. -18) versehen werden. In diesem Fall wird der jeweils negative Wert (Zweck: symmetrische Zeichnungen nach Vorbild [2] oder [10]) ausgegeben.  <b>3. Folgezeile:</b> enthält 4 Zeichen, den Trenner, das allgemeine Kommentarzeichen, das Kommentarzeichen für die Variablennamenkopfzeile und das Leerzeilenzeichen. Das Leerzeilenzeichen leitet Leerzeilen ein, die für das Auge des lesenden Benutzers (und nicht für eine</p>
---

	<p>Applikation) bestimmt sind. Sonderfälle: Ist das Leerzeilenzeichen ein X, so beginnt die Leerzeile mit einem Leerzeichen. Ist das Leerzeilenzeichen ein Z, so wird die Leerzeile nicht ausgegeben. Wenn die 3. Folgezeile fehlt, ist ‚#&lt;Leerzeichen&gt;X (Komma, Numeralsymbol, Leerzeichen, X) voreingestellt. (Eine Leerzeile besteht immer aus 2 Zeichen, das zweite ist ein Leerzeichen.)</p> <p><b>4. Folgezeile:</b> Format zur Variablen-Ausgabe nach FORTRAN-KONVENTION</p> <p><b>5. Folgezeile:</b> Format zur Kopfzeilenausgabe (Variablenamen) nach FORTRAN-KONVENTION</p> <p>Am Anfang jeder nichtsubstantziellen Zeile (keine Variablenausgabe, keine Variablennamenausgabe) wird im Format A1 als erstes Zeichen das Kommentarzeichen ausgegeben. In der Variablennamenkopfzeile ist das erste Zeichen, auch im Format A1, das Kommentarzeichen für die Variablennamenkopfzeile. In den Zeilen für die Ausgabe der Variablenwerte ist das erste Zeichen ein Leerzeichen, für das ebenfalls im Format ein A1 vorgesehen sein muss.</p> <p>Mit Hilfe der 4. oder 5. Folgezeile kann in Einzelfällen auch eine höhere Genauigkeit als bei den Standard-Ausgaben erreicht werden. Das kann z.B. nützlich sein, wenn bestimmte Ausgabewerte später in einer Steuerdatei STEUERW wieder eingegeben werden sollen (z.B. Lichtkegel LK(CMB)).</p> <p>Die Voreinstellungen für die 4. und 5. Zeile sehen folgendermaßen aus:</p> <p>(A1,D18.8,30(A1,D18.8))  (A1,12X,A6,30(A1,12X,A6))</p> <p>A6 ist für den Variablenamen vorgesehen. In beiden Formaten sind die dem ersten A1 (Kommentarzeichen) folgenden A1 für den Trenner reserviert. Im Allgemeinen folgt jedem Variablenwert und jedem Variablenamen (außer dem jeweils letzten) ein (meistens ein Komma als) Trenner.</p> <p>Es werden nur doppeltgenaue Variablen ausgegeben. D18.8 (oder E18.8) heißt Ausgabe mit Exponent, 18 Zeichen für die Ausgabe der Variablen mit 8 Nachkommastellen. Dabei müssen 4 Stellen für den Exponenten vorgesehen werden und ein Zeichen für das Komma (in Wirklichkeit ein Punkt) zwischen Vor- und Nachkommastellen. F18.8 würde für eine Ausgabe ohne Exponent stehen. G18.8 gibt wie F18.8 aus, wenn kein Exponent nötig ist, mit Exponent, wenn erforderlich.</p> <p>E18.8 und D18.8 geben Zahlen immer in der Form mit einer Vorkommastelle NULL aus. Man kann die Ausgabe in der Form nPD18.8 um n Vorkommastellen verschieben, z.B. wird bei 1PD18.8 mit einer von NULL verschiedenen Vorkommastelle ausgegeben. Das nP kann auch vor G stehen und wirkt sich dort nur dann aus, wenn über G ein Wert mit Exponent ausgegeben wird.</p> <p>12X steht für 12 Leerzeichen. Ändert man die Anzahl der Stellen von Variablen, z.B. D20.10, so muss die Anzahl der Leerzeichen im zweiten Format angepasst werden, im D20.10-Beispiel also 14X. Vergrößert man die Stellenzahl, so muss man vorsorgen, die maximale Zeichenzahl pro Zeile (bei Notepad 167 Zeichen, wenn keine Steuerzeichen enthalten sind, siehe Kap. 5.12) nicht zu überschreiten.</p> <p>Die 30 vor der Klammer besagt, dass das geklammerte Format dahinter 30-mal ausgegeben wird (solange Werte ausgegeben werden), Die etwas komplizierte Format-Struktur wurde aus dem alleinigen Grund gewählt, damit dem letzten Ausgabewert kein Trenner folgt.</p>
--	---

STYP -111 V=Planck18 mit sd=-9	<p>Es folgt nach dem Vorbild von [9] einer der kosmologischen Sätze von Konstanten. Jede Zeile besteht aus einem (I)-Wert, gefolgt von einem (D)-Wert sd.</p> <p>13 (Planck 13), sd      Die Planck-Parametersätze wurden dem Abstract der jeweiligen Veröffentlichung entnommen.  15 (Planck 15), sd  18 (Planck 18), sd  737 (737), sd  1 (WMAP1), sd      (Table 10, Section 4.1)      Wie bei den Planck-Veröffentlichungen liefert WMAP Parameter für  3 (WMAP3), sd      (3 Years+ALL Mean-Table 2)      eine Reihe unterschiedlicher Modellrechnungen, aus denen wir nach  5 (WMAP5), sd      (Abstract)      bestem Wissen eine Auswahl getroffen haben.  7 (WMAP7), sd      (WMAP+BAO+H0 Mean-Table 1)  9 (WMAP9), sd      (WMAP+eCMB+BAO+H0-Table 4)  33 (GiggleZ), sd  44 (Millennium), sd</p> <p>sd ist die Strahlungsdichte <math>\Omega_R</math>, die Null oder einen positiven Wert annehmen kann. sd=-9 bedeutet, dass die Strahlungsdichte über das Stefan-Boltzmann-Gesetz und die Formel für die Neutrinodichte berechnet wird. <math>\Omega_\Lambda</math> ist 1-Materiedichte-Strahlungsdichte.</p>
STYP -112	<p>Es folgt in der Folgezeile ein Satz kosmologischer Konstanten, bestehend aus 3 (D)-Werten: Strahlungsdichte sd (-9 ist zulässig), Materiedichte <math>\Omega_M</math>, Hubble-Parameter <math>H_0</math>. Für sd und <math>\Omega_\Lambda</math> gelten die Bemerkungen für Steuer-Typ -111. Danach folgt eine Textzeile, die (ohne Leerzeichen) den Parametersatz charakterisiert (Bedeutung wie z.B. Planck18 oder WMAP9). Der Text wird bei Steuertyp -101 ausgewertet, falls eine zugehörige T_NACH_A-Datei erstellt werden soll - siehe z.B. Steuerdatei a-EVO, Soll diese Charakterisierung nicht erfolgen, soll diese Zeile genau ein Minuszeichen enthalten.</p>
	<p>Es kann nur eine der beiden Steuerzeilen -111 oder -112 vorhanden sein. Fehlen beide, wird Planck18 mit sd=-9 verwendet. Für die voreingestellten Parametersätze sind zum Teil Temperatur CMB (siehe auch STYP -113) und Rotverschiebung CMB (siehe auch STYP -122) vorgegeben. Möchte man andere Werte verwenden oder für Parametersätze ohne Voreinstellungen (insbesondere STYP -112) diese Werte setzen, so kann dies über STYP -113 erfolgen. Die Temperatur CMB geht in die Berechnungen ein, die Rotverschiebung CMB (ZCMB) nicht. Aber man muss für verschiedene Fragestellungen schon wissen, unter welcher Rotverschiebung der CMB sichtbar ist.</p>
STYP -113	<p>Überschreiben von Konstanten, Es folgen Folgezeilen aus 2 Werten, bestehend aus Variablennummer (I) und Variablenwert (D).  Variablennummer, Variablenwert  1090, z*=z(HEUTE) für CMB / 272, Temperatur CMB heute / 667, Gravitationskonstante G / 663, Planck Konstante h / 138, Boltzmann-Konstante kB. Die letzte Zeile bildet das Zahlenpaar -9, Protokollparameter PP. PP=0 kein Protokoll der Variablen, PP=1: Protokoll von z* und Temperatur CMB heute; PP=2: PP=1 plus Protokoll geänderter Variablen, PP=3: Protokoll aller Variablen.</p>

	<p>Es ist möglich, dass der SYTP-Zeile nur die Zeile mit der Variablennummer -9,PP folgt. Ist STYP -113 nicht vorhanden, ist Protokollnummer 1 voreingestellt. Für Planck-Parametersätze und alle Parametersätze ohne Temperaturvoreinstellung ist <b>2.7255</b> K als heutige CMB-Temperatur voreingestellt. Für alle Parametersätze von WMAP ist <b>2.725</b> vorgegeben (Temperatur so angegeben in WMAP5-WMAP9, wird für WMAP1 und WMAP3 ebenfalls verwendet.) Für die Voreinstellung <math>z^*</math> siehe STYP -122. Von einer Änderung der zuletzt genannten 3 Variablen (667, 663, 138) wird abgeraten. Die <i>Temperatur CMB heute</i> wird für die Berechnung von <math>\Omega_R</math> (ggfs. auch für <math>\Omega_\gamma</math> und <math>\Omega_\nu</math>) benötigt. Über <math>z^*</math> kann der CMB-Zeitpunkt (siehe STYP -122) ermittelt werden.</p>
STYP -114	<p>Verwaltung zusätzlicher anteilmäßiger Dichten HEUTE. <math>\Omega_b</math> und <math>\Omega_c</math> können eingegeben werden. <math>\Omega_\gamma</math> (Photonendichte) und <math>\Omega_\nu</math> (Neutrindichte) werden immer berechnet, wenn <i>sd</i> in STYP -111 bzw. -112 auf -9 gesetzt ist. Der Steuertyp-Zeile folgt die optionale Eingabe von <math>\Omega_b</math> (Anteil baryonischer Materie heute) und <math>\Omega_c</math> (Anteil Dunkler Materie heute). Die eingegebenen Werte werden noch durch einen Multiplikator so abgeändert, dass <math>\Omega_b + \Omega_c = \Omega_M</math>. Es gibt 2 Varianten für die Folgezeile: 1, <math>\Omega_b</math>, <math>\Omega_c</math>, PP 2, <math>\Omega_b h^2</math>, <math>\Omega_c h^2</math>, PP, wobei <math>h</math> das „Little <math>h</math>“ darstellt, mit <math>h</math>=Hubble-Parameter <math>H_0/100</math>. In Parametersatz-Beschreibungen wie Planck18 werden <math>\Omega_b</math> und <math>\Omega_c</math> eventuell nur über diesen Umweg vermittelt, und nicht zu dem Zweck, den wir hier ausüben. Der 4. Parameter (PP) beider Varianten ist der Protokollparameter. PP=0: Keine Ausgabe, PP=1: Ausgabe <math>\Omega_b</math> und <math>\Omega_c</math>.; PP=2: Ausgabe <math>\Omega_\gamma</math> und <math>\Omega_\nu</math>; PP=3: Ausgabe aller zusätzlichen Dichten – soweit vorhanden. <math>\Omega_b</math> und <math>\Omega_c</math> werden für Modellrechnungen üblicherweise nicht benötigt und dienen ausschließlich zur Ausgabe der Variablen 45 und 46 in die Plotter-Datendatei (siehe STYP=-107). <math>\Omega_\gamma</math> und <math>\Omega_\nu</math> sind nur für die Ausgabe der Variablen 47 und 48 erforderlich. Durch 1,-9,-9,2 kann erreicht werden, dass <math>\Omega_\gamma</math> und <math>\Omega_\nu</math> ohne Bereitstellung von <math>\Omega_b</math> und <math>\Omega_c</math> ausgegeben werden, Zur Nomenklatur: Dichteparameter werden mit dem Buchstaben rho (<math>\rho</math>) bezeichnet, die <i>anteilmäßige Dichte HEUTE</i> mit OMEGA (<math>\Omega</math>). Beispiel: <math>\Omega_M = \rho_M / \rho_{crit}</math> HEUTE. (<math>\Omega_M</math> ist der heutige Anteil der Materiedichte an der kritischen Dichte.)</p>
STYP -118 Wird üblicherweise nicht genutzt!	<p>Die 5 Deltaschranken von ITERATIONENW ITYP -1018 können überschrieben werden (siehe Kap. 5.6). Es müssen in der Folgezeile 5 Gleitkommawerte eingegeben werden, z.B. 5.D-14,5.D-15,1.D-15,1,1 – das ist ein Beispiel, kein Ratschlag. Voreinstellung, falls ITYP -1018 nicht gesetzt: 5 mal 5.D-15. Ratschlag: Voreinstellungen nicht ändern! Möchte man eine Schranke außer Kraft setzen, kann man eine -1 für diese Schranke eingeben.</p>
STYP -119	Variable -19 (Bisweilen als V19 bezeichnet) in Folgezeile. Ein einfacher Gleitkommawert. V: 0 (NULL)
STYP -120	Externer Scheitelpunkt - auch als Wandelvariable -7 verwendbar.

V: HEUTE	<p>In der Folgezeile wird ein Scheitelpunkt (oder der Wert der Wandelvariablen) erwartet, entweder</p> <p>1, a für einen Scheitelpunkt in a (a=1 für HEUTE) oder</p> <p>2, z* für einen Scheitelpunkt in z*, z*(HEUTE)=0 (z*=0 für HEUTE) oder</p> <p>3, t für einen Scheitelpunkt in t (-14 für HEUTE) oder</p> <p>33, v für ein Vielfaches v des Zeitpunkts von HEUTE.</p> <p>Durch diese Definition allein geschieht noch nichts. Der Scheitelpunkt/die Wandelvariable kann jedoch von anderen Steuertypen (insbesondere -301) abgerufen werden, im Allgemeinen durch eine -7.</p> <p><u>Sofern kein externer Scheitelpunkt (a, z* oder t auf Scheitelposition) benötigt wird</u>, wirkt der externe Scheitelpunkt genau wie eine der Wandelvariablen -21, -22 oder -23. Nur auf einer Scheitelposition kann neben der -7 auch der Abruf durch eine -6 erfolgen (siehe STYP -201).</p>
STYP -121 V: Nicht vorhanden	<p>AUFGABE 1, AUFGABE 2 (Scheitelpunkt), AUFGABE 3 (nur wo gemäß STYP -224 zulässig): <u>Wandelvariable -21</u>. Bisweilen kommt es vor, dass man Eingaben für einen bestimmten Eingabetyp a, z* oder t tätigen möchte, dass man über einen bestimmten Wert jedoch nur in einem anderen Eingabetyp verfügt. Hier bietet die Wandelvariable Abhilfe. Ein in a, t oder z* definierter Wert kann in allen 3 Varianten (a, t, z*, auch vom definierenden Eingabetyp verschieden) durch eine -21 von via STYP -301 und an einigen in dieser Beschreibung explizit erwähnten Stellen abgerufen werden.</p> <p>In der Folgezeile de Steuerzeile wird ein Eingabewert erwartet, entweder</p> <p>1, a für einen Eingabewert in a (a=1 für HEUTE) oder</p> <p>2, z* für einen Eingabewert t in z*, z*(HEUTE)=0 oder</p> <p>3, t für einen Eingabewert in t (-14 für HEUTE) oder</p> <p>33, v für ein Vielfaches v des Zeitpunkts von HEUTE.</p> <p>Durch diese Zuweisung allein geschieht noch nichts. Erst bei einem Abruf durch eine -21 wird die Wandelvariable wirksam.</p>
STYP -122 V: 2,ZCMB	<p>NUR AUFGABE 1 und AUFGABE 2: <u>Wandelvariable -22</u>. Eingabe wie STYP -121. Ist u.a. untere Grenze u für Partikelhorizont von u bis a (PHu-a, Variable 18, siehe STYP -107). Ist immer vorhanden, Eingabe auf 2,ZCMB voreingestellt: ZCMB=1090 (das ist der Planck-Wert), sofern für Parametersatz nicht anderer CMB-Wert (Rotverschiebung) veröffentlicht ist. WMAP1: 1089, WMAP3: 1100, WMAP5: 1090.51 (Table 3). WMAP7: 1090, WMAP9: z* auf 1090.88 gesetzt gemäß Table 11, des Öfteren ist nur z≈1090 erwähnt. Wird vor allem bei AUFGABE 1 Variable 18 (STYP -107) verwendet, kann jedoch auch bei der Eingabe von Werten zu STYP -301 benutzt werden. Wandelvariable -22 wird auch bei AUFGABE 2 (siehe STYP -105) für Ersatzaufgabennummern &gt;210 verwendet.</p>
STYP -123 V: Nicht vorhanden	<p>Im Prinzip wie STYP -121, definiert wird die Wandelvariable -23. Allerdings wird bei der Eingabe ein dritter Wert VAR23VARIANTE erwartet, z.B. „1, a, 1“. Ist VAR23VARIANTE gleich 1, so wird im Platzhalter -24 zusätzlich der mitbewegte Abstand zum Ereignishorizont beim Wert der Wandelvariablen -23 abgelegt. Ist VAR23VARIANTE gleich 2, so wird im Platzhalter -24 zusätzlich der physikalische Abstand „Hubblesphäre plus V19 * (Ereignishorizont minus Hubblesphäre)“ abgelegt. Zu V19 siehe STYP -219. Ist der dritte Wert gleich 0, erfolgt allein die Zuweisung auf Wandelvariable -23. Platzhalter -24 kann von STYP -224 abgerufen werden (Ist der</p>

	eingeebene Wert für Wandelvariable 23 vom Typ $z^*$ , so wird bezüglich des ermittelten Abstandes auf das $a$ oder $t$ auf dem Lichtkegel verwiesen, auf das $z^*$ im Scheitel $a_s=1$ des Lichtkegels hinweist.)
	Die erzeugten Wandelvariablen -21, -22 und -23 können durch die Steuertypen -120 bis -123 nicht im nichterzeugenden Steuertyp aufgerufen werden. Im Fall des Aufrufs der Form $2,z^*$ ist allerdings $z^*=-25$ für die Zuweisung auf ZCMB zulässig.
STYP -200 V: 0	Nur für AUFGABEN 1 und 3. (Der Scheitel von AUFGABE 2 kann zusätzlich über den externen Scheitelpunkt festgelegt werden.) 0: Benutzereingabe von Zeitwerten erfolgt in Mrd. Jahren (Normalfall) seit dem Urknall 1: Benutzereingabe von Zeitwerten erfolgt in Vielfachen der Zeit von HEUTE (auch Scheitel) – nicht für Look-Back 2: Benutzereingabe von Zeitwerten erfolgt in Vielfachen der Scheitelzeit (Scheitel absolut in Mrd. Jahren) – nur für Look-Back
STYP -201 V: 1	STYP -201 bestimmt, wie die Eingabewerte von STYP -301 zu interpretieren sind. Folgezeile mit einem (I)-Wert: 1= Eingabe $a$ ( $a$ (HEUTE)=1), 2=Eingabe $z^*$ , $z^*$ (HEUTE)=0, 3=Eingabe $t$ Mrd. Jahre *), 4 oder 23=Eingabe Look-Back-Time vom Scheitel Mrd. Jahre **) (Look-Back(Scheitel)=0) *): oder Vielfachen von HEUTE (siehe STYP -200) **) oder SCHEITEL minus Vielfachen der Scheitelzeit (siehe STYP -200) <i>Achtung: Variante 2 sollte nur verwendet werden, wenn später in Steuertyp -301 eine NULL für den Scheitelpunkt eingegeben wird. Nur für diesen Fall sind Rotverschiebungen bekannt. Ist der Scheitelpunkt ungleich Null, so erfolgt eine Abbildung von diesem vorgegebenem <math>z^*</math>-Scheitelwert auf <math>a</math> und <math>t</math>. Für diesen <math>a</math>- bzw. <math>t</math>-Scheitelwert können dann <math>z</math>-Werte mit <math>z(\text{SCHEITEL})=0</math> abgeleitet werden. <math>z^*</math>-Werte und <math>z</math>-Werte sind dann inkonsistent. <math>z^*</math>-Werte gelten nur für Rotverschiebungen auf dem Lichtkegel mit <math>z^*(\text{HEUTE})=0</math>, <math>z</math>-Werte nur für Rotverschiebungen auf dem Lichtkegel mit <math>z(\text{SCHEITEL})=0</math>. Die Ausgabe kann noch über den Parameter IZSCHEITEL des Steuertyps -222 gesteuert werden.</i> <i>Hinweis: Mittels Platzhalter -6 auf Scheitelposition in der 1. Folgezeile von Steuertyp -301 (siehe dort) können auch <math>z</math>-Werte anstelle von <math>z^*</math>-Werten eingegeben werden.</i>  Gerechnet wird intern immer über $a$ . Die Datei T_NACH_A.TXT (bzw. eine Parametersatz-abhängige Variante) muss bei Eingabetyp=3 vorhanden sein. Sollte es, was sehr unwahrscheinlich ist, Schwierigkeiten geben, so ist anzuraten, eine Datei vom Typ T_NACH_A mit den gleichen kosmologischen Konstanten (siehe STYP -111 oder STYP -112) zu erstellen (siehe STYP -101).  Erläuterung: Für Look-Back-Werte soll Eingabetyp 4 verwendet werden. Eingabetyp 23 bleibt aus Gründen der Aufwärtskompatibilität weiter erhalten.

STYP -211 V: *)	<p>Nur relevant für AUFGABENSTELLUNG 1: Ausgabe Mitbewegte/Physikalische Koordinaten/Horizonte</p> <p>Folgezeile ein (I)-Wert: 0=Mitbewegte Koordinaten, 1=Physikalische Koordinaten, 101=Physikalische Koordinaten, in Datei _REZESSION und in _PLOT (Variablen 29, 30, 31, 32) erfolgt die Ausgabe der Rezessionsgeschwindigkeit von Hubblesphäre, Lichtkegel und Horizonten als Oberflächen (und nicht die von Galaxien auf diesen Oberflächen).</p> <p>Platzhalter -31 ist zulässig - siehe ITYP -1020 der Datei ITERATIONENW (ältere Methodik in Kap. 5.6) oder Datei MINUS31.TXT (Kap.5.8) bzw. Konsolbefehl m31 (Kap. 8.15).</p> <p>Zusatzbemerkung: Die Leistung von Wert 101 wird generell nur bei AUFGABENSTELLUNG 1 erbracht.</p> <p><u>Es wird geraten, Kap. 5.8 oder Kap. 8.15 zu lesen. Die dort vermittelte Methodik hat sich für die Arbeit sehr nützlich erwiesen.</u></p> <p>*) Voreinstellung ITYP -1020 ITERATIONENW (vom Hersteller geliefert: 1). Falls dort nicht besetzt: 1.</p>
STYP -221 Wird selten benötigt	<p>Ausgabesteuerung. Die Folgezeile erwartet 6 (I)-Werte, dann einen (D)-Wert und abschließend 3 (I)-Werte – also insgesamt 10 Werte</p> <p>1) 1 oder -9: Ausgabe Rezessionsgeschwindigkeiten in Datei _REZESSION und in _PLOT-Datei in Vielfachen von <math>c</math>. 2:in km/s.  3: Wie 2, zusätzlich wird 8.Position auf 1 gesetzt (überschreibt eine anderslautende Besetzung).  0: Wie 1, zusätzlich wird 8.Position auf 0 gesetzt (überschreibt eine anderslautende Besetzung). V:-9  Position 1 wirkt nur auf Variablen, die als <i>Rezessionsgeschwindigkeit</i>, nicht auf solche, die als <i>Ableitung</i> bezeichnet werden.</p> <p>2) n: Nach jeweils n Zeilen Ausdruck Kopfzeile. 0: Keine Kopfzeilen. -9: nach 20 Zeilen. V:20</p> <p>3) KOPFDIM  0: Keine Dimensionsangaben  1: 1. Kopfzeile mit Dimensionsangaben.  2 oder -9: Alle Kopfzeilen mit Dimensionsangaben. V:-9</p> <p>4) ZUSATZZEILE  0: Weder Zusatzzeile für <math>a=0</math> noch <math>a=\text{unendlich}</math>  1: Zusatzzeile für <math>a=\text{unendlich}</math>  2: Zusatzzeile für <math>a=0</math>  3 oder -9: Beide Zusatzzeilen. V:-9</p> <p>5) 1 oder -9: Dichten (Variablen 19-22 in STYP -107) in <math>\text{kg/m}^3</math>  2: Dichten in <math>\text{GeV}/c^2/\text{m}^3</math>.  3: Dichten als Anteile der kritischen Dichte im räumlich flachen <math>\Lambda\text{CDM}</math>-Modell  4: Dichten als prozentuale Anteile der kritischen Dichte im räumlich flachen <math>\Lambda\text{CDM}</math>-Modell  V: -9</p> <p>6) ALTVERFAHREN/ALTERNATIVVERFAHREN. Nur zu Testzwecken - vor allem für den Provider - können 2 alternative Verfahren aktiviert werden.  0 oder -9: Kein Altverfahren bzw. Alternativverfahren</p>

	<p>BERECHNUNG SCHUBUMKEHR (nur für AUFGABENSTELLUNG 2, siehe STYP -105).</p> <p>1: Berechnung Schubumkehr via Steigen oder Fallen der a-Nachbarwerte – alte Version, Ergebnis weniger genau. Wird eventuell in einer späteren Version entfernt. (0 oder -9: Berechnung Schubumkehr via <math>a''(t)</math> und <math>q</math>.)</p> <p>BERECHNUNG DER DICHTEFUNKTION/EXPANSIONS-FUNKTION <math>E(a)</math></p> <p>2: Alternativverfahren. (0 oder -9: Numerisches Standardverfahren zur Berechnung der Dichtefunktion <math>E(a)</math>). Das Alternativverfahren (anderes Ausmultiplizieren) hat nicht viel gebracht (aber auch nicht geschadet) und wird eventuell in einer späteren Version entfernt.</p> <p>3: 1+2 (beide Alternativverfahren)</p> <p>7) RMIN36 (D), V:-9. Wie wird Variable 36 berechnet? RMIN36=-9: Variable 36=Variable 4-Variable 8; RMIN36&gt;0 (im Normalfall RMIN36=1): Variable 36=(Variable 4-Variable 8)/max( Variable 4 ,  Variable 8 , RMIN36). Variable 4 wird als Laufzeitentfernung interpretiert. (Hinweis: Negative Eingabewerte von Variable 4 sind zulässig. Ist Variable 4&lt;0, dann ist  Variable 4  &lt;  Variable 8 )</p> <p>8) <u>Für verschiedene Fragenstellungen häufig gebraucht</u>: Ausgabe <math>a'(t)</math> und <math>a''(t)</math> in DELTA-Datei oder PLOT-Datei bzw. Ausgabe von Ableitungen verschiedener Variablen (auch: Hubble-Parameter, auch Variable 34: 2. Ableitung Hubble-Radius mitbewegt nach <math>t^2</math>) in PLOT-Datei 1: Dimension <math>da/dt = 1/s</math> (Variable 34: <math>c/s</math>) 0 oder -9: Dimension <math>da/dt = km/Mpc/s</math>. Variable 34: <math>c*km/Mpc/s</math>. V:-9. Bei <math>a''(t)</math> wird nach dem Quadrat der Dimension differenziert. Achtung; siehe auch Position 1, wenn auf 3 gesetzt!</p> <p>9) Gilt <u>nur für Plotter-Datendatei</u> (PLOT), siehe STYP -107. V:-9 0 oder -9: Ausgabe von Hubblesphäre, Ereignishorizont, Lichtkegel, Partikelhorizont (Variablen 6,7,8,9,18) in Mrd. Lichtjahren. 1: Ausgabe in km 2: Wie 1, zusätzlich wird Position 1 auf 3 gesetzt (überschreibt so die gesetzten Positionen 1 und 8).</p> <p>10) 1 oder -9: Ausgabe Volumen (STYP -107, Variablen 23 und 24) in (Mrd. Lichtjahre)<sup>3</sup>, 2: in km<sup>3</sup>. 3: in m<sup>3</sup>. V:-9</p> <p><u>Zusammenfassung der Positionen 1, 8 und 9 für Hubblesphäre, Ereignishorizont, Lichtkegel und Partikelhorizont</u></p> <p>1) Rezessionsgeschwindigkeiten in <math>c</math> oder <math>km/s</math></p> <p>8) Ausdrücke vom Typ <math>da/dt</math>: <math>km/Mpc/s</math> oder <math>1/s</math>. Auch abgeleitete Ausdrücke wie z.B. der Hubble-Parameter.</p> <p>9) Abstand vom Beobachter (physisch oder mitbewegt) in Mrd. Lichtjahren oder km. Nur für Plotter-Datendatei. -9 oder 0: Mrd. Lichtjahre. 1: km. Kommentar zu Dimensionen: : Nur 1) <math>km/s</math>, 8) <math>1/s</math> und 9) <math>km</math> passen zusammen: 9) * 8) = 1), das soll heißen <math>km * 1/s = km/s</math> Man kann Position 9 auf 2 setzen, dann sind alle Variablen für dieses Thema austariert.</p> <p><u>Ratschlag</u>: Entweder alle 3 Positionen auf -9 oder Position 9 auf 2 setzen.</p>
STYP -222	Funktioniert bei allen 3 AUFGABEN: Ausgabe $z$ bzw. $z^*$ via IZSCHEITEL(I): V: -9

Wird selten verwendet.	<p>In Folgezeile: IZSCHEITEL</p> <p>0 oder -9: Ausgabe gemäß <math>z(\text{Scheitel Lichtkegel})=0</math> - Normalfall</p> <p>1: Ausgabe gemäß <math>z^*(\text{HEUTE})=0</math> – Achtung: Inkonsistenzen mit a und t</p> <p>2: Ausgabe z, dann <math>z^*</math> in direkt folgender Zusatzzeile</p> <p>3: wie 2, zusätzlich werden in einer Zusatzzeile 2 <math>z^*</math>-Werte ZUNTEN(D), ZOBEN(D) eingegeben, die die Ausgabe der Zusatzzeile eingrenzen.</p> <p>ZUNTEN (nahe am Urknall, eventuell sehr große Zahl): V:-9 entspricht <math>10^{100}</math></p> <p>ZOBEN (nahe bei UNENDLICH, bis <math>-1.1=-1</math> minus Rundungsfehler): V:-9 für -1.1</p> <p>Sinn von IZSCHEITEL=3: Man kann z.B. ZUNTEN=1100 und ZOBEN=1089 eingeben, um <math>z^*</math> in Zusatzzeile nur für CMB auszugeben.</p>
STYP -224	<p><u>Für AUFGABEN 1 und 3</u></p> <p>Mittels STYP -224 kann zusätzlich der Ort einer Galaxie festgelegt werden. Die Weltlinie dieser Galaxie kann via STYP -107 in die Plotter-Datendatei eingetragen werden, und via STYP -227 kann der Verlauf der Weltlinie und deren Schnittpunkt mit Lichtkegeln und Ereignishorizont ermittelt werden. Der Ort der Galaxie wird intern durch ihren mitbewegten Abstand D (Referenzabstand) vom Beobachter abgebildet.</p> <p>Dieser mitbewegte Abstand kann flexibel durch das Galaxietripel (Folge von 3 Werten in der Folgezeile: EIGENART, DISTANZMODUS, GALAXIEDISTANZ) oder einfach TRIPEL festgelegt werden.</p> <p>Der Abstand des Beobachters zur Galaxie kann bei AUFGABE 1 (in mitbewegter und physikalischer Variante) von der Variablen 14 bei der Erstellung einer Plotter-Datendatei abgerufen werden (siehe STYP -107).</p> <p>Die folgenden Formen von TRIPELn sind möglich. Durch das TRIPEL wird der mitbewegte Referenzabstand D vom Beobachter und in einigen Fälle auch zusätzliche Information gewonnen.</p> <p>-1,-9,d: d ist bereits der mitbewegte Abstand D vom Beobachter</p> <p>-1,a,d: d ist der physikalische Abstand beim Skalenfaktor a, (-1,1,d) ist identisch mit (-1,-9,d).</p> <p>-2,apexa,z: D ist unter der Rotverschiebung z der berechnete mitbewegte Abstand vom Beobachter auf dem Lichtkegel mit dem Scheitelpunkt apexa. apexa ist in a anzugeben, im Normalfall ist apexa=1. Achtung: <math>z(\text{apexa})=0</math>, auch wenn apexa von 1 verschieden ist.</p> <p>-202,apexa,z* wie -2, nur <math>z^*=z^*(a=1)</math> anstelle <math>z(\text{apexa})</math>. a und t werden via Scheitel bei <math>a=1</math> errechnet, anschließend wird z zu apexa bereitgestellt.</p>

<p>-22,apext,z: wie Fall -2, allerdings ist apext nun in t vorzugeben. apext=-14 für HEUTE ist möglich. Achtung: <math>z(\text{apext})=0</math>.</p> <p>-222,apext,z* wie -22, nur <math>z^*=z^*(\text{HEUTE})</math> anstelle <math>z(\text{apext})</math>. a und t werden via Scheitel bei t=HEUTE errechnet, anschließend wird z zu apext bereitgestellt.</p> <p>-3,t,d: d ist der physikalische Abstand zum Zeitpunkt t. (-3,-9,d) ist identisch mit (-1,-9,d) und (-3,-14,d).</p> <p>-4,apexa,a: D ist der berechnete mitbewegte Abstand beim Skalenfaktor a einer Galaxie auf dem Lichtkegel mit a-Scheitelpunkt apexa.</p> <p>-5,apext,t: D ist der berechnete mitbewegte Abstand zur Zeit t einer Galaxie auf dem Lichtkegel mit t-Scheitelpunkt apext.</p> <p>Will man ein Ereignis für einen von HEUTE verschiedenen Scheitel behandeln, wobei die Rotverschiebung für den heutigen Zeitpunkt bzw. <math>a=1</math> bekannt ist (Beispiel: Emission der Mikrowellen-Hintergrundstrahlung CMB), so kann man diese Rotverschiebung <math>z^*</math> mittels der Eigenarten -202 und -222 eingeben. (Man erspart sich so die konkrete Eingabe von durch vorherige Durchläufe ermittelten Abständen bei den Eigenarten -1 und -3.) Die Eingabe von z oder <math>z^*</math> (korrekt eingegeben) beeinflusst die Tabellenausgabe in die Plotter-Datendatei bei den Eigenarten -2, -22, -202 oder -222 nicht. Ein in z umgewandelter <math>z^*</math>-Wert kann lediglich helfen, ein Ereignis bei z bei der Ausgabe korrekt zu überprüfen. Es sei daran erinnert, dass mittels Steuertyp -222 (nicht mit Eigenart -222 verwechseln!) die Ausgabe von z und/oder <math>z^*</math> erzwungen werden kann.</p> <p>Durch -1,-9,-24 kann, sofern Platzhalter -23 durch Steuertyp -123 definiert, der im Platzhalter -24 abgelegte mitbewegte Abstand D zum Ereignishorizont abgerufen werden.</p> <p>Wo apexa oder apext eingegeben werden soll, kann auch -7 für den externen Scheitelpunkt (STYP -120) stehen. STYP -200 ist für apext unwirksam.</p> <p>Anstelle eines a- oder t-Werts an 3. Position kann auch -21 (definiert via STYP -121), -22 (voreingestellt oder überschrieben durch STYP -122) oder -23 (definiert via STYP -123), stehen.</p> <p>Durch die Apex-Eigenarten -2, -22, -202, -222, -4 und -5 wird zusätzlich jenes t bzw. a bestimmt, zu dem der physikalische Abstand d gemessen wurde, über den der mitbewegte Abstand durch <math>D = d / a</math> bestimmt wurde.</p> <p>Dieses a oder t kann als -8 in der Dritten Zeile von STYP -227 (nur bei AUFGABE3EINGABEMODUS 1 oder 3) oder als -18 als a- oder t-Anfangs- oder Endwert bei STYP -301 (Eingabe 1 oder 3 bei STYP -201) abgerufen werden.</p> <p>Bei allen anderen Varianten des AUFGABE3EINGABEMODUS in STYP -227 (Scheitelpunkt-Eingabevarianten) ist -8 der Scheitelpunkt des aktuellen Lichtkegels (a- oder t-Scheitelpunkt).</p>
--

	<p>Erläuterung zu den Apex-Eigenarten in Aufgabe 1 unter der Annahme, dass der in Aufgabe 1 betrachtete Lichtkegel mit dem Apex (Scheitelpunkt) der Apex-Eigenart übereinstimmt und dass Platzhalter -18 in den -301-Werten vorhanden ist. Wird z in -2 oder -22 eingegeben, so erscheint dieses z in der -18-Zeile der Ausgabe in die Plotter-Datendatei. Wird z* in -202 oder -222 eingeben, so erscheint in der -18-Zeile der zu z* gehörige z-Wert. In beiden Fällen sind Lichtkegel LK(apex) und Galaxie an der Stelle -18 (a, t, z) gleich.</p>
STYP -227	<p><u>Nur für AUFGABE 3</u></p> <p>STYP -227 ermittelt, wo die durch STYP -224 bestimmte Galaxie verschiedene Lichtkegel und den Ereignishorizont schneidet. Die 1. Zeile besteht aus 3 Werten: PLOT3VARIANTE (I), ZEILDRUCKAUFGABE3 (I), KONTROLL_3EINGABEMODUS (I)  PLOT3VARIANTE: -9 Keine Plotter-Ausgabe; 0: Ausgabe mitbewegter Koordinaten; 1: Ausgabe physikalischer Koordinaten  Ist PLOT3VARIANTE von -9 verschieden, so wird eine Vierte Zeile erwartet, auch dann, wenn PLOTANZ=0 (siehe STYP -107).  ZEILDRUCKAUFGABE3 (I) gibt an, nach wie vielen Ausgabepaketen von zwei Mal 4 Zeilen eine neue Erläuterung der Bedeutung der Zeilen ausgegeben werden soll. V: -9, entspricht 5.</p> <p>KONTROLL_3EINGABEMODUS (I) = 0: Werte der Dritten Zeile werden nicht geordnet.  KONTROLL_3EINGABEMODUS (I) = 1: Werte der Dritten Zeile werden geordnet.  KONTROLL_3EINGABEMODUS (I) = 2: Werte der Dritten Zeile werden ab dem 2. Element geordnet, sofern das 1. Element eine <span style="background-color: yellow;">-8</span> (siehe SYTP -224) ist.  V:-9, entspricht 2.</p> <p>-----  Der Ersten Zeile folgen eine Zweite und eine Dritte Zeile.</p> <p>Die Zweite Zeile hat 2 Elemente. Der erste Wert (der AUFGABE3EINGABEMODUS) bestimmt die Kategorie (a, t, apexa. apext) der Elemente der Dritten Zeile. Der zweite Wert anz bestimmt die Anzahl der ELEMENTE der Dritten Zeile.</p> <p>Dritte Zeile: anz Werte (a-, t-, apexa- oder apext-Werte)</p> <p>AUFGABE3EINGABEMODUS  1: In der Dritten Zeile werden a-Werte erwartet (welchen Scheitel hat der Lichtkegel, den die Galaxie beim a-Wert schneidet?)  3: In der Dritten Zeile werden t-Werte erwartet (welchen Scheitel hat der Lichtkegel, den die Galaxie beim t-Wert schneidet?)  4: In der Dritten Zeile werden a-Scheitelpunkte erwartet (bei welchem a schneidet die Galaxie diesen Lichtkegel?)  5: In der Dritten Zeile werden t-Scheitelpunkte erwartet (bei welchem t schneidet die Galaxie diesen Lichtkegel?)  11: wie 1, allerdings hat die Dritte Zeile einen besonderen Aufbau</p>

	<p>13: wie 3, allerdings hat die Dritte Zeile einen besonderen Aufbau</p> <p>Bei den t-Werten der Dritten Zeile kann -14 für HEUTE stehen. Außerdem ist STYP -200 für die Dritte Zeile wirksam, wo immer t eingegeben wird. In Bezug auf den AUFGABE3EINGABEMODUS 13 beschränkt sich die Wirksamkeit auf die ersten anz-2 Elemente.</p> <p>Zuletzt sollen noch die Details für die AUFGABE3EINGABEMODI 11 und 13 Erwähnung finden. Analog zum Modus 1 werden bei 11 in der Dritten Zeile a-Werte, bei 13 t-Werte erwartet. anz gibt wieder die Anzahl der Werte der Dritten Zeile an, meistens wird man anz=2 wählen.</p> <p>Der vorletzte Wert der Dritten Zeile ist beim AUFGABE3EINGABEMODUS 11 ein a-Referenzwert, beim AUFGABE3EINGABEMODUS 13 ein t-Referenzwert. Der letzte Wert umschreibt die Anzahl der Werte, die zwischen dem Referenzwert und dem Ereignishorizont a- bzw. t-äquidistant ausgegeben werden sollen. Ist <math>anz &gt; 2</math>, so umschreiben die ersten <math>anz-2</math> Werte Multiplikatoren für den Referenzwert, die ebenfalls ausgegeben werden sollen.</p> <p>Beispiel:</p> <table data-bbox="367 771 777 828"> <tr> <td>11,4</td> <td>Zweite Zeile</td> </tr> <tr> <td>0.25,0.5,-8,3</td> <td>Dritte Zeile</td> </tr> </table> <p>Ausgegeben werden sollen ausgehend von jenem Referenzabstand, der durch das SYTP= 224 bestimmt wird, 3 a-äquidistante Lichtkegel zwischen Referenz-a und Ereignishorizont, d.h. es werden die Scheitelpunkte der Lichtkegel bestimmt, deren Wert beim jeweiligen a den mitbewegten Abstand D vom Beobachter aufweisen.</p> <p>Vierte Zeile (Plotter-Zeile) – nur falls PLOT3VARIANTE von -9 verschieden: aODERt (I), Anfangswert (D), Endwert (D), Schrittzahl(I) – siehe PLOT3VARIANTE Erste Zeile.</p> <p>aODERt: 1=a, 3=t. Die drei Folgeparameter beziehen sich auf a oder t.</p> <p>Anfangswert (in t oder a gemäß aODERt). -8 möglich, wenn auch sonst erlaubt</p> <p>Endwert; -14 (HEUTE), -16 (t bei Schnittpunkt Galaxie-Ereignishorizont) möglich</p> <p>Schrittzahl: zwischen Anfangs- und Endwert (nur bei t für physikalische Koordinaten relevant), muss aber stets besetzt sein (z.B. mit 0).</p> <p><u>Sonderfall Anfangswert -1</u>: Wird der Anfangswert auf -1 gesetzt, so werden Endwert und Schrittzahl nicht ausgewertet.</p> <p>Es werden genau die (und nur die) t bzw. a plus zugehöriger Galaxiedistanz in die Plotter-Datendatei geschrieben, die in der Dritten Zeile bezeichnet wurden.</p> <p>Die Ausgabe in die Plotter-Datendatei ist bei AUFGABE 3 nur für a, t und die Galaxie (Variablen 1, 3 und 14 und deren negativen Werte gemäß STYP -107) vorgesehen.</p>	11,4	Zweite Zeile	0.25,0.5,-8,3	Dritte Zeile
11,4	Zweite Zeile				
0.25,0.5,-8,3	Dritte Zeile				

STYPen -224 und -227	Es wird geraten, sich zum Verständnis der Steuertypen -224 und -227 die inline gut dokumentierte Steuerdatei 3-5-22_plot in Kap. 9 anzuschauen und sich die Ergebnisse in der Hauptausgabedatei und in der Plotter-Datendatei dort anzuschauen.
STYP -300 V: -9	<p>Programmabbruch oder Programmfortführung bei Fehlern in den Wandelvariablen -58 bis -64, siehe Kap. 5.13.</p> <p>0 oder -9: Programmabbruch (V)</p> <p>1: Warnungen auf Konsole</p> <p>2: Warnungen auf Konsole und in Hauptausgabedatei.</p> <p>Die Fehlererkennung ist variablenabhängig, Bei den Wandelvariablen -59 und -60 wird auch dann auf einen Fehler erkannt, wenn nur der Scheitel des vorausseilenden Aufgabe-2-Laufs unterschiedlich ist.</p>
STYP -301	<p><u>Gilt nur bei AUFGABE 1</u></p> <p>Eingabe von Anfangswert, Delta, Endwert, in den Folgezeilen. In der 1. Folgezeile findet man hinter diesen 3 Werten zusätzlich den Scheitelpunkt. Ist der Eingabetyp=3 (t), so steht bei Anfangswert, Endwert und Scheitelpunkt -14 für HEUTE.</p> <p>Ist Eingabetyp=23 oder Eingabetyp=4 (LOOK-BACK t), so wird auf Scheitelpunktposition t, nicht LOOK-Back-t erwartet. Auch -14 für HEUTE, -7 und die Platzhalter -21 bis -23 sind möglich. Weitere Besonderheiten siehe weiter unten.</p> <p>1. Folgezeile : 4 (D)-Werte, zusätzlich -8 (Integer)</p> <p>Weitere Folgezeilen: 3 (D)-Werte (Scheitelpunkt wird der 1. Folgezeile entnommen), zusätzlich -8.</p> <p>Eine -9 anstelle der -8 am Ende zeigt die letzte Zeile an.</p> <p>Delta muss bei Eingabe z* oder LOOK_BACK t (siehe STYP -201) negativ sein, sonst positiv. Bei LOOK_BACK t dürfen keine t-Werte eingegeben werden, die größer sind als der Scheitelpunkt.</p> <p>Delta=0 ist erlaubt. In diesem Fall wird nur die Zeile für den Anfangswert ausgegeben. Der Endwert wird ignoriert. Das gleiche Ergebnis erhält man, wenn Anfangswert=Endwert. Wird gemäß t eingegeben, so bedeutet t=-14: HEUTE.</p> <p>Zur Verdeutlichung (1.Folgezeile) : In Abhängigkeit von Folgezeile Steuertyp -201 (Eingabetyp)=</p> <p>1: Eingabe ANFa, DELTAa, ENDa, SCHEITELa,-8</p> <p>2: Eingabe ANFz*, DELTAz* (negativ), ENDz*, SCHEITELz*,-8</p> <p>3: Eingabe ANFt, DELTAt, ENDt, SCHEITELt,-8</p> <p>23: Eingabe ANFt, DELTAt (negativ), ENDt, SCHEITELt,-8 (ANFt, DELTAt, ENDt sind Lookback-t-Werte, bezogen auf den Scheitelpunkt. Der Scheitelpunkt ist ein t-Wert (nicht ein LOOK-BACK-t-Wert). Die Kombination mit STYP -200=1 ist zulässig.)</p> <p>Platzhalter -7,-14, -21, -22 und -23 sowie -58 bis -64 sind bei Anfangs- und Endwerten zulässig.</p>

	<p>Von einer von NULL verschiedenen Eingabe von SCHEITELz* wird abgeraten. z* bezieht sich immer auf den Lichtkegel-Scheitelpunkt NULL. Beispiel: Wird SCHEITEL z*=-0.5 (minus 0.5) eingegeben, so entspricht dies einem SCHEITELa von 2. Die spätere Standardausgabe (ZSCHEITEL=0 in Steuertyp -221) erfolgt in z für den Scheitelpunkt SCHEITEL a=2 des Lichtkegels. Die Eingabe von z* wurde vorgesehen, da dem Benutzer bestimmte Objekte nur durch ihre Rotverschiebung für den Fall eines Lichtkegelscheitels mit Rotverschiebung NULL bekannt sind.</p> <p>Anstelle von SCHEITELz* kann eine -7 eingegeben werden. In diesem Fall wird als Scheitel der externe Scheitelpunkt (siehe Steuertyp -120) verwendet.</p> <p>Anstelle von SCHEITELz* kann eine -6 eingegeben werden. In diesem Fall wird als Scheitel der externe Scheitelpunkt (siehe Steuertyp -120) verwendet. Die Eingabe 2 wird in der Form ANFz, DELTAz, ENDz, -6, -8, erwartet, wobei sich ANFz, DELTAz und ENDz jetzt auf den zu -6 gehörigen Scheitelpunkt mit z(„-6“-Scheitel)=0 beziehen, also nicht mehr auf den durch a=1, t=HEUTE und z(HEUTE)=0 definierten Scheitel.</p> <p>Die Eingabe von -7 war ursprünglich für den externen Scheitelpunkt reserviert. Ab WELTTABELLEN-Version 2 kann -7 als beliebige, durch TYP -120 definierte, Wandelvariable verwendet werden. (Die Eingabe von -6 ist allerdings nur, wie zuvor beschrieben, auf Rotverschiebungs-Scheitelpunktposition möglich.)</p> <p>Enthält die Steuerdatei bei AUFGABE 1 keinen STYP -301, so erfolgt die Eingabe nach den Regeln der 1. Folgezeile (ohne abschließende -9) für genau einen Wertebereich von der Konsole.</p> <p><b><u>Eingabetyp 4 (oder Eingabetyp 23):</u></b> Da negative Lookback-t-Werte (Vorwärts-Lichtkegel) zulässig sind, kann es Konflikte zwischen Lookback-Anfangs- und -Endwerten und den Platzhaltern (-7, -14, -21 bis -23) geben. Deshalb gilt folgende Vereinbarung: Ist der letzte Wert einer Zeile eine -8 oder -9, so werden die negativen Werte als Lookback-Zeitpunkte interpretiert. Ist der letzte Wert eine -88 oder -99, so werden die genannten Zahlen als Platzhalter interpretiert. Ist der letzte Wert eine -888 oder -999, so werden die genannten Zahlen als SCHEITEL minus Platzhalter aufgefasst. Da man viele spezielle kosmologische Werte als t (und nicht als Lookback-t) vorbereitet hat, <u>dürfte die Verwendung von -888 und -999 der Platzhalter-Normalfall sein.</u> -88 und -888 wirken sonst wie -8, -99 und -999 wie -9 (letzte Zeile).</p>
STYP -403	Die Folgezeilen werden an das Ende der Ausgabedatei geschrieben, Zeilen, die mit *** beginnen, zusätzlich auch auf die Konsole. &&& als erste 3 Zeichen einer Zeile beenden Ein- und Ausgabe.

STYP -960	Bereitstellung einer NEUHEUTE-Variante der aktuellen Steuerdatei. Es gibt 2 Folgezeilen. Folgezeile 1; EINGABETYP (I), AZT (D), ToderR (I) Folgezeile 2: Minuszeichen (-) oder Name eines Parametersatzes gemäß STYP -112 Siehe 5.14. Achtung: Durch die Verlagerung von a=1 auf einen neuen Zeitpunkt ändert sich auch die Zeit, bei der der mitbewegte Abstand definiert ist. Mit Ausnahme des -960-Steuertyps selbst werden in der Steuerdatei nur die Zeit nach dem Urknall und physikalische Abstände korrekt an die NEUHEUTE-Steuerdatei weitergegeben.
STYP -999	End of File. Danach können noch Kommentare in der Datei stehen.

Zeilen, die anstelle eines Steuertyps die Zahl -888 enthalten, werden überlesen. Hinter einem Komma können Kommentare angebracht werden.

## 5.2 Dateien vom Typ T\_NACH\_A

Falls in der Datei STEUERW der Steuertyp -101 vorhanden ist, werden in die Datei T\_NACH\_A\_parametersatz.TXT (z.B. T\_NACH\_A\_Planck18.TXT) alle abgerufenen  $a$  und die zugeordneten  $t$  je Zeile ausgegeben. Sinnvoll ist dieses Verfahren nur für die große Standard-Steuerdatei STEUERWa (durchläuft alle  $a$  von  $10^{-16}$  bis  $10^{31}$ ). Eine solche Datei muss für verschiedene Iterationsverfahren verfügbar sein. Insbesondere werden stets Iterationsverfahren verwendet, wenn  $a$  aus  $t$  berechnet werden muss.

Weitere Details sind bei der Beschreibung der Steuertyps -101 im Kapitel über die Steuerdatei STEUERW.TXT erläutert.

Sollte es Schwierigkeiten geben, so ist anzuraten, eine Datei T\_NACH\_A\_parametersatz.TXT mit den gleichen kosmologischen Konstanten (siehe Typ=-111 oder Typ=-112) zu erstellen. Insbesondere muss man eventuell für den Fall  $\Omega_R=0$  eine eigenständige T\_NACH\_A-Datei bereitstellen. Alternativ kann auch zunächst versucht werden, die Parameter der Zeile mit dem Steuertyp -1070 in der Datei ITERATIONENW abzuändern (z.B. 1.D-12, 0.1, 10,200). Ein Teil dieser Parameter kann auch durch den Steuertyp -104 in Steuerdateien vom Typ STEUERW abgeändert werden.

## 5.3 Platzhalter

In der Beschreibung der Steuerdatei in Kap. 5.1 wurden einige Platzhalter definiert. Diese werden hier noch einmal eigenständig aufgeführt.

-6	Nur in STYP -301, nur falls Eingabe=2 (definiert durch SYTP -201): Der durch STYP -120 definierte externe Scheitelpunkt wird abgerufen. Die Rotverschiebungswerte werden als $z$ (abhängig vom Scheitel des aktuellen Lichtkegels) und nicht als $z^*$ (abhängig vom Scheitel bei T=HEUTE) erwartet.
-7	Der durch STYP -120 definierte externe Scheitelpunkt bzw. die Wandelvariable -7 wird abgerufen. (In früheren Programmversionen stand -7 für den externen Scheitelpunkt. In der aktuellen Version kann -7 als beliebige Wandelvariable verwendet werden. Nur für den bei Platzhalter -6 beschriebenen Sonderfall muss der durch STYP -120 definierte externe Scheitelpunkt obligatorisch verwendet werden.)
-8	Ist STYP -224 besetzt und ist EIGENART -2, -22, -4 oder -5, so kann das implizit definierte $a$ oder $t$ als -8 in der Dritten Zeile von STYP -227 (AUFGABE3EINGABEMODUS 1 oder 3) abgerufen werden. Bei allen anderen Varianten des AUFGABE3EINGABEMODUS in STYP -227 ist -8 der Scheitelpunkt des aktuellen Lichtkegels ( $a$ - oder $t$ -Scheitelpunkt).  Zugleich ist eine -8 letzter Wert einer Folgezeile von STYP -301, wenn weitere Folgezeilen vorhanden sind.
-9	Bei vielen STYP-Befehlen verweist eine -9 auf einen voreingestellten Wert. Zugleich ist eine -9 letzter Wert einer Folgezeile von STYP -301, der keine weiteren Folgezeilen folgen.
-14	für $t=HEUTE$ , an vielen Stellen erlaubt.
-16	$a$ - oder $t$ -Wert für den Ereignishorizont, nur erlaubt als Endwert bei der Ausgabe von Plotterdaten in AUFGABE 3. (Es wird eine Galaxie so lange verfolgt, bis sie den Ereignishorizont erreicht.)
-18	Ist STYP -224 besetzt und ist EIGENART -2, -22, -4 oder -5, so kann das implizit definierte $a$ , $z$ oder $t$ als Platzhalter -18 von STYP -301 abgerufen werden – siehe auch Kommentar bei Erläuterung von Steuertyp -224 in Kap. 5.1.
-19	Dimensionslose Variable, definiert durch STYP -119.

-21	Wandelvariable, definiert durch STYP -121, kann in STYP -301 (und an einigen anderen Stellen gemäß Beschreibung) abgerufen werden.
-22	Wandelvariable, impliziert vorgegeben als ZCMB, kann durch STYP -122 überschrieben werden – siehe Kap. 5.1, STYP=-122. Bezeichnet auch den Bezugszeitpunkt $t_{\min}$ (an anderer Stelle der Beschreibung auch mit $u$ bezeichnet) für den Partikelhorizont( $t_{\min}$ ) - siehe W. Lange [11]. Kann auch bei der Eingabe von Werten bei STYP -301 verwendet werden.
-23	Wandelvariable, definiert durch STYP -123, kann in STYP -301 (und an einigen anderen Stellen gemäß Beschreibung) abgerufen werden. Zugleich kann der mitbewegte Abstand zum Ereignishorizont bei dieser Variablen ermittelt werden.
-24	VAR23VARIANTE=1 (siehe STYP -123): Mitbewegter Abstand zum Ereignishorizont bei Wandelvariable -23. VAR23VARIANTE=2: Physikalischer Abstand Hubblesphäre + $V19 * (\text{Ereignishorizont} - \text{Hubblesphäre})$ bei Wandelvariable -23. Zu V19 siehe STYP -119.
-25	ZCMB, erläutert bei Beschreibung von STYP -122. Kann auf zweiter Eingabeposition von STYP -121 und STYP -123 stehen.
-31	Wert definiert mittels ITYP -1020 (Datei ITERATIONENW) oder in Datei MINUS31. (Der Konsolbefehl m31 stellt die Datei MINUS31 bereit.) Kann nur in STYP -211 abgerufen werden. Erlaubte Werte wie dort definiert. Zweck: Insbesondere für Plotterdaten wird oft eine ganze Folge von Steuerdateien ausgeführt. Mittels -31 kann die gesamte Folge einmal für mitbewegte und ein anderes Mal für physikalische Koordinaten abgerufen werden. Es braucht nur der Wert von ITYP -1020 oder ein Wert in MINUS31 (siehe Kap. 5.8) abgeändert zu werden. {Die Technik gilt als überholt, ist aber noch in zahlreichen Steuerdateien vorhanden, insbesondere in solchen zur Vorbereitung von Zeichnungen. Einfacher kann der Konsolbefehl m211 (siehe Kap. 8.15) Verwendung finden.}
-58 bis -64	Siehe Kap. 5.13. Übernahme in Aufgabe 1 (STYP -301) von Größen, die in Aufgabe 2 berechnet wurden.
-88 -99	Zusätzlich -888 und -999. Letzte Werte einer Folgezeile von STYP -301, falls Eingabetyp =-23. Siehe Beschreibung zu Steuertyp -301, Eingabetyp =-23 (letzter Absatz).

#### 5.4 Erzeugung von Dateien vom Typ T\_NACH\_A via STEUERWa

Die zentrale Steuerdatei STEUERWa.TXT ist zunächst einmal eine Steuerdatei wie jede andere.

a	1	Aufgabe 1 für einen gesamten a-Wertebereich. Durchläuft alle a von $10^{-16}$ bis $10^{31}$ mit größenabhängigen Deltawerten.	M
aa	1	Kopie für Korrekturen des Parametersatzes. Das Original sollte nicht abgeändert werden.	M

Ihr Aufbau ist fast gleich wie jener von STEUER1a. Die zusätzlichen Leistungen werden durch den Steuertyp -101 gewährleistet. Genaueres liefert die Beschreibung dieses Steuertyps in Kap. 5.1, STYP -101. Durch einen Aufruf von WELTTABELLEN via STEUERa.TXT wird eine Datei vom Typ T\_NACH\_A für den aktuellen Parametersatz erzeugt.

Eine Datei vom Typ T\_NACH\_A muss verfügbar sein, wenn „Eingabe t“ oder „Eingabe Look-Back-TIME“ bei Eingabetyp -201 bei einem späteren Aufruf gefordert wird. Außerdem ist die Datei für AUFGABEN 2 und 3 erforderlich. Mit Hilfe der Dateien vom Typ T\_NACH\_A werden Startwerte bereitgestellt, mit Hilfe derer a aus t iterativ berechnet werden kann.

Erzeugt wird z.B. die Datei T\_NACH\_A\_PLANCK18.TXT, wenn der Parametersatz PLANCK18 verwendet wird, und zwar genau mit genau dem aktuellen  $\Omega_R$ . Wird später ein Lauf mit PLANCK18 durchgeführt, so wird auf die Datei T\_NACH\_A\_PLANCK18.TXT zurückgegriffen.

Für alle in WELTTABELLEN eingebauten Parametersätze mit dem voreingestellten (via -9 abgerufenem)  $\Omega_R$  sind T\_NACH\_A-Dateien bereits vorhanden. Diese werden in einem Unterverzeichnis TNACHA ausgeliefert. Die ebenfalls vorhandene Datei T\_NACH\_T.TXT ist eine

Kopie von T\_NACH\_A\_PLANCK18.TXT. Auf diese Basisdatei wird immer zurückgegriffen, wenn für einen Parametersatz keine spezifische T\_NACH\_A-Datei verfügbar ist.

Ist eine T\_NACH\_A-Datei für einen bestimmten Parametersatz nicht vorhanden, so sind Programmabbrüche nicht auszuschließen. Dieser Fall kann auch dann eintreten, falls mit einem anderen  $\Omega_R$  als dem voreingestellten gearbeitet wird. Für den Fall  $\Omega_R = 0$  sind gesonderte T\_NACH\_A-Dateien vorbereitet.

Möchte man eine T\_NACH\_A-Datei für einen nicht voreingestellten Parametersatz erstellen, so kann man dem mittels Steuertyp -112 erzeugten Parametersatz in der zweiten Folgezeile einen Namen (ohne Leerzeichen) geben. Für diesen Namen wird dann eine T\_NACH\_A\_name.TXT erstellt, die beim erneuten Aufruf mit gleichem -112-Steuertyp erkannt wird.

Die Steuerdatei STEUERWa.TXT sollte gemäß Konzept nicht geändert werden. Für Änderungen wurde eine Kopie STEUERWaa.TXT vorbereitet. Zweck der Änderung ist die Verwendung eines alternativen Parametersatzes (Steuertyp -111, eventuell -112 anstelle -111).

Für jeden Parametersatz müssen zwei T\_NACH\_A-Dateien erzeugt werden, eine mit OMEGA\_R=-9 (automatisch berechnet) und eine mit OMEGA\_R=0, wobei unter OMEGA\_R hier die zweite Position der STYP -111-Folgezeile darstellt.

### 5.5 Beispiel für die Erzeugung einer T\_NACH\_A-Datei

Die Berechnungen von Quelle [4] (siehe Kap. 7) basieren auf einem Parametersatz mit folgenden Größen:  $H_0 = 70.1$  km/Mpc/s,  $\Omega_M = 0.278$ ,  $\Omega_R = 0$ .

Wir haben im Anschluss die Größen  $\Omega_R$ ,  $\Omega_M$  und  $H_0$  mittels Steuertyp -112 und dem Parametersatznamen EVO in verschiedene Steuerdateien eingetragen. Insbesondere haben wir auch eine Steuerdatei STEUERWa-EVO bereitgestellt. Anstelle des Steuertyps -111 der Datei STEUERWa stellt STEUERWa-EVO nun mittels Steuertyp -112 die oben genannten Parameter bereit. In der zweiten Folgezeile nach dem Abruf des Steuertyps wird EVO als Name des Parametersatzes vereinbart.

Mittels

d a-EVO

bei der Konsoleingabe kann nun die Datei T\_NACH\_A\_EVO\_0.TXT im Unterverzeichnis TNACHA erzeugt werden.

STEUERWa-EVO und zwei weitere Steuerdateien mit der Endung -EVO (1t-EVO, 3-11-22-EVO) haben wir bei den vorbereiteten Steuerdateien mitgeliefert.

Es hat sich übrigens herausgestellt, dass sämtliche Abrufe, die wir mit dem EVO-Parametersatz probierhalber durchgeführt haben, auch ohne die neue Datei vom Typ T\_NACH\_A fehlerfrei durchgeführt worden sind. Wenn man also einen neuen Parametersatz ausprobieren möchte, ist es nicht in jedem Fall erforderlich, die neue Datei zu erzeugen.

a-EVO	1	Aufgabe 1 für einen gesamten a-Wertebereich. Durchläuft alle a von $10^{-16}$ bis $10^{31}$ mit größenabhängigen Deltawerten.	M
-------	---	---	---

## 5.6 Datei ITERATIONENW

Die meisten Benutzer werden die Datei ITERATIONENW nie ändern.

Der Aufbau der Datei ITERATIONENW (ITERATIONENW.TXT) ist ähnlich dem der Steuerdatei STEUERW. Lediglich sind die Steuertypen (I-Steuertypen, ITYP) nun negativ 4-stellig. Diese Datei enthält Parameter für Iterationsverfahren und zusätzlich einige globale Größen. Diese Parameter sind im Allgemeinen inline dokumentiert. Nur einige wenige I-Steuertypen am Anfang der Datei sollen kurz erläutert werden.

I-Steuertyp -1001 liest in der Folgezeile einen Integer-Wert (0, 1, oder 2), gefolgt von einem String. Dieser String soll die Datei ITERATIONENW identifizieren. Ändert der Benutzer die Datei, sollte dieser String auch geändert werden, insbesondere dann, wenn Iterations-Grenzwerte abgeändert werden. Andere Grenzwerte führen zu anderen Ergebnissen, die sich allerdings mehrheitlich nur minimal unterscheiden. Der Benutzer sollte aber stets wissen, mit welcher Datei ITERATIONENW er gearbeitet hat. Nach experimentellen Änderungen darf nie vergessen werden, die ursprüngliche Datei wiederherzustellen. Bedeutung des Integer-Werts: 0=keine Protokollierung von Steuerkennzeichen und String. 1=Protokollierung in Hauptausgabedatei. 2= Protokollierung in allen 3 Standard-Ausgabedateien, also auch \_DELTA- und \_REZESSION-Datei.

I-Steuertyp -1002 liest in der Folgezeile die 4 Debug-Parameter gemäß STYP -100 der Steuerdatei STEUERW ein. Ist der I-Steuertyp -1002 nicht vorhanden, sind alle Werte mit 0 vorbesetzt. Sofern besetzt, überschreibt STYP -100 diese Debug-Parameter.

I-Steuertyp -1003 liest in der Folgezeile einen Integer-Wert (1 oder 2), gefolgt von einem String. Der String beinhaltet die Voreinstellung für die ersten Zeichen des Dateinamens der Ausgabedateien (siehe STYP -102 der Steuerdatei STEUERW). Ist Steuertyp -1003 nicht besetzt, so ist ZZ voreingestellt. Bedeutung des Integer-Werts: 1=Normalfall, STYP -102 der Ausgabedatei überschreibt die Voreinstellung. 2= Ausnahmefall, Voreinstellung von Steuertyp -1003 überschreibt die ersten Zeichen des Dateinamens von STYP -102. (Dies ist der einzige Fall, bei dem ein I-Steuertyp einen STYP überschreiben kann.)

I-Steuertyp -1005 liest in der Folgezeile 2 Integer-Werte gemäß STYP -211 ein. Beispiel: 18,-9 (Parametersatz Planck18, automatische Berechnung der Strahlungsdichte via Stefan-Boltzmann-Konstante). Dieses Zahlenpaar wird als Voreinstellung verwendet, wenn STYP -211 in der Steuerdatei STEUERW nicht besetzt ist. Ist I-Steuertyp -1005 nicht besetzt, gilt die Voreinstellung 18,-9 (Planck18).

I-Steuertyp -1010 liest in der Folgezeile den Namen jenes Verzeichnisses ein, in dem Plotter-Datendateien abgespeichert werden sollen. Dem Namen des Verzeichnisses muss eine 1, gefolgt von einem Komma, vorangestellt sein, z.B. 1,\WZEICHNUNGEN\. Ist der Steuertyp nicht vorhanden, erfolgt die Ausgabe ins Ausgabeverzeichnis, sofern nicht durch STYP -106 als Teil des Dateinamens ein alternativer Verzeichnisname vereinbart wird. Ein eventueller Verzeichnisname in STYP -106 überschreibt den Verzeichnisnamen von I-Steuertyp -1010.

I-Steuertyp -1015 liest in der Folgezeile den Namen des Ausgabe-Verzeichnisses ein. Dem Namen des Verzeichnisses muss eine 1, gefolgt von einem Komma, vorangestellt sein. Möchte man die Ausgabedateien im Hauptverzeichnis abspeichern, so ist 1,\(1, Komma, Punkt, Backslash) die korrekte Folgezeile. Ist I-Steuertyp nicht besetzt, so ist das Unterverzeichnis AUSGABE des Hauptverzeichnisses das Ausgabeverzeichnis.

I-Steuertyp -1018 liest in der Folgezeile 5 Deltaschranken ein: LHDELTA (Lichtkegel-Hubleradius in DELTA-Datei), EHDELTA (Ereignishorizont-Hubleradius in DELTA-Datei), LEDELTA (Lichtkegel-Ereignishorizont, Variable 56 in Plotter-Datendatei), XYDELTA (noch nicht definiert) und YZDELTA (noch nicht definiert), die darüber entscheiden, ob eine Deltavariabla auf NULL gesetzt

wird. Zum Beispiel wird die Delta-Variable Lichtkegel minus Hubbleradius auf NULL gesetzt, wenn mit Wert1=Lichtkegel und Wert2=Hubbleradius  $((\text{Wert1}-\text{Wert2}) / \max(\text{Wert1}, \text{Wert2})) < \text{LHDELTA}$  gilt. Alle Schranken sind mit  $5 \cdot 10^{-15}$  voreingestellt. Möchte man eine Schranke außer Kraft setzen, kann man eine -1 für diese Schranke eingeben.

I-Steuertyp -1020 liest in der Folgezeile eine Zahl ein, die als Platzhalter -31 (derzeit) nur in der Folgezeile von STYP 211 abgerufen werden kann. Insbesondere für das Plotten wird häufig durch eine .BAT-Befehlsdatei eine Reihe von WELTTABELLEN-Steuerdateien abgerufen. Diese Reihe kann durch Setzen in I-Steuertyp -1020 gesamthaft einmal in Form mitbewegter und einmal in Form physikalischer Daten abgerufen werden. Das so erläuterte Verfahren kann man aber als inzwischen überholt betrachten. Der Platzhalter -31 wird in der aktuellen Version von WELTTABELLEN üblicherweise durch den Konsolbefehl m31 gesetzt – siehe Kap. 8.15 und Kap. 5.8.

I-Steuertyp -1030 liest in der Folgezeile drei Delta-Zahlen AZMIN, ALMIN und OM\_R\_min ein. Die ersten beiden sind mit 5.D-13 vorbesetzt. Ist ein z-Wert (Rotverschiebung) kleiner als AZMIN, so wird dieser auf NULL gesetzt. Ist ein Lookback-Wert kleiner als ALMIN, so wird dieser auf NULL gesetzt. Will man das Kriterium ausschalten, so kann man einen oder beide Werte auf eine sehr kleine Größe (z.B. 1.D-100) setzen. Beide Werte wirken nur auf den Ausdruck, nicht auf die interne Berechnung. Ist OM\_R\_min = -9, so gibt es keine untere positive Schranke für vom Benutzer gesetztes OMEGA\_R. Andernfalls muss OM\_R\_min mit dem Wert von DELTArho von ITYP -1230 übereinstimmen. Im Fall von -9 oder Nichtübereinstimmung sind minimale Inkonsistenzen zwischen rho-Werten und den Dichte-Äquivalenzen von Aufgabe 2 nicht auszuschließen. OM\_R\_min ist mit 5.D-7 vorbesetzt.

I-Steuertyp -1060 liest folgende Parameter ein: MAXUNTEN(I), MAXOBEN(I), EPSABS(D), EPSREL(D), MAXFEHLINTEG(I), MAXREP(I), AENDANZ(I), AENDVAR(I), die vom Autor folgendermaßen vorgeben werden:

1,1,1.D-50,1.D-13,1,10,10,0.

1) MAXUNTEN (I): Abruf von Werten unterhalb der unteren zulässigen Grenze wird MAXUNTEN-mal ignoriert. V: -9, entspricht 1

2) MAXOBEN (I): Abruf von Werten oberhalb der oberen zulässigen Grenze wird MAXOBEN-mal ignoriert. V: -9, entspricht 1

3-5) Die nächsten 3 Werte betreffen das SLATEC-Programm DQAGS zur numerischen Integration. EPSABS (D): absolute Genauigkeit, **EPSREL(D): relative Genauigkeit**, MAXFEHLINTEG: Die ersten MAXFEHLINTEG abgefangenen Fehler werden kurz gedumt. Parameter EPSREL kann in den üblichen Steuerdateien noch mittels STYP -104 überschrieben werden.

6) MAXREP(I): Max. Anzahl Reparaturen NULLST: Werden der Funktion NULLST zur Nullstellenberechnung ungeeignete Anfangswerte vorgegeben, so wird versucht, neue Anfangswerte bereitzustellen – sollte mindestens 1 sein.

7) AENDANZ(I): Tritt ein Fehler in der Funktion AZUT (Abbildung von t nach a) auf, so wird AENDANZ-mal versucht, diesen zu reparieren.

8) AENDVAR(I): 1=Nach erfolgreicher höchstens AENDANZ-facher Korrektur werden alle Werte von ITYP=-1070 in ITERATIONENW auf die ursprünglichen Werte zurückgesetzt. 0=Korrekturen bleiben erhalten.

I-Steuertyp -1070: Es folgt zur Berechnung von a bei gegebenem t dem Steuertyp -1070 eine Zeile mit 3 (D)-Werten und einem I-Wert: TDELTA, LINKSMULTIPLIKATOR, RECHTSMULTIPLIKATOR, TMAXITER (z.B. 1.D-13, 0.5, 2, 100). TDELTA markiert die Genauigkeit. Auf ein gültiges a zu gegebenem t wird erkannt, falls  $\text{trechts} - \text{tlinks} < \text{TDELTA} * \max(\text{trechts}, \text{tlinks})$ . Die Intervallgrenzen in a der Datei vom Typ T\_NACH\_A.TXT werden links mit LINKSMULTIPLIKATOR und rechts mit RECHTSMULTIPLIKATOR multipliziert. TMAXITER (I) ist die maximale Anzahl der Iterationsschritte beim logarithmischen Suchen.

Die übrigen Parameter sind in der mitgelieferten Datei ITERATIONENW inline erläutert. Zeilen, die anstelle eines Steuertyps die Zahl -8888 enthalten, werden überlesen. Hinter einem einer Zahl folgenden Komma können Kommentare angebracht werden.

Die Datei wird vom absolut kleinsten zum absolut größten I-Steuertyp durchlaufen. Anders als bei STEUERW erfolgt ein REWIND der Datei, falls ein absolut kleinerer später als ein größerer Steuertyp abgerufen wird.

Anders als in den Steuertypen in STEUERW wird davon ausgegangen, dass alle I-Steertypen > 1050 in ITERATIONENW vorhanden sind. Das Nichtvorhandensein wird gemeldet. WELTTABELLEN läuft trotzdem mit voreingestellten Werten weiter.

### 5.7 Datei GRENZENW

Die Datei GRENZENW.TXT enthält eine Reihe von Zeilen mit je einem positiven (D)-Wert, die in aufsteigender Reihenfolge die Grenzen von Intervallen in a (Skalenfaktor) zur numerischen Integration der relevanten kosmologischen Funktionen umschreiben.

Folgt einer Zeile eine -7, so ist der in der Vorzeile aufgeführte Wert die untere Grenze von a, die von Benutzern verwendet werden kann. Vor diesem Wert aufgeführte Intervalle werden nur zur Integration von Funktionen verwendet, die bei NULL beginnen (Zeit, Partikelhorizont).

Folgt einer Zeile eine -8, so ist der in der Vorzeile aufgeführte Wert die obere Grenze von a, die von Benutzern verwendet werden kann. Nach diesem Wert aufgeführte Intervalle werden nur zur Integration von Funktionen verwendet, die bis UNENDLICH verlaufen (Ereignishorizont).

Eine -9 beendet die Eingabe von Werten.

Es wird geraten, eine der ausgelieferten Dateien zu verwenden.

Zwei Varianten der Datei GRENZENW.TXT sind vorbereitet.

	Minimum	vor -7	vor -8	vor -9
GENZENW0	1.D-29	1.D-16	1.D30	1.D48
GENZENW1	1.D-47	1.D-33	1.D30	1.D48

Die Grenzen werden um 10er-Potenzen hochgeschraubt, nur die Grenzen in GRENZENW1 vor -7 um 100er-Potenzen.

Die Datei GRENZENW0 hat sich seit Jahren bewährt. An Anfang jeder WELTTABELLEN-Sitzung wird die Datei GRENZENW0.TXT durch Aufruf des Befehls „Grenz 0“ in wt.bat auf GRENZENW.TXT kopiert.

Sollen extreme NEUHEUTE-Steuerdateien vorbereitet werden (siehe Kap. 5.14.3), so kann der Benutzer vor der eventuellen Ausführung der Steuerdatei aM bzw. vor Eingabe des Befehls DNH zur Ausführung der extremen NEUHEUTE-Steuerdatei auf der Konsole den Befehl „Grenz 1“ ausführen, durch den GRENZENW1.TXT auf GRENZENW.TXT kopiert wird.

Sollen keine extremen Steuerdateien mehr ausgeführt werden, sollte der Benutzer an der Konsole den Befehl „Grenz 0“ eingeben, um zum Standardverfahren zurückzukehren. Es ist übrigens eine reine (eventuell übervorsichtige) Vorsichtsmaßnahme, zur lang bewährten Standarddatei GRENZENW0 zurückzukehren. Alle anderen Steuerdateien funktionieren (bei minimal längerer Laufzeit) ebenso auf Basis von GRENZENW1.

### 5.8 Datei MINUS31, Konsolbefehle *m31* und *m211*

Bitte zuvor Kap. 5.1 Steuertyp -211 lesen! Eine weitere Darstellung ist in Kap. 8.15 verfügbar.

MINUS31.TXT wird nur bei Aufgabenstellung 1 (siehe Steuertyp -105 in Kap. 5.1) ausgewertet. (Ist Steuertyp -105 in einer Steuerdatei nicht vorhanden, so verweist die Steuerdatei als Voreinstellung auf Aufgabe 1.)

Die optionale Datei MINUS31 (MINUS31.TXT) enthält 2 Sätze. Der erste Satz ist entweder -31 oder -211, der zweite enthält einen der Werte 0, 1 oder 101. (Zusätzlich gibt es noch den Fall, dass beide Sätze mit NULL besetzt sind. In diesem Fall ist die Datei wirkungslos.)

**Fall 1 - Erster Satz -31:** Erscheint in der Steuerdatei STEUERW der Steuertyp -211 und ist in der Folgezeile eine -31 (Platzhalter -31) vorhanden, so überschreibt der zweite Satz den voreingestellten Platzhalterwert.

Diese Voreinstellung erfolgt über ITYP -1020 der Datei ITERATIONENW (siehe Kap 5.6). Falls ITYP 1020 dort nicht vorhanden ist, ist die Voreinstellung: 1.

**Fall 2 - Erster Satz -221:** Der zweite Satz überschreibt den Folgesatz von Steuertyp -211, wie immer dieser dort vereinbart ist.

Zusätzlich gibt es noch Konsolbefehle *m31* (in Datei M31.bat) und *m211* (in Datei M211.bat), über den die 3 Werte 0, 1 oder 101 von der Konsole abgerufen werden können, also *m31 0*, *m31 1* oder *m31 101* oder *m211 0*, *m211 1* oder *m211 101*. Will man z.B. eine Steuerdatei xyz, in der dem Steuertyp -211 eine -31 folgt, für alle 3 Varianten ausführen, so ist dies durch folgende Befehlsfolge bei der Konsoleingabe möglich:

```
m31 0
d xyz
m31 1
w
m31 101
w
```

Analoges gilt für *m211*.

Möchte man die Datei MINUS31.TXT deaktivieren, so kann dies über die Konsolbefehle *m31 X* oder *m211 X* geschehen. Der erste Satz von M31.TXT ist dann mit 0 besetzt, was den gleichen Effekt hat, als wenn M31.TXT nicht vorhanden wäre.

Zusätzlich gibt es noch den parameterlosen Befehl MT, der die Datei MINUS31.TXT auf der Konsole ausgibt.

### 5.9 Wiedereinlesbare Daten (Plotter-Datendateien)

Plotter-Datendateien kann man keinesfalls nur zum Plotten verwenden. Es gibt eine große Anzahl von Variablen, die man überhaupt nur in diese Dateien ausgeben kann.

Die Tabellen in Plotter-Datendateien können genau wie die Standard-Ausgabedateien vom Kosmologie-interessierten Benutzer zunächst unmittelbar gelesen und interpretiert werden, Darüber hinaus sind sie jedoch auf die Weiterverarbeitung durch beliebige Anwendungen vorbereitet. Für die Anwendung nicht benötigte Informationen können durch Kommentarzeichen markiert und so von der Anwendung

überlesen werden. Die Genauigkeit der wiedereinzulesenden Daten kann den Erfordernissen der Applikation entsprechend angepasst werden.

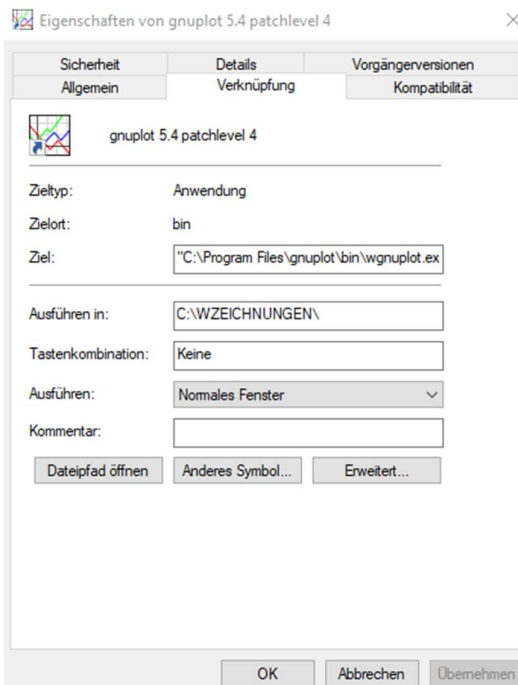
### 5.10 Verwendung von Plotter-Datendateien durch GNUPLOT

Als erste Anwendung wurde die Erstellung von Zeichnungen durch Zeichenprogramme ins Auge gefasst. Verschiedene Voreinstellungen bereiten Zeichnungen mittels GNUPLOT vor.

Eine große Anzahl kosmologischer Variablen (derzeit ca. 50) kann über den Steuertyp -107 bei Aufgabe 1 und Aufgabe 3 zusätzlich in diese Plotter-Datendatei ausgegeben werden. Die Variablen werden durch Nummern identifiziert. Die Erstellung der wiedereinslesbaren Daten ist in Kap. 5.1 beim Steuertyp -107 beschrieben. Die Formatierung der auszugebenden Werte ist nach FORTRAN-Konvention äußerst flexibel. Anstelle der Markierung durch Kommentarzeichen ist es auch möglich, von Anwendungsprogrammen nicht benötigte Informationen erst gar nicht auszugeben.

In einem Unterverzeichnis PLOTTER des Hauptverzeichnisses ist eine Reihe von WELTTABELLEN- und GNUPLOT-Dateien verfügbar, mit Hilfe derer die Zeichnungen von W. Lange [1], [11] und [12] erstellt worden sind. Diese Zeichnungen im SVG-Format wurden noch mit INKSCAPE nachbearbeitet. Eine Datei PLOTTEN-MIT-WELTTABELLEN.PDF in diesem Verzeichnis erläutert das Zusammenwirken der verschiedenen Programme. WELTTABELLEN allein liefert dabei nur kurvenbeschreibende Plotter-Datendateien, die auch von anderen Zeichenprogrammen abgerufen werden können.

Die GNUPLOT-Applikation findet man bei einer Standardinstallation und bei in C: installiertem Windows im Ordner "C:\Program Files\gnuplot\bin\wgnuplot.exe" vor. (Im deutschen Windows-Explorer muss man nach „Programme“ anstelle von „Program Files“ suchen. In der Eingabeaufforderung und in vielen Windows-Masken ist aber der englische Verzeichnisname "Program Files" erforderlich, den man wegen des Leerzeichens im Namen stets in die hochgestellten Anführungszeichen setzen muss.)



Es wird vorgeschlagen, für GNUPLOT-Eingabedateien wie auch für GNUPLOT-Ausgabedateien (SVG-Zeichnungen) den Plotter-Datendateien-Ordner C:\WZEICHNUNGEN\ zu verwenden.

Dieser Ordner ist als Plotter-Datendatei-Ordner in ITERATIONENW unter ITYP -1010 aufzuführen, siehe Kap. 5.6.

-1010  
1,C:\WZEICHNUNGEN\

Der abschließende Backslash ist explizit aufzuführen,

Die Verwendung des Laufwerksbuchstabens C: widerspricht je nach Installation in Kap. 8 eventuell der voreingestellten Laufwerkszuweisung und erfordert im Eintretensfall eine weitere Änderung in der Datei *ff.bat* im Hauptverzeichnis \WTAB (siehe auch Kap. 8.14).

Es ist anzuraten, auf dem Desktop eine Verknüpfung für *wgnuplot.exe* anzulegen. Gegebenenfalls kann man die Beschreibung des I-Steuertyps -1010 in Kap. 5.6 für

Erläuterungen heranziehen.

Abschließend klickt man die Verknüpfung auf `wgnuplot.exe` mit der rechten Maustaste an und ruft **EIGENSCHAFTEN** auf. In das Feld **AUSFÜHREN IN** gibt man `C:\WZEICHNUNGEN\` ein.

Die Ausgabe ins Verzeichnis **WZEICHNUNGEN** erfolgt nur dann, wenn mittels Steuertyp -106 ein Name für die Plotter-Datendatei vereinbart wurde. Dieser Name wird mit Extension `.TXT` stets unverändert ausgegeben. Fehlt der Steuertyp -106, so erfolgt die Ausgabe ins übliche Ausgabeverzeichnis (voreingestellt: `\WTAB\AUSGABE\`) mit der üblichen Konvention für die Namen der Ausgabedateien. Diese Konvention (Dateinamen-Erweiterungen) ist für Plotterprogramme wenig geeignet.

Den Laufwerksbuchstaben **C:** wird man explizit (wenn dieser nicht ohnehin benutzt wird) dann verwenden, wenn man **WELTTABELLEN** und **GNUPLOT** gemeinsam einsetzen möchte. Hier ist es dem Benutzer überlassen, ein übergeordnetes Konzept für die gemeinsame Verwendung beider Applikationen herzuleiten. Ein zusätzliches Zeichenprogramm wie **INKSCAPE** zur Nachbearbeitung von Zeichnungen wird im Allgemeinen zusätzlich erforderlich sein.

### 5.11 Beispiele für Plotterzeichnungen

Möchte man die Aufbereitung von Zeichnungen mittels **GNUPLOT** am Beispiel der Zeichnungen der Quellen [1], [11] und [12] übungshalber nachvollziehen, so sollte man zunächst die Dateien von `\WTAB\PLOTTER\WTGNUPLOT\Hilfsdateien` auf das durch `ITERATIONENW ITYP -1010` verwiesene Verzeichnis (voreingestellt: `\WZEICHNUNGEN\`) kopieren. In den Unterverzeichnissen von `\WTAB\PLOTTER\WTGNUPLOT\` findet man ohne Schwierigkeiten die Zeichnungen der genannten Quellen und die zugehörigen **GNUPLOT**-Load-Dateien, die jeweils mit der Zeichenfolge `DO...` beginnen. Die zu einer Zeichnung gehörigen Load-Dateien sind ebenfalls in das `ITYP -1010`-Verzeichnis zu kopieren. In Kap. 5.10 war darauf hingewiesen worden, dass man im Zusammenspiel mit **GNUPLOT** eventuell den Ordner `\WZEICHNUNGEN\` auf das Laufwerk **C:** verlegen sollte, wenn dieser Ordner nicht ohnehin dort installiert ist.

### 5.12 Bemerkungen zu Notepad

Wenn man in Windows auf eine Texthaltungsdatei doppelklickt, so wird diese mit **Notepad** geöffnet. Man muss in Windows 10 im Allgemeinen auf **MAXIMIEREN** (Quadrat oben rechts) klicken, um sich die Datei anzuschauen. Passt in Windows 11 eine Dateiausgabe nicht in das maximale Fenster, so kann man durch `ctrl -` (control minus) die Schrift verkleinern (und durch `ctrl +` wieder vergrößern).

**WELTTABELLEN** gibt seine Ergebnisse in Textdateien ohne Verwendung von Steuerzeichen aus. Experimentell wurde ermittelt, dass man mit **Notepad** auf einem Windows10-Rechner mit 15-Zoll-Bildschirm 167 Zeichen pro Zeile ausgeben kann. Der Zeilenumbruch ist in der Datei nicht eingetragen. Man kann den Inhalt der ganzen Datei ohne Zeilenumbruch kopieren.

Wie viele Zeichen pro Zeile man auf einem bestimmten Drucker ausgeben kann, ist eine von **Notepad** unabhängige Eigenschaft.

Das größte Problem beim Arbeiten mit **Notepad** in Windows 10 für **WELTTABELLEN** (z.B. Erstellen oder Korrigieren einer Steuerdatei) ist darin zu sehen, dass man eine Datei mehrfach öffnen kann. Man weiß eventuell nach einer gewissen Zeit nicht mehr, welche Datei man korrigiert hatte, und speichert eine falsche Variante ab. Wenn man eine Datei korrigiert hatte und beim nächsten **WELTTABELLEN**-Durchlauf das gleiche Ergebnis erhält, ist wahrscheinlich, dass man vergessen hatte, die Korrekturen zu speichern.

In Windows 11 treten verschiedene Windows 10-Probleme nicht mehr auf, allerdings ist die Verwendung gewöhnungsbedürftig. Die weitere Darstellung orientiert sich an „neu geöffneten Registerkarten“ (und nicht an „neu geöffneten Fenstern“). (Hinweis: Man kann eine Registerkarte rechts

oben anfassen und nach rechts ziehen. Dadurch wird die Registerkarte in einem eigenen Fenster geöffnet.)

Man findet oben rechts das Einstellungszahnrad. Für die Korrektur von Steuerdateien schlagen wir folgende Einstellungen vor: Zeilenumbruch AUS, Formatierung AUS, Dateien öffnen: in neuer Registerkarte öffnen, zuletzt verwendete Dateien: EIN. Wichtig: Überprüft die Rechtschreibung: AUS, Autokorrektur: AUS, Copilot: AUS. Hat man eine Datei korrigiert, muss man die Korrektur abspeichern (rechte Maustaste-Speichern oder CTRL-S). Man kann eine große Anzahl Dateien gleichzeitig offenhalten. Will man eine Datei zum Verschwinden bringen, muss man die Registerkarte schließen (rechte Maustaste-Registerkarte schließen oder CTRL-W). Schließen von Notepad lässt die offenen Dateien nicht verschwinden, sie sind vielmehr beim nächsten Öffnen wieder da. Durch wiederholtes ctrl-W bringt man überzählige offene Dateien aber leicht zum Verschwinden.

Nach anfänglichen Zweifeln haben sich die neuen Eigenschaften letztendlich (nach vielem Üben) als positiv erwiesen, wobei der Autor auch den Quelltext des Fortran-Programms mit Notepad korrigiert hat. Auch das Zusammenspiel von ctrl-z und ctrl-y funktioniert in Windows 11. Häufigster Fehler ist es, das Abspeichern zu vergessen. Die in Korrektur befindlichen Dateien können parallel von anderen Programmen in der Version des letzten Abspeicherns verwendet werden. Nach dem Abspeichern bleibt der Dateiinhalt als Registerkarte weiter sichtbar und kann weiter bearbeitet werden, und zwar unabhängig davon, was gerade mit der gespeicherten Datei geschieht.

Man kann jetzt aber glücklicherweise eine Datei nur noch einmal öffnen. Wenn man das so sehen will, ist diese Datei jetzt aber zweimal vorhanden, einmal als Registerkarte und einmal als externe Datei. Im Augenblick des Speicherns werden beide Versionen identisch.

Zusätzliche Probleme können dann auftreten, wenn der Benutzer Notepad auch für andere Zwecke verwenden möchte, für die Rechtschreibung und Autokorrektur nützlich wären.

### 5.13 Übernahme von Aufgabe-2-Ergebnissen in Aufgabe 1, Programm a2print

Bestimmte Ergebnisse von Aufgabe 2 können direkt in Aufgabe 1 verwendet werden. Die Ergebnisse des letzten Laufs von Aufgabe 2 werden in eine Datei UEBERTRAG2.DAT binär übertragen.

Zusätzlich existiert ein Programm a2print (Eingabe *a2print* auf der Konsole), mit dem die übertragenen Werte ausgedruckt werden können. Hier ein Beispiel für einen solchen Ausdruck:

```

1      0.1090000000000000E+04 Rotverschiebung HEUTE
2      0.2725500000000000E+01 Temperatur K CMB HEUTE
3      0.6740000000000001E+02 Hubble-Parameter HEUTE in km/MPC/sec
4      0.3150000000000000E+00 OMEGA_M
5     -0.9000000000000000E+01 OMEGA_R
6      0.2000000000000000E+01 Scheitel (Skalenfaktor)
7      0.9165902841429881E-03 Bezugszeitpunkt Partikelhorizont aMIN bzw.
      Wandelvariable 22 (Skalenfaktor)
8 -58  0.3971313141818769E+00 Schnittpunkt Ereignishorizont-Partikelhorizont
      (Skalenfaktor)
9 -59  0.2940366274838938E+00 Schnittpunkt Lichtkegel-Partikelhorizont (Skalenfaktor)
10 -60  0.5849181526718050E+00 Schnittpunkt Lichtkegel-Hubblerradius (Skalenfaktor)
11 -61  0.6128499921842745E+00 Uebergang von verlangsamer zu beschleunigter Expansion
      (Skalenfaktor)
12 -62  0.123777006819659E+01 Wendepunkt des mitbewegten Hubblerradius (Skalenfaktor)
13 -63  0.2923684263147733E-03 Exakte Aequivalenz Strahlungsdichte - Materiedichte
      (Skalenfaktor)
14 -64  0.7718971875812315E+00 Exakte Aequivalenz Materiedichte - Dunkle-Energie-
      Dichte (Skalenfaktor)
15      1 Eingabetyp.
```

Vorn in jeder Zeile findet man die Satznummer in UEBERTRAG2.DAT. An zweiter Stelle werden die Wandelvariablen -58 bis -64 erwähnt, die in Aufgabe 1 abgerufen werden können. Der Abruf kann nur erfolgen, wenn die Größen mit den Satznummern 2-7 zu denen in Aufgabe 1 verträglich sind.

Ist STYP -300 im Folgesatz auf 0 (oder -9) gesetzt (Standard), so wird ein AUFGABE-1-Lauf beim Abruf einer der Wandelvariablen abgebrochen, falls einer der Werte in den Sätzen 2-5 (vorheriger Aufgabe-2-Lauf) von den Werten des neuen Aufgabe-1-Laufs verschieden ist. Beim Abruf einer der Wandelvariablen -59 und -60 wird zusätzlich abgebrochen, wenn die Scheitelpunkte verschieden sind. Ist STYP -300 auf 1 gesetzt, erfolgen nur Warnungen, die auf der Konsole ausgegeben werden. Im Fall eines auf 2 gesetzten Wertes von STYP -300 werden die Warnungen zusätzlich in die Hauptausgabedatei geschrieben.

#### 5.14 NEUHEUTE-Methodik, Befehl DNH

In Kap. 1.3.2 ist beschrieben, über welche größten Eingabekonstrukte die 3 Aufgaben von WELTTABELLEN gesteuert werden.

Aufgaben 1 und 2: Parametersatz und Scheitel des Lichtkegels

Aufgabe 3: Parametersatz und Abstand zur Galaxie

Mit der NEUHEUTE-Methodik wird dem Benutzer eine Möglichkeit verfügbar gemacht, die an sich für den Entwickler bestimmt war. Mittels eines Modells mit einem bestehenden Parametersatz (ALTHEUTE- $\Lambda$ CDM-Parametersatz) kann ein Modell mit einem neuen Parametersatz (NEUHEUTE- $\Lambda$ CDM -Parametersatz) bereitgestellt werden.

Es war aber nie geplant, hier ein neues Fass von Transformationen von ALT nach NEU aufzumachen. Während der neue Parametersatz selbst flexibel in Zeit, Skalenfaktor oder Rotverschiebung des alten Parametersatzes definiert werden kann, können andere Größen nur über die Zeit seit dem Urknall und über physikalische Abstände übergeben werden. HEUTE im neuen Modell ist (wie im alten) dort, wo  $a=1$  ist. HEUTE wird über den Parametersatz bestimmt. Im neuen Modell wird der mitbewegte Abstand wieder bei  $a=1$  definiert. Erinnerung sei daran, dass der Lichtkegelscheitel nicht Teil des Parametersatzes ist.

Ist die Zeit seit dem Urknall für bestimmte Übergabegrößen nicht bekannt, so müssen diese über einen Vorlauf mit einer anderen Steuerdatei ermittelt werden. Die in Dezimalstellen genauesten Daten für die Zeitwerte von HEUTE und den Lichtkegelscheitel liefert im Normalfall Aufgabe 2. Auch der Kopf von Aufgabe 1 wird mit erhöhter Genauigkeit geliefert, wenn  $\Omega_M < 0.25$  wird oder wenn  $\Omega_M$  über mehr als 5 von NULL verschiedene Ziffern verfügt. Auch in Aufgabe 3 wurde die Genauigkeit bei der Ausgabe von Ergebnissen erhöht. Insbesondere wurden auch physikalische Abstände, die bisher nur Tabellen entnehmbar waren, zusätzlich ausgliedert und mit hoher Genauigkeit publiziert.

##### 5.14.1 Methodik

**VORAUSEILENDE BEMERKUNG: Durch die Verlagerung von  $a=1$  auf einen neuen Zeitpunkt ändert sich auch die Zeit nach dem Urknall, bei der der mitbewegte Abstand gemessen wird. Der physikalische Abstand als Produkt von mitbewegtem Abstand und Skalenfaktor bleibt gleich.**

**ALTERNATIVE FORMLIERUNG: Da in der NEUHEUTE-Variante Skalenfaktor  $a$  und mitbewegter Abstand von der ALTHEUTE-Variante verschieden sind, können in ALTHEUTE- und NEUHEUTE Ergebnissen nur die Zeit  $t$  und der physikalische Abstand verglichen werden.**

Ab WELTTABELLEN-Version 3.2 wird dem Benutzer eine Eigenschaft zugänglich gemacht, die ursprünglich nur für den Entwickler bestimmt war. Kosmologische Lehrbücher verschiedener Autoren sind inhaltlich inkonsistent formuliert und behandeln in der Regel nur Eigenschaften für den Skalenfaktor bei  $a=1$  (HEUTE). Da WELTTABELLEN jedoch Lichtkegel für beliebige Scheitelpunkte

betrachtet, ist es äußerst schwierig, für bestimmte Funktionen korrekte Formeln für einen von HEUTE verschiedenen Scheitelpunkt in der Literatur aufzufinden. Vielmehr musste Der Autor bisweilen selbst Formeln für solche Funktionen herleiten, und mangels Literatur musste nach Möglichkeiten gesucht werden, die Korrektheit solcher Formeln zu überprüfen.

Für das Überprüfungsverfahren wurde folgende Regel getroffen: HEUTE ist dort, wo  $a=1$  ist. Dort wird auch der mitbewegte Abstand gemessen. Für HEUTE kann jetzt eine beliebige Zeit vereinbart werden, z.B. 50 Mrd. Jahre nach dem Urknall. Der Standardfall des heutigen HEUTE (bei Planck18; 13.7908112025 Mrd. Jahre nach dem Urknall) wird als ALTHEUTE, jeder alternative  $a=1$ -Zeitpunkt als NEUHEUTE bezeichnet. Möchte man z.B. überprüfen, ob eine als korrekt vermutete Formel (z.B. für die Leuchtkraftdistanz) für einen Scheitelpunkt bei 50 Mrd. Jahren nach dem Urknall wirklich korrekt ist, so kann man die ermittelten Werte mit denen für den Lichtkegel mit Scheitelpunkt bei NEUHEUTE  $a=1$  bei 50 Mrd. Jahren nach dem Urknall überprüfen, sofern man die Formel (z.B. Leuchtkraftdistanz) für  $a=1$  aus der Literatur kennt. Selbstverständlich müssen alle Parameter des Parametersatzes (z.B. Planck18, jetzt für den neuen Zeitpunkt) korrekt ermittelt werden, so dass man für die NEUHEUTE-Variante (des  $\Lambda$ CDM-Modells) die Bezeichnung für den gleichen Parametersatz (z.B. auch Planck18) verwenden kann.

Übergeben an die NEUHEUTE-Variante wird kein Zeitpunkt oder Skalenfaktor, sondern genau wie üblicherweise  $H_0$  und  $\Omega_M$  (für z.B. 50 Mrd. Jahre nach dem Urknall), außerdem die NEUHEUTE-CMB-Temperatur und ZCMB als Rotverschiebung NEUHEUTE für den CMB (kosmischen Mikrowellenhintergrund). ZCMB geht in keine Berechnungen ein, man sollte diesen Wert allerdings für jedes seiner Modelle kennen.  $\Omega_R$  wird aus der NEUHEUTE-CMB-Temperatur berechnet. Alternativ kann man auch  $\Omega_R$  übergeben, in diesem Fall wird die NEUHEUTE-CMB-Temperatur aus  $\Omega_R$  abgeleitet.

Alle zugehörigen Parametersatzwerte wurden mittels Wikipedia-Quelle [14] berechnet, an der der Autor mitgewirkt hat. Der Autor wird die fortbestehende Korrektheit dieser Quelle überwachen und im absoluten Notfall die letzte korrekte Version des Artikels auf der WELTTABELLEN-Internet-Seite veröffentlichen.

Mit Hilfe des Steuertyps -960 in der Steuerdatei für die ALTHEUTE-Variante kann die Leistung dieser Steuerdatei auf die zugeordnete NEUHEUTE-Variante übertragen werden. Es wird durch diesen Steuertyp eine neue Steuerdatei STEUERWNH für die zugeordnete NEUHEUTE-Variante erzeugt, die im Anschluss durch einen Konsolbefehl **DNH** abgerufen werden kann. Durch den Steuertyp -960 werden ausschließlich die Parameter des kosmologischen Parametersatzes (z.B. Planck18) übertragen. Was in dieser Steuerdatei abgerufen wird, ist für den Übertragungsprozess irrelevant. Es ist ratsam, sich beim Studium der Ergebnisse der neuen Steuerdatei zunächst an der Zeit nach dem Urknall zu orientieren, da Skalenfaktor  $a$  (und damit auch die Rotverschiebung  $z$ ) neu dimensioniert worden sind. Steuertyp -960 kann in Steuerdateien für alle Aufgaben 1-3 Anwendung finden. Steuertyp -960 ersetzt die Information über den Parametersatz (im Allgemeinen STYP -111) in der Steuerdatei der ALTHEUTE-Variante durch einen Aufruf von STYP -112 in der NEUHEUTE-Variante der neu erzeugten Steuerdatei STEUERWNH.TXT.

Der Steuertyp -960 hat 2 Folgezeilen, wobei die zweite Folgezeile im Allgemeinen nur aus einem Minuszeichen (-) besteht. Die erste Folgezeile hat folgenden Aufbau:

**EINGABETYP (Integer), AZT (Double Precision), ToderR (Integer),**

wobei ToderR im Allgemeinen auf 1 gesetzt ist.

Der EINGABETYP hat die gleiche Bedeutung wie an einigen anderen Stellen in einer WELTTABELEN-Steuerdatei.

EINGABETYP=1: AZT ist ein Skalenfaktor (a) in der ALTHEUTE-Variante  
 EINGABETYP=2: AZT ist eine Rotverschiebung (z) bei ALTHEUTE  $a=1$   
 EINGABETYP=3: AZT ist eine Zeitangabe (t) in Mrd. Jahren nach dem Urknall  
 EINGABETYP=33: AZT ist eine Zeitangabe in einem Vielfachen von ALTHEUTE-HEUTE

Soll die NEUHEUTE-Variante bei NEUHEUTE  $a=1$  (wie des Öfteren als Beispiel erwähnt) mit einer Zeit von 50 Mrd. Jahren nach dem Urknall verbunden werden, so hätte der Steuertyp -960 in der ALTHEUTE-Steuerdatei den folgenden Aufbau:

```
-960
3,50,1
-      ; Minuszeichen
```

Eingabetyp 1 bewirkt, dass  $a=1$  in der NEUHEUTE-Variante dort gelegen ist, wo das übergebene AZT die Rolle eines Skalenfaktors ALTHEUTE-a einnimmt.

Eingabetyp 2 bewirkt, dass  $ALTHEUTE-z^*=(1/ALTHEUTE-a \text{ minus } 1)$  auf den  $a=1$ -Skalenfaktor in der NEUHEUTE-Variante verweist.

Eingabetyp 3 legt fest, dass NEUHEUTE  $a=1$  beim übergebenen Zeitpunkt in Mrd. Jahren nach dem Urknall gelegen ist.

Eingabetyp 33 legt fest, dass NEUHEUTE  $a=1$  bei  $AZT * ALTHEUTE HEUTE$  gelegen ist.

ToderR=1 (Standardfall) bewirkt, dass die Strahlungsdichte  $sd$  als -9 (automatische Berechnung) an STYP -112 in STEUERNH.txt weitergegeben wird. Zweiter und dritter Wert der ersten Folgezeile von STYP -112 sind  $\Omega_M$  NEUHEUTE und  $H_0$  NEUHEUTE. Die Temperatur CMB NEUHEUTE und die Rotverschiebung ZCMB NEUHEUTE werden über STYP -113 übergeben.  $\Omega_R$  NEUHEUTE wird über die Temperatur CMB NEUHEUTE berechnet.

Ist ToderR=2 (Ausnahmefall, falls ToderR=1 einmal versagen sollte), so wird an erster Position der ersten Folgezeile  $\Omega_R$  NEUHEUTE und nicht -9 übergeben. Die Temperatur CMB NEUHEUTE wird dann aus  $\Omega_R$  NEUHEUTE berechnet. Eine mitübergebenes Temperatur CMB NEUHEUTE wird durch die berechnete überschrieben,  $\Omega_R$  NEUHEUTE und die Temperatur CMB NEUHEUTE bleiben so immer konsistent.

Ist die zweite Folgezeile von Steuertyp -960 in der ALTHEUTE-Steuerdatei ein Minuszeichen, so wird eine Kurzform des Parametersatznamens (z.B. Planck18) an die zweite Zeile von STYP -112 übergeben. So wird erreicht, dass auch in der NEUHEUTE-Variante der Parametersatzname der ALTHEUTE-Variante verwendet wird. Außerdem wird auf die T\_NACH\_A-Datei der ALTHEUTE-Variante zurückgegriffen, was allerdings nicht zwingend heißt, dass die Zuweisung von t auf a in der NEUHEUTE-Variante auch ohne Schwierigkeiten funktioniert. Oft werden Fehlermeldungen auftreten, die WELTTABELLEN selbst reparieren kann.

Ist die zweite Folgezeile von Steuertyp -960 in der ALTHEUTE-Steuerdatei ein Name, so wird dieser an die zweite Folgezeile von STYP -112 in der NEUHEUTE-Steuerdatei weitergegeben. Treten Schwierigkeiten mit der parametersatzunabhängigen T\_NACH\_A-Datei auf, so kann erwogen werden, nach dem Vorbild von Kap. 5.5 eine eigenständige T\_NACH\_A-Datei für die STEUERWNH-Steuerdatei bereitzustellen. (In diesem Fall sollte die STEUERWNH-Datei gesichert werden.) Sollte sich ein Benutzer tatsächlich intensiv mit derartigen Fragen befassen, so kann er sich an den Entwickler wenden. Es erscheint uns nicht zweckmäßig, detaillierte Vorgehensweisen im Detail auszuarbeiten, die vermutlich nie jemand verwenden wird.

Ist in der ALTHEUTE-Variante  $\Omega_R=0$ , so erscheint in der NEUHEUTE-Steuerdatei (auch wenn ToderR=1) auf der  $\Omega_R$ -Position eine NULL (anstelle einer -9), und die Temperatur CMB NEUHEUTE wird auf NULL gesetzt. ZCMD wird wie im Fall  $\Omega_R \neq 0$  umgesetzt, und WELTTABELLEN denkt nicht darüber nach, ob der ZCMD-Wert der ALTHEUTE-Variante sinnvoll ist. Diese Frage soll der Benutzer selbst beantworten und verantworten. (Wenig sinnvoll ist, ZCMB in der ALTHEUTE-Variante mit NULL zu besetzen, da dieser Wert auf ALTHEUTE HEUTE verweist.) Wird bei STYP -111 sd (zweite

Position der Folgezeile) mit *NULL* (oder auch anders) besetzt, so wird das für den Parametersatz typische ZCMB nicht verändert. Ist kein natürliches ZCMB vorgegeben, so ist ZCMB auf 1090 (in der ALTHEUTE-Variante) voreingestellt.

Weiterer Hinweis: Nur auf den Lichtkegel bezogen können einige Leistungen des Steuertyps -960 bereits durch die Plotter-Datendatei Variablen 15 und 16 im ALTHEUTE-Modell erbracht werden – siehe Kap. 3.10.

#### 5.14.2 Vorbereitete ALTHEUTE-Steuerdateien mit NEUHEUTE-Steuertyp

Der Steuertyp -960 wird auch als NEUHEUTE Steuertyp bezeichnet.

Hinweis 1: Wandelvariable -22 verweist, sofern nicht verändert, immer korrekt auf den Zeitpunkt der der Mikrowellen-Hintergrundstrahlung CMB bzw. das zugehörige scheinbar abhängige  $a$  oder  $z$ . Wandelvariable -14 verweist immer auf den Zeitpunkt HEUTE, also dorthin, wo  $a=1$  ist.

Hinweis 2: Man sollte in Steuerdateien mit NEUHEUTE Steuertyp keine Wandelvariablen über  $a$  oder  $z$  definieren, da diese in der ALTHEUTE- und der zugeordneten NEUHEUTE-Steuerdatei auf verschiedene  $t$  verweisen. Auch Eingaben vom Typ  $x*HEUTE$  (Eingabetyp 33) führen zu unterschiedlichen Zuweisungen, da HEUTE in ALTHEUTE- und NEUHEUTE-Steuerdateien auf unterschiedliche Zeitpunkte verweist.

Hinweis 3: Es sei an die ALTERNATIVE FORMULIERUNG am Anfang von Kap. 0 erinnert!

#### Erstes Beispiel für Aufgabe 1

1tLkd	1	Planck18. Scheitel des Lichtkegels 50 Jahre nach dem Urknall. Gibt in die Plotter-Datendatei die Leuchtkraftdistanz sowie den physikalischen und mitbewegten Abstand zum Lichtkegel aus. Erster Ausgabezeitpunkt ist bei $a=1$ , danach folgen aufsteigende Zeitangaben. Am Ende der Datei Steuertyp-960 für Scheitel bei $t=50$ Mrd. Jahre nach dem Urknall.	P
DNH	1	Planck18-Steuersatz für Parameter mit $a=1$ für Zeit 50 Mrd. Jahre nach dem Urknall. Inhaltlich werden die gleichen Größen ausgegeben.	P

Vergleich: Man kann sich zunächst die beiden Hauptausgabedateien anschauen. Da physikalische Koordinaten ausgegeben werden, sind die Reihen für Hubblesphäre, Ereignishorizont, Lichtkegel und Partikelhorizont in beiden Ausgabedateien für gleiche  $t$  gleich. Auch der Hubbelparameter ist für gleiche  $t$  in beiden Dateien gleich. Nur  $a$  und  $z$  sind unterschiedlich. (Überall muss der erste Wert jeder Reihe ausgenommen werden, da dort die Ergebniswerte für  $a=1$  aufgeführt sind.)

Die Werte von  $a$  und  $z$  für gleiche  $t$  sind in beiden Plotter-Datendateien verschieden. Aber die Leuchtkraftdistanz ist in beiden Plotter-Ausgabedateien für gleiche  $t$  gleich. Wir betrachten damit als erhärtet, dass unsere Formel für die Leuchtkraftdistanz (siehe Kap. 5.1, Steuertyp -107, Variable 17) korrekt ist. Die Formel für den Scheitel bei  $a=1$  (jetzt in der NEUHEUTE-Variante, Scheitel bei 50 Mrd. Jahren nach dem Urknall, selbstverständlich muss bei Betrachtung der Formel  $a_S^2=1$  beim Scheitel  $a_S=1$  berücksichtigt werden) ist uns aus der Literatur bekannt, also ist die Berechnung in der DNH-Ausgabedatei korrekt. Und die Ergebnisse in der ALTHEUTE-Variante (HEUTE bei 13.79068680852008 Mrd. Jahren, Lichtkegelscheitel bei 50. Mrd. Jahren) sind gleich. (Natürlich ist das noch kein mathematischer Beweis, aber ein wohl untrüglicher Hinweis auf die Korrektheit der Formel.)

Für gleiche  $t$  ist auch die physikalische Entfernung zum Lichtkegel gleich, was wir bereits von der Hauptausgabedatei wissen. Die mitbewegte Entfernung (physikalische Entfernung bei  $a=1$ ) ist selbstverständlich verschieden ( $a=1$  bei 13.79068680852008 Mrd. Jahren und  $a=1$  bei 50 Mrd. Jahren).

Das Produkt aus mitbewegter Entfernung und Skalenfaktor (=physikalische Entfernung) ist in beiden Fällen gleich.

Über Steuertyp -114 wird die anteilmäßige Planck18-Aufteilung in baryonische und dunkle Materie ( $\Omega_b$  und  $\Omega_c$ ) nachvollzogen. Wer meint, dass sich diese Aufteilung bis 50 Mrd. Jahre nach dem Urknall ändert, sollte den Steuertyp -114 aus der DNH-Datei entfernen.

Es wird auf die Planck18-T\_NACH\_A-Datei zurückgegriffen. Das Ergebnis wird mit einer minimalen WELTTABELLEN-Selbstkorrektur bereitgestellt.

### Zweites Beispiel für Aufgabe 1

<b>1tLkap</b>	1	Planck18. Scheitel des Lichtkegels 50 Mrd. Jahre nach dem Urknall. Ausgegeben werden LK <sub>ap</sub> und $a_p$ (siehe Kap. 5.1, Steuertyp -107, Variablen 15 und 16).	P
DNH	1	Planck18-Steueratz für Parameter mit $a=1$ bei 50 Mrd. Jahren nach dem Urknall. Jetzt ist $LK=LK_{ap}$ und $a=a_p$ .	P

**Voraussetzende Bemerkung:** LK<sub>ap</sub> und  $a_p$  sind in Kap. 3.10 erläutert und am Ende von 0 erwähnt. Die dort beschriebene Methodik ist als Vorläufer der NEUHEUTE-Methodik bei ALTHEUTE  $a=1$  zu verstehen, die allerdings nur für den Lichtkegel ausgearbeitet ist. Wer sich bisher noch nicht mit der LK<sub>ap</sub>/ $a_p$ -Methodik befasst hat, lässt dieses Beispiel am besten unberücksichtigt und vergisst das Beispiel.

**Vergleich:** Es wird bestätigt, dass sich die NEUHEUTE-Ergebnisse für den Lichtkegel bereits mit der ALTHEUTE LK<sub>ap</sub>/ $a_p$ -Methodik (realisiert allerdings nur für den Lichtkegel) erzielen lassen. Es schien uns erwähnenswert darzulegen, wie die beiden Methodiken zusammenpassen.

### Drittes Beispiel für Aufgabe 1

<b>1trhoall-960</b>	1	Planck18. Scheitel des Lichtkegels bei $a=1$ (ALTHEUTE-HEUTE). Ausgegeben werden für kleine bis große Zeitpunkte sämtliche anteilmäßigen Dichten. Erster Zeitpunkt: $a=1$ , also HEUTE (in beiden Ergebnisdateien verschieden). NEUHEUTE = (ALTHEUTE $a=3$ ). Der t-Wert von ALTHEUTE $a=3$ kann über die Steuerdatei 2a3 ermittelt werden.	P
DNH	1	Für gleiche t sind alle anteilmäßigen Dichten gleich.	P

**Voraussetzende Bemerkung:** Da Dichten für den Übergang von ALTHEUTE zu NEUHEUTE die wichtigste Rolle spielen, scheint es angebracht, die korrekte Übertragung der Dichten zu überprüfen. HEUTE (-14) bzw. der externe Scheitel ( $a=1$ , Wandelvariable -7) werden als erster Zeitpunkt ausgegeben. Dadurch kann man vermeiden, den Scheitelzeitpunkt, der in ALTHEUTE und NEUHEUTE verschieden ist, in die auszugebenden Zeitpunkte einzureihen. Überall, wo -7 oder -14 steht, könnte auch die jeweils andere Wandelvariable stehen. In der vorbereiteten Steuerdatei werden anteilmäßige Dichten ausgegeben, alle anderen Ausgabemöglichkeiten sind verkommentiert vorhanden.

**Vergleich:** Scheitel in der jeweils ersten Ausgabezeile aller 4 Ausgabedateien. Für sämtliche anderen t sind die ausgegebenen Dichten in beiden Dateien identisch.

**Beispiel für Aufgabe 3**

<b>3-5-22_plot-960</b>	3	<p>Planck18. Galaxie SPT0418-47, die in 3-5-22_plot durch ihre Rotverschiebung im ALTHEUTE-Standardlichtkegel umschrieben wird, muss jetzt durch den Zahlenwert für ALTHEUTE-HEUTE und die mitbewegte Entfernung als physikalische Entfernung bei ALTHEUTE-HEUTE als Zahlenwert übergeben werden. Verschiedene Zahlenwerte (ALTHEUTE-HEUTE, NEUHEUTE-HEUTE und der physikalische Abstand der Galaxie bei ALTHEUTE-HEUTE müssen mit Hilfe vorauseilender Steuerdateien ermittelt werden. Ein Hauptproblem ist, dass sich die mitbewegte Entfernung in der NEUHEUTE-Variante ändert, was für die (zumindest implizit) über den Abstand definierte Galaxie von besonderer Relevanz ist.</p> <p><math>NEUHEUTE = (ALTHEUTE \ a=3)</math>. Der t-Wert von ALTHEUTE <math>a=3</math> kann der Steuerdatei 2a3 entnommen werden. Der mitbewegte ALTHEUTE-Galaxieabstand (physikalischer Abstand bei ALTHEUTE-HEUTE) kann einschließlich der genauen (16 zählende Ziffern) ALTHEUTE-HEUTE-Zeit über die Steuerdatei 3-5-22_plot ermittelt werden.</p>
DNH	3	Nach erheblicher Vorarbeit sind nun (hinter der ersten Zeile) Zeit nach dem Urknall und physikalischer Abstand überall gleich.

**Vergleich:** Es sollte die Steuerdatei 3-5-22\_plot-960 mit der Steuerdatei 3-5-22\_plot verglichen werden. Der Vorlauf-Aufwand für 3-5-22\_plot-960 ist erheblich. Wenn kein konkreter Grund besteht, eine Steuerdatei wie 3-5-22\_plot-960 vorzubereiten, sollte man es lieber lassen. Es sollte hier aber gezeigt werden, was man tun müsste, und dass es prinzipiell funktioniert.

**Erstes Beispiel für Aufgabe 2**

<b>2a3-960</b>	2	<p>Planck18. Die Steuerdatei 2a3-960 sollte mit 2a3 verglichen werden. 2a3 und in der ALTHEUTE-Variante auch 2a3-960 liefern die kosmologischen Aufgabe 2-Parameter für einen Lichtkegelscheitel bei ALTHEUTE <math>a=3</math>. Allerdings muss <math>a=3</math> in 2a3-960 über die Zeit nach dem Urknall bei <math>a=3</math> übergeben werden, die mittels 2a3 ermittelt werden kann. Die NEUHEUTE-Steuerdatei führt die gleiche Aufgabe durch wie die ALTHEUTE-Variante, allerdings jetzt für den Parametersatz bei ALTHEUTE <math>a=3</math> (entspricht NEUHEUTE <math>a=1</math>).</p>
DNH	2	Der physikalische Abstand bei gleichen Zeitwerten ist bei allen Schnittpunkten zwischen kosmologischen Konstrukten überall gleich.

**Vergleich:** Ein Vergleich von ALTHEUTE- und NEUHEUTE-Ergebnissen zeigt, dass der physikalische Abstand bei gleichen Zeitwerten überall gleich ist. Das gilt auch für den Wendepunkt des mitbewegten Hubble-Radius sowie für die Äquivalenzen zwischen den kosmologischen Dichteparametern.

**Zweites Beispiel für Aufgabe 2**

2t9-960	2	WMAP9, allerdings wird $\Omega_R$ auf NULL gesetzt. Scheitel bei HEUTE, sowohl in der ALTHEUTE wie auch in der NEUHEUTE-Variante. Dadurch unterscheidet sich 2t9-960 von allen anderen Beispielen.  Erzeugung einer NEUHEUTE-Steuerdatei mit HEUTE bei 50 Mrd. Jahren nach dem Urknall. Diese NEUHEUTE-Steuerdatei soll auch für den Scheitel bei NEUHEUTE HEUTE ausgeführt werden. Deshalb kann -14 auf der Zeit-nach-dem-Urknall-Position stehen. Die Ergebnisse der ALTHEUTE- und NEUHEUTE-Variante behandeln also Lichtkegel mit unterschiedlichen Scheitelpunkten. Hinweis: Andere Steuerdateien sollten den gleichen Lichtkegel in der ALTHEUTE- und NEUHEUTE-Variante bereitstellen. Dort mussten beim Scheitelzeitpunkt konkrete Zahlenwerte stehen.	P
DNH	2	Die Lichtkegel von ALTHEUTE und NEUHEUTE-Variante sind verschieden und weisen keine gemeinsamen Abstände aus	P

**Vergleich:** Ein Vergleich der ALTHEUTE- und NEUHEUTE-Werte ist nicht bezweckt. Es wird für den Lichtkegel in beiden Varianten jeweils der Standardscheitel behandelt, also in der NEUHEUTE-Variante der Scheitel bei 50 Mrd. Jahren nach dem Urknall.

**Kombiniertes Beispiel Aufgabe 2 und Aufgabe 1**

2a3-960	2	Planck18. Siehe oben.	
DNHS		Das -960-Ergebnis (NEUHEUTE-Ergebnis) wird gesichert.	
1tuebertrag-960	1	Planck18. Es werden die Wandelvariablen -58 bis -64 für den Scheitel bei 31.940425456910599 Mrd. Jahren nach dem Urknall ausgegeben – entspricht ALTHEUTE a=3. Es wird eine NEUHEUTE-Steuerdatei für ALTHEUTE a=3 erstellt.	P
DNH	2	Es wird die gesicherte NEUHEUTE-Steuerdatei ausgeführt.	
DNH	1	Es wird die NEUHEUTE Steuerdatei zu 1tuebertrag-960 ausgeführt. Die beiden Ausgabedateien (ALTHEUTE und NEUHEUTE zu 1tuebertrag-960) sind für gleiche t gleich.	P

**Vergleich:** Die beiden Ausgabedateien (ALTHEUTE und NEUHEUTE zu 1tuebertrag-960) sind für gleiche t gleich. Das gilt sogar für die kritischen Variablen -59 und -60.

DNHS und DNH\_ sind selten benötigte zusätzliche Steuerbefehle:

DNHS: Das soeben als NEUHEUTE-Steuerdatei gewonnene Ergebnis wird gesichert (auf STEUERWNH\_.TXT)

DNH\_: Die gesicherte Steuerdatei wird ausgeführt.

**5.14.3 Extrembeispiel**

Steuerdateien zu einem Parametersatz wie Planck18 gehen bei den Eingangsdaten üblicherweise von einer Untergrenze **von  $a=10^{-16}$  aus, was ungefähr  $7.5 \cdot 10^{-30}$  Mrd. Jahren** oder  $2.4 \cdot 10^{-13}$  Sekunden nach dem Urknall entspricht. Betrachten wir den Lichtkegel mit einem Scheitel bei  $T=1000$  Mrd. Jahren nach dem Urknall, so stellen wir fest, dass der zugehörige Skalenfaktor-Wert am Scheitel ungefähr  $2.9 \cdot 10^{24}$  beträgt. Möchten wir eine NEUHEUTE-Datei mit einem HEUTE-Wert von 1000 Mrd. Jahren erstellen,

so beträgt der NEUHEUTE-Skalenfaktor-Wert bei ALTHEUTE  $a=1$  nun NEUHEUTE  $a=1/(2.9*10^{24})$ . Es sollte klar sein, dass wir keine NEUHEUTE-Steuerdateien (DNH) bereitstellen können, die Eingabedaten in der Nähe der anfangs erwähnten ALTHEUTE-Untergrenzen einschließen.

Möchte man die NEUHEUTE-Steuerdatei für den Zeitpunkt HEUTE=1000 Mrd. Jahre nach dem Urknall vorbereiten, so muss man zunächst durch Eingabe des Befehls „Grenz 1“ auf der Konsole die Datei GRENZENW auf eine neue Basis stellen. Das Verfahren ist in Kap. 5.7 erläutert. (Schließt man die WELTTABELLEN-Konsole und beginnt man dann erneut wieder mit wt.bat, so muss man im Anschluss wieder „Grenz 1“ auf der Konsole eingeben.)

Anschließend erstellt man die Steuerdatei 1t1000-960. Man kopiert nun einfach die Datei 1t1000, fängt aber an der unteren Grenze bei den Zeit-Eingabedaten bei einem höheren Minimalwert an. Man kann sich die von uns vorbereitete Datei anschauen: niedrigster Wert ist nun 0.000001. Für den Steuertyp -960 wählt man in der ersten Folgezeile 1000 Mrd. Jahre als neues HEUTE (3,1000,1).

Zwischenschritt: Als zweite Zeile hinter der -960-Zeile wählt man den noch nicht existierenden Parametersatz Plamck18M und führt die Steuerdatei aus. Würde man DNH jetzt ausführen, würde die Steuerdatei die T\_NACH\_A-Standarddatei Datei T\_NACH\_A (für namenlose Parametersätze) abrufen, was zu einem Fehler an der unteren Grenze (die sich jetzt auf HEUTE=1000 Mrd. Jahre nach dem Urknall bezieht) und zu einem Abbruch führt. Wir können allerdings die Information der Steuerbefehle -112 und -113 aus STEUERWNH in \WTAB zur Erzeugung einer neuen T\_NACH\_A-Datei verwenden. Wir kopieren STEUERWa.TXT auf STEUERWaM.TXT (M steht für römisch 1000) und ersetzen dort den Steuerbefehl -111 durch die Steuerbefehle -112 und -113 aus STEUERWNH. Außerdem senken wir die untere Grenze der Eingabedaten von  $a=10^{-16}$  in STEUERWa auf  $10^{-31}$  in STEUERWaM, wobei allerdings das zu  $a=10^{-31}$  gehörige  $t=6.3*10^{-11}$  Mrd. Jahre nach dem Urknall immer noch erheblich größer ist als der Minimalwert von STEUERWa. Ein Programmdurchlauf mit der Steuerdatei STEUERWaM erzeugt jetzt die T\_NACH\_A-Datei T\_NACH\_A\_Planck18M.

Ergebnisdateien zu	t=1000	a=1	Minimum
STEUERWa	$a=2.9*10^{24}$	t=13.79	$a=10^{-16}$ , $t=7.5*10^{-30}$
STEUERWaM	a=1	t=1000	$a=10^{-31}$ , $t=6.3*10^{-11}$

Der Minimalwert in der Steuerdatei 1t1000-960 muss also erheblich größer sein als der in 1t1000, wenn man die über den Steuerbefehl -960 erzeugte NEUHEUTE-Steuerdatei in die Überlegungen einbezieht.

Ist T\_NACH\_A\_Planck18M vorhanden, so können wir den Befehl DNH an der Konsole ausführen.

Insgesamt müssen also GRENZENW1, STEUERWaM und STEUERW1t1000-960 zweckmäßig aufeinander abgestimmt sein.

Sofern noch Unklarheiten bestehen, ist anzuraten, sich alle erwähnten Dateien anzuschauen und in Ruhe zu studieren.

Da alle erwähnten alle Dateien bereits existieren, braucht man an der Konsole nur noch

```
Grenz 1
d 1t1000-960
DNH
```

einzugeben. Der aktuelle Text soll als Anleitung dafür dienen, was man ungefähr tun muss, wenn man ein anderes Extrembeispiel durchführen möchte.

**Extrembeispiel für Aufgabe 1**

1t1000-960	1	Planck18. Bereitet NEUHEUTE-Steuerdatei für ALTHEUTE t=1000 (entspricht NEUHEUTE a=1) vor. Erfordert neue T_NACH_A-Datei. Vorheriger Aufruf „Grenz 1“.	P
aM	1	Erzeugt T_nach_A-Planck18M-Datei mittels -112 und -113 Steuersätzen der NEUHEUTE-Datei zu 1t1000-960.	M
DNH	1	Der Abstand zu allen Oberflächen (Hubblesphäre etc.) ist für gleiche t gleich. Es werden ausschließlich physikalische Koordinaten ausgegeben.	P

**Vergleich:** Trotz extremer an NEUHEUTE übergebener Parameter im Parametersatz sind physikalische Abstände für gleiche t gleich.

## 6 Symbole, Abkürzungen und Konsolbefehle

### 6.1 Symbole und Abkürzungen

$\Lambda$ CDM	Lambda Cold Dark Matter
$\Lambda$ CDM-Modell	Räumlich flaches Standardmodell der Kosmologie
$H_0$	Hubble-Parameter heute
$\Omega_R$	Strahlungs-Anteil heute an der Materie/Energie-Dichte des Universums
$\Omega_M$	Materie-Anteil heute
$\Omega_\Lambda$	Anteil dunkler Energie heute
$\Omega$	Anteilmäßige Gesamtdichte $\Omega = \Omega_R + \Omega_M + \Omega_\Lambda = 1$ des räumlich flachen $\Lambda$ CDM-Modells
Weitere $\Omega_i$ heute	$\Omega_b, \Omega_c, \Omega_\gamma$ und $\Omega_\nu$ : baryonisch, Dunkle Materie, Photonen, Neutrinos
Dichten $\rho$ heute	Dichten $\rho$ (Masse/Energie pro Volumen) $\rho_R, \rho_M, \rho_\Lambda, \rho_{\text{crit}}, \rho_b, \rho_c, \rho_\gamma, \rho_\nu$ : Strahlung, Materie, Dunkle Energie, kritisch / baryonisch, Dunkle Materie, Photonen, Neutrinos
a	Symbol für den Skalenfaktor, a(HEUTE)=1
$z^*$	Symbol für die Rotverschiebung HEUTE, $z^*(\text{HEUTE})=0$
z	Symbol für die Rotverschiebung am Scheitelpunkt eines Rückwärts-Lichtkegels, $z(\text{SCHEITEL})=0$ .
t	Zeit seit dem Urknall in Mrd. Jahren
$a_s, T$	Scheitel(punkt) eines Lichtkegels in a bzw. t. Häufig wird die Bezeichnung Scheitel bei a=... oder t= ... verwendet. Nur selten wird die Rotverschiebung $z^*$ zur Scheitelkennzeichnung benutzt.
$\eta$	Konforme Zeit (siehe Kap. 3.5)
Standardscheitel	Scheitel bei a=1 bzw. t=HEUTE
Scheitelzeit minus t	Look-Back-Zeit, Lichtlaufzeit. Scheitelpunkt eines Lichtkegels in Mrd. Jahren seit dem Urknall minus Zeit seit dem Urknall in Mrd. Jahren. Sonderfall: HEUTE minus t.
q	Abbremsparameter $q(t) = -a(t) a''(t) / a'(t)^2$ , siehe [1] Kap. 7.1
km / Mpc / s	Kilometer pro Megaparsec pro Sekunde: $\text{km} * \text{Mpc}^{-1} * \text{s}^{-1}$
Mrd.	Milliarden
Hauptverzeichnis	Verzeichnis \WTAB, in dem WELTTABELLEN implementiert ist (siehe Kap.8)
Installationslaufwerk	Laufwerk, auf dem das Hauptverzeichnis eingerichtet ist (siehe Kap. 8.6)
STYP	Negativer dreistelliger Steuertyp der Steuerdatei STEUERW (siehe Kap. 5.1)
ITYP	Negativer vierstelliger I-Steuertyp der Datei ITERATIONENW (siehe Kap. 5.6)
(I)-Wert	Integer-Wert. Festkomma-Wert.

(D)-Wert	Double-Precision-Wert. Doppeltgenauer Gleitkomma-Wert. WELTTABELLEN verwendet Gleitkomma-Werte ausschließlich in doppelter Genauigkeit.
V	Voreinstellung
kg/m <sup>3</sup>	Kilogramm / Meter <sup>3</sup> (Dimension für $\rho$ -Dichten)
GeV/c <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	Gigaelektronenvolt / Lichtgeschwindigkeit <sup>2</sup> / Meter <sup>3</sup> (Dimension für $\rho$ -Dichten)
Wandelvariable	Variable, die als a, z*, t oder Vielfaches von HEUTE definiert und als a, z* oder t abgerufen werden kann.

Über den STYP -111 der Steuerdatei können verschiedene Parametersätze für den Hubble-Parameter heute und den Materie-Anteil heute abgerufen werden, z.B. Planck18:  $H_0=67.4$  km/Mpc/s und  $\Omega_M=0.315$ . Die Strahlungsdichte wird von den wissenschaftlichen Institutionen, die ihre Forschungsergebnisse über die Parameter des Universums veröffentlichen, mehrheitlich nicht deutlich ausgewiesen – WELTTABELLEN kann sie automatisch berechnen, der Benutzer kann sie auch eingeben.  $\Omega_\Lambda$  wird dann über  $\Omega_\Lambda = 1 - \Omega_R - \Omega_M$  berechnet.

## 6.2 WELTTABELLEN-Konsolbefehle

Alle Konsolbefehle sind mit der Extension .BAT oder .EXE im Verzeichnis \WTAB vorhanden. Dort liegt auch die zentrale Steuerdatei STEUERW.TXT.

<steuerdatei> verweist auf die Datei STEUERW<steuerdatei>.TXT..

Befehlsname	Wirkung	Kapitel
wt	Initialisierung von WELTTABELLEN	8.2, 8.13
d <steuerdatei>	Ausführen der <steuerdatei> aus Verzeichnis STEUERD	8.10
w	Ausführen WELTTABELLEN für Datei STEUERW.TXT	8.10
a2print	Konsolausgabe der Parameter des letzten AUFGABE2-Abrufs	5.13
c <steuerdatei>	Kopieren der <steuerdatei> von Verzeichnis STEUERD auf STEUERW.TXT	8.10
cc <steuerdatei>	Kopieren der <steuerdatei> von Verzeichnis BSTEUERD auf STEUERW.TXT	8.10
dd <steuerdatei>	Ausführen der <steuerdatei> aus Verzeichnis BSTEUERD	8.10
DNH	Ausführen der aktuellen NEUHEUTE-Steuerdatei	5.14.1
DNHS	Sichern der aktuellen NEUHEUTE-Steuerdatei	5.14.2
DNH	Ausführen der gesicherten NEUHEUTE-Steuerdatei	5.14.2
Grenz <0 oder 1>	Grenz 0: Abruf Standard-GRENZENW Grenz 1: Abruf GRENZENW für NEUHEUTE-Steuerdateien mit a=1 für sehr große Zeitpunkte	5.7, 5.14.3
m211 <ausgabety> oder X	Überschreibt den Steuerbefehl -211	8.15, 5.8
m31 <ausgabety> oder X	Setzt den Platzhalter -31	8.15, 5.8
mt	Protokolliert die aktuelle m211/m31-Datei	8.15, 5.8

Zusätzlich benötigt man noch einen Editor zur Bearbeitung von Steuerdateien. Die Verwendung von *notepad* ist in Kap. 5.12 erläutert.

## 7 Literatur

Es wird im Weiteren nur auf solche Quellen verwiesen, die als Hilfestellung bei der Programmierung der zuvor dargestellten Aufgabenstellungen dienen konnten.

- [1] W. Lange: Von Lichtkegeln im Standardmodell der Kosmologie ( $\Lambda$ CDM-Modell), viXra 2212.0155v8, 2022-2025, <https://www.welttabellen.com/downloads/weitere-downloads>
- [2] T.M. Davis / C.H. Lineweaver: Expanding Confusion: common misconceptions of cosmological horizons and the superluminal expansion of the Universe, November 2003, <https://arxiv.org/abs/astro-ph/0310808>, siehe auch Kap. 3.2.2
- [3] E. Harrison; Hubble spheres and particle horizons, Astrophysical Journal, Part 1 (ISSN 0004-637X), vol. 383, Dec. 10, 1991, p. 60-65.  
<https://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/1991ApJ...383...60H>  
Dieser Artikel enthält Fehler, die in [2] erwähnt sind – sollte man wissen, bevor man programmiert. Quelle wurde berücksichtigt bei der Berechnung der Rezessionsgeschwindigkeiten von Hubblesphäre und Partikelhorizont.
- [4] B.&J. Margalef-Bentabol, J. Cepa: Evolution of the Cosmological Horizons in a Concordance Universe, June 2013. <https://arxiv.org/abs/1302.1609>  
Die verfügbar gemachten Formeln wurden nicht verwendet, wohl aber die Conclusions in Kap. 5.5. Außerdem konnten die von WELTTABELLEN berechneten Rezessionsgeschwindigkeiten mittels Kap. 6.1 des Artikels und den Anhängen A1 und A2 überprüft werden. Achtung: Die Ergebnisse des Artikels gelten nur, falls  $\Omega_R = 0$ .
- [5] B.&J. Margalef-Bentabol, J. Cepa: Evolution of the Cosmological Horizons in a Universe with Countably Infinitely Many State Equations, June 2013. <https://arxiv.org/abs/1302.2186>  
Hier haben wir in Vergleich zu [4] lediglich zusätzlich die Ergebnisse für  $\Omega_R \neq 0$  überprüft.
- [6] D.W. Hogg: Distance measures in cosmology, December 2000.  
<https://arxiv.org/abs/astro-ph/9905116>.  
Wurde letztendlich aufgrund der Darstellung in  $z$  nicht wirklich verwendet, konnte aber zu Kontrollzwecken herangezogen werden. Die präsentierten Formeln sind unter zusätzlichen Nebenbedingungen korrekt, man kann jedoch nicht jeder Herleitung folgen.
- [7] Windows-Umgebung der Universität York für GNU-FORTRAN77  
<http://www.cs.yorku.ca/~roumani/fortran/index.html> .  
<http://www.cs.yorku.ca/~roumani/fortran/ftn.htm>  
Siehe Kap. 2.1
- [8] Für SPT0418-47 relevante Weltlinien (Wikipedia)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Worldlines\\_relevant\\_for\\_SPT0418-47.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Worldlines_relevant_for_SPT0418-47.svg)  
Zeichnung und Erläuterungen des Autors. Siehe Kap. 3.2.3
- [9] ICRAR Cosmology Calculator <https://cosmocalc.icrar.org/>  
Von ICRAR wurde die Idee einer Vielzahl vorbereiteter Parametersätze übernommen. Der Parametersatz Planck18 ist mit dem Abstract der Planck18-Veröffentlichung nicht konsistent. Vergleiche zwischen WELTTABELLEN und ICRAR müssen daher z.B. über Planck15 (oder via STYP -112) vorgenommen werden. Das berechnete  $\Omega_R$  ist nicht vollständig mit dem von WELTTABELLEN berechneten identisch. "The Cosmological Recession Velocity at  $z$ " beschreibt nicht, wie man vermuten würde, die Rezessionsgeschwindigkeit eines mitbewegten Objekts zum Lichtemissionszeitpunkt, sondern jene zum heutigen Zeitpunkt.
- [10] Yukterez (Simon Tyran, Wien)  
Zeichnungen, Wolfram Alpha-Programm, Density Evolution  
<http://lcdm.yukterez.net/i.html#plot>    siehe auch Kap. 3.2.1  
<http://yukterez.net/lcdm/>  
<http://yukterez.net/f/einstein.equations/files/g/>  
<http://yukterez.net/f/einstein.equations/files/t/>  
Beim Programm wurde auf die einfacher verständliche Ende 2021 auffindbare Version zurückgegriffen.

- [11] W. Lange: Der Partikelhorizont als Lichtkegel im Standardmodell der Kosmologie ( $\Lambda$ CDM-Modell), viXra 2305.0146, 2023, <https://vixra.org/abs/2305.0146>
- [12] W. Lange: Lichtkegel und mitbewegte Objekte im Standardmodell der Kosmologie ( $\Lambda$ CDM-Modell), viXra 2407.0059, 2024-2025, <https://vixra.org/abs/2407.0059>
- [13] W.Lange: Die Rolle der Hubblesphäre für die Umkehrung des Rezessionsverhaltens von Galaxien und Photonen im Standardmodell der Kosmologie ( $\Lambda$ CDM-Modell), viXra:2504.0137, 2025-2026, <https://vixra.org/abs/2504.0137>
- [14] Wikipedia DICHTEPARAMETER, überprüft am 5.2.2026, <https://de.wikipedia.org/wiki/Dichteparameter>
- [15] Planck 2018 results. VI. Cosmological parameters, v4 (9.8.2021), arXiv:1807.06209, <https://arxiv.org/abs/1807.06209>
- [16] Nine-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Cosmological Parameter Results, v3 (4.6.2013), arViv; 1212.5226, <https://arxiv.org/abs/1212.5226>

© Werner Lange, Altos / PARAGUAY, langealtos, 2022-2026

## 8 Anhang 1: Installation von WELTTABELLEN

# Installation des Kosmologie-Rechners WELTTABELLEN 3.2

## Weltlinien des Standardmodells der Kosmologie ( $\Lambda$ CDM-Modell) in Tabellenform

Installationsanleitung (Version 12. März 2026)  
Windows-Programmversion 3.2

Autor: Werner Lange, Altos/Paraguay, langealtos  
info@welttabellen.com

### 8.1 Veröffentlichung via Webador, Download-Namen von Dateien

WELTTABELLEN wird ab Version 3 über den Homepage-Baukasten von Webador [www.webador.de](http://www.webador.de) verbreitet. WELTTABELLEN-Domain ist [welttabellen.com](http://welttabellen.com).

Die WELTTABELLEN-Dateistruktur wird an Webador als ZIP-Ordner *WTAB-<Datum>.ZIP*, z.B. *WTAB-2025-12-08.zip* hochgeladen. Diesen Ordner bezeichnen wir im Weiteren als *WTAB.ZIP*. Beim Download von Dateien werden Upload-Namen leicht verändert. Insbesondere ist der Name der obigen Upload-Datei nach dem Download nun *Wtab 2025 12 08 Zip.zip*. Die Zuordnung des jeweiligen Download-Namens zum Upload-Namen ist jeweils offensichtlich.

### 8.2 Installation in Kurzfassung (Laufwerk C: oder USB-Stick)

Laden Sie über den Link

<https://www.welttabellen.com/downloads>

die Installationsanleitung, die Programmbeschreibung, die Änderungen zur Vorversion und den ZIP-Ordner *WTAB.ZIP* herunter. Die Dateien befinden sich nun im Download-Ordner. Kopieren Sie den Ordner *WTAB* in *WTAB.ZIP* auf das Verzeichnis *C:\* (Laufwerk *C:*, unterste Verzeichnisebene). Fertig!

In *C:\WTAB* doppelklicken Sie auf *wt.bat*. Es erscheint die Eingabeaufforderung. Geben Sie in jeweils eine neue Zeile

```
d 1tk  
d 2t  
d 3-13-22G  
lz_plot
```

ein. Schauen Sie sich die Ergebnisse im Ordner *C:\WTAB\AUSGABE* an.

Wenn Sie WELTTABELLEN auf einem USB-Stick installieren wollen und keine weitere Integration (z.B. über den Desktop) in die PC-Umgebung planen, können Sie genauso wie soeben beschrieben vorgehen. Sie müssen nur überall den Laufwerksbuchstaben **C:** durch den Laufwerksbuchstaben des USB-Sticks (z.B. **E:**) ersetzen.

Für andere Installationsvarianten und verschiedene zusätzliche Informationen lesen Sie bitte weiter.

### 8.3 *Verweis auf die Programmbeschreibung*

Eine ältere Programmbeschreibung für WELTTABELLEN ist im Dokument

#### **Kosmologie-Rechner WELTTABELLEN**

##### **Weltlinien des Standardmodells der Kosmologie ( $\Lambda$ CDM-Modell) in Tabellenform**

**viXra 2209.0113**

verfügbar. Die Beschreibung der jeweils aktuellen Version wird unter dem Link des WELTTABELLEN-Downloads (siehe Kap. 8.5) ebenfalls verfügbar gemacht.

### 8.4 *Betriebssystem-Umgebungen für WELTTABELLEN*

WELTTABELLEN sollte auf allen Windows-Rechnern lauffähig sein. Getestet wurde WELTTABELLEN auf Windows10 22H2 und auf Windows11 25H2. Es ist nicht auszuschließen, dass bei älteren Windows-Versionen als Windows10 einige Batch-Files nachgebessert werden müssen.

Letztendlich sollte WELTTABELLEN auch auf DOS arbeitsfähig sein. Verschiedene an Windows orientierte Batch-Dateien müssen in diesem Fall vom versierten Benutzer zweckmäßig adaptiert werden.

### 8.5 *Herunterladen der WELTTABELLEN-Ordner und -Dateien*

Die WELTTABELLEN-Windows-Umgebung wird an Benutzer als ZIP-ORDNER über den Link

<https://www.welttabellen.com/downloads>

verfügbar gemacht. Kopieren Sie den Link in das URL-Feld eines Browsers. Man findet auf der geöffneten Seite die aktuelle Programmbeschreibung, die Installationsanleitung, die Änderungen zur Vorversion, den ZIP-Ordner *WTAB.ZIP* und eventuell weitere Dateien. Die vier zuerst erwähnten Dateien sollte man einzeln herunterladen.

### 8.6 *Installation von WELTTABELLEN*

Die heruntergeladene Datei *WTAB.ZIP* enthält genau einen Ordner *WTAB*. Dieser Ordner muss nach Doppelklick auf *WTAB.ZIP* auf ein Laufwerk des Windows-Rechners (im Weiteren als **Installationslaufwerk** bezeichnet) kopiert werden. Nichts spricht dagegen, das Laufwerk zu verwenden, auf dem Windows installiert ist (vermutlich **C:**), man kann aber auch ein beliebig anderes verfügbares Laufwerk oder einen USB-Stick verwenden. (Man kann selbstverständlich auch die gesamte Verzeichnis- und Dateien-Unterstruktur unterhalb des Verzeichnisses *WTAB* auf einen bereits vorhandenen Ordner *WTAB* kopieren.) Je nach Windows-Version oder Windows-Konfiguration muss man vor dem Kopieren eventuell Administrator-Rechte genehmigen. (Wenn man Laufwerksbuchstaben im Explorer nicht unmittelbar findet, verstecken sich diese je nach Windows-Version oder Windows-

Konfiguration vermutlich hinter dem symbolischen Überverzeichnisnamen *Dieser PC*, bei älteren Windows-Versionen auch hinter *Arbeitsplatz* oder *Computer*.)

Das Verzeichnis \WTAB wird im Weiteren auch als **Hauptverzeichnis** bezeichnet. Es muss in der untersten Verzeichnisebene gelegen sein, also z.B. *C:\WTAB*.

### 8.7 +++++ **Einzig erforderliche manuelle Änderung – BITTE LESEN!!!** +++++

Im Verzeichnis \WTAB des Installationslaufwerks gibt es eine Datei *wt.bat*:

```
@REM E:  
cmd.exe /k \WTAB\ff.bat
```

Hat man WELTTABELLEN auf einem anderen Laufwerk als jenem installiert, auf dem Windows installiert ist, so sollte man den Laufwerksbuchstaben in die erste Zeile dieser Batch-Datei schreiben. Ist das WELTTABELLEN-Installationslaufwerk zum Beispiel **E:**, sollte die Datei *wt.bat* folgendes Aussehen haben:

```
E:  
cmd.exe /k \WTAB\ff.bat
```

Diese Anpassung ist nicht erforderlich, wenn man WELTTABELLEN auf einem USB-Stick installiert hat und nicht die Absicht verfolgt, die Installation auf dem USB-Stick weiter in den PC zu integrieren (Beispiel: Aufruf von USB-Stick-Dateien vom Desktop). Möchte man den USB-Stick an verschiedenen PCs mit unterschiedlichen Laufwerksbuchstaben verwenden, so wäre die Anpassung eher kontraproduktiv.

Möchte man eine .BAT-Datei bearbeiten, so markiert man diese im Explorer zunächst mit der linken Maustaste, wechselt dann zur rechten Maustaste und gibt in Windows10 BEARBEITEN, in Windows 11 IM EDITOR BEARBEITEN an.

### 8.8 **Basisfunktionsweise von WELTTABELLEN**

Im Ordner \WTAB des **Installationslaufwerks** findet man das zentrale WELTTABELLEN-Programm *w.exe*. Dieses Programm liest Steuerdaten aus einer Steuerdatei STEUERW.txt im gleichen Ordner. Die Mehrheit der Ausgabedateien wird in das Verzeichnis \WTAB\AUSGABE geschrieben, Plotter-Datendateien eventuell alternativ in das Verzeichnis \WZEICHNUNGEN. (Anfangs wird man \WZEICHNUNGEN nicht benötigen.)

Einziges zusätzliches WELTTABELLEN-Programm ist derzeit a2print.exe (siehe Programmbeschreibung Kap. 5.13).

### 8.9 **WELTTABELLEN-Windows-Umgebung**

Man arbeitet in 2 Fenstern.

Fenster 1 (Explorer-Fenster des Verzeichnisses WTAB): Im Verzeichnis \WTAB des **Installationslaufwerks** und in dessen Unterverzeichnissen kann man Texthaltungsdateien (Extension .txt) durch Doppelklick auf den Dateinamen mit den Windows-Editor **notepad** (siehe Programmbeschreibung, Kap. 5.12) editieren. (Man kann auch einen anderen Texthaltungseditor verwenden.) Das Explorer-Fenster von \WTAB sollte nach DateiNAMEN sortiert vorhanden sein - Ordner-Namen oben. Dies ist die Microsoft-Voreinstellung.

Hat man WELTTABELLEN fest auf dem PC (also nicht auf einem USB-Stick oder einem anderen provisorischen Laufwerk) installiert, so wird angeraten, eine Explorer-Verknüpfung von \WTAB auf den Desktop (auf Verzeichnis WTAB mit rechter Maustaste anklicken, *Kopieren*, auf Desktop *Verknüpfung einfügen*) zu legen. Durch Doppelklick auf diese Verknüpfung wird man zum Fenster für dieses Verzeichnis geleitet.

Fenster 2 (Konsole): Das zweite Fenster ist das der Windows-Eingabeaufforderung, im Weiteren als Konsole bezeichnet. Im Verzeichnis \WTAB des *Installationslaufwerks* findet man eine Datei *wt.BAT* (siehe auch Kap. 8.7). Durch Doppelklick auf diese Datei wird die Konsole geöffnet.

Hat man WELTTABELLEN fest auf dem PC (also nicht auf einem USB-Stick oder einem anderen provisorischen Laufwerk) installiert, so kopiert man diese Datei am besten auf den Desktop.

Hat man WELTTABELLEN auf einem USB-Stick oder einem anderen provisorischen Laufwerk installiert, so ist es eine gute Idee, eine Kopie von *wt.bat* im Basisverzeichnis des Laufwerks (z.B. *E:*) zu speichern.

Bei einer festen Installation auf dem PC ist es weiter zweckmäßig, Verknüpfungen für verschiedene Verzeichnisse auf den Desktop zu legen. Erwähnt seien neben dem bereits erwähnten \WTAB noch \WTAB\STEUERD, \WTAB\AUSGABE, später eventuell noch \WTAB\BSTEUERD und \WZEICHNUNGEN.

### 8.10 Die wichtigsten Konsolbefehle

Man benötigt vor allem einen Konsolbefehl, nämlich den Befehl *d*. Dieser wird in der Form

*d xyz*

ausgeführt. Dieser Befehl hat folgende Wirkung:

1. Die Datei STEUERWxyz.txt aus dem Verzeichnis \WTAB\STEUERD wird (überschreibend) auf die Datei STEUERW im Verzeichnis WTAB kopiert.
2. Das WELTTABELLEN-Programm *w.exe* wird aufgerufen.

Es wird also WELTTABELLEN für die bezeichnete Steuerdatei ausgeführt.

Der Befehl *dd* hat die gleiche Wirkung wie *d*, allerdings wird die Datei STEUERWxyz.txt dem für Benutzer-Steuerdateien vorbereiteten Verzeichnis \WTAB\BSTEUERD entnommen. Der Benutzer kann auch eigene Steuerdateien ins Verzeichnis STEUERD schreiben. Wenn er aber die eigenen Dateien in einen Backup-Prozess integrieren möchte, so ist es günstiger, ein eigenständiges Verzeichnis für eigene Steuerdateien zu verwenden.

Befehle *c* und *cc* führen nur den ersten der beiden oben erwähnten Schritte aus. Eine anschließende Eingabe von *w* in eine neue Konsolzeile ruft anschließend das WELTTABELLEN-Programm auf. Manchmal möchte man nur probeweise eine Steuerdatei ändern. Dies kann man tun, indem man die Datei STEUERW.txt in \WTAB mittels *notepad* korrigiert und anschließend in der Konsole *w* aufruft. Die Original-Steuerdatei wird so nicht verändert.

Der Vorrat an Konsolbefehlen ist in der Programmbeschreibung, Kap. 6.2 zusammengefasst. Hingewiesen sei insbesondere auf den Befehl m211 (siehe Kap. 8.15), mit dem zwischen der Ausgabe von physikalischen und mitbewegten Koordinaten gewechselt werden kann, ohne die gerade aktuelle Steuerdatei abzuändern.

### 8.11 Ausgabedateien

Voreingestelltes Ausgabeverzeichnis ist das Unterverzeichnis AUSGABE des Hauptverzeichnisses \WTAB.

Jeder Durchlauf von WELTTABELLEN erzeugt im Ausgabeverzeichnis 3 oder 4 Ausgabedateien mit folgenden Namen:

1. Hauptausgabedatei: ZZ<Erweiterung>\_X.TXT
2. Delta-Datei: ZZ<Erweiterung>\_DELTA\_<Steuerkennzeichen>\_X.TXT (siehe Programmbeschreibung Kap. 5.1, Steuertyp -105, Aufgabe 1)
3. Rezessionsdatei: ZZ<Erweiterung>\_REZESSION\_<Steuerkennzeichen>\_X.TXT
4. Plotter-Datendatei: ZZ<Erweiterung>\_PLOT\_<Steuerkennzeichen>\_X.TXT (siehe Programmbeschreibung Kap. 5.9)

Das Steuerkennzeichen ist in der Programmbeschreibung, Kap. 4.3 erläutert. Fehlt dieses, so ist auch das einleitende Underscore „\_“ nicht vorhanden.

Ist ZZ oder eine Erweiterung von ZZ bereits vorhanden, wird der Dateiname um die <Erweiterung> (A, B,...,Z, AA etc.) automatisch korrigiert.

\_X steht für \_M, \_P, oder \_H. \_X wird nur bei Aufgabe 1 ausgegeben,

\_M=Ausgabe mitbewegter Koordinaten

\_P= Ausgabe physikalischer Koordinaten

\_H=Ausgabe physikalischer Koordinaten, anstelle der Rezessionsgeschwindigkeit von Galaxien auf Hubblesphäre, Lichtkegel und Horizonten wird die Rezessionsgeschwindigkeit der kosmologischen Oberflächen selbst ausgegeben

Der oben als ZZ bezeichnete Dateien-Teil-Name kann gemäß Programmbeschreibung, Kap. 5.1, Steuertyp -102 abgeändert werden.

Die Plotter-Datendatei wird nur ausgegeben, falls dies gemäß Programmbeschreibung, Kap. 5.1, Steuertyp -107 oder Steuertyp -227 vereinbart wird. Steuertyp -106 kann auch einen alternativen Dateinamen und ein alternatives Ausgabe-Verzeichnis (voreingestellt: \WZEICHNUNGEN) festlegen.

### 8.12 Unterverzeichnisse des Hauptverzeichnisses

Die WELTTABELLEN-Windows-Umgebung enthält neben dem Hauptverzeichnis 4 Unterverzeichnisse: AUSGABE als Ausgabeverzeichnis (abänderbar), STEUERD (mit Steuerdateien, siehe Programmbeschreibung, Kap. 4.2), PLOTTER (mit batchabrufbaren Stapeln von Steuerdateien zur Vorbereitung von Zeichnungen, GNUPLOT-Load-Dateien, verschiedenen Hilfsdateien zur Erzeugung von Zeichnungen und einigen SVG-Zeichnungen, siehe Programmbeschreibung, Kap. 5.9) und TNACHA (T\_NACH\_A-Dateien, für alle vorbereiteten WELTTABELLEN-Parametersätze bereits vorhanden, siehe Programmbeschreibung, Kap. 5.3 und 5.5). Zusätzlich ist noch BSTEUERD als Verzeichnis für benutzereigene Steuerdateien vorgesehen.

Vermutlich wird der Benutzer das Unterverzeichnis PLOTTER zumindest in der Anfangsphase nicht benötigen.

Plotter-Datendateien dienen keineswegs nur der Vorbereitung zur Ausgabe von Zeichnungen. Vielmehr ist es möglich, eine Reihe kosmologischer Größen auszudrucken, die in den 3 Standard-Ausgabedateien



### 8.14 Eventuelle Änderung von Verzeichnisnamen

Dieser Abschnitt zur Änderung von Verzeichnisnamen kann vom Benutzer zunächst überlesen werden, soll aber dennoch für eventuelle spätere Änderungen kurz Erwähnung finden. Man kann die Verzeichnisnamen `\WTAB\AUSGABE\` und `\WZEICHNUNGEN\` in der Datei `ff.bat` in `\WTAB` abändern. Man kann diese sogar auf andere Laufwerke legen.

Die geänderten Namen der Verzeichnisse `\WZEICHNUNGEN\` und `\WTAB\AUSGABE\` muss man noch in den I-Steuertypen -1010 und -1015 in der Datei `ITERATIONENW` eintragen. In beiden Fällen ist das abschließende Backslash erforderlich. Siehe auch die Programmbeschreibung, Kap 5.6.

### 8.15 Konsolbefehle `m211` und `m31`

Abschließend erwähnt werden soll noch der Befehl `m211`, der für Aufgabe 1 (siehe Programmbeschreibung, Kap. 5.1, Steuertyp -105) den Steuertyp -211 in danach abgerufenen Steuerdateien überschreibt. Beispiel für einen Aufruf: `m211 1`.

BAT-Datei	Wert	Ergebnis
<code>m211</code>	<code>0</code>	Ausgabe mitbewegter Koordinaten
	<code>1</code>	Ausgabe physikalischer Koordinaten
	<code>101</code>	Ausgabe physikalischer Koordinaten, in der Datei <code>_REZESSION</code> werden für Hubblesphäre, Ereignishorizont, Lichtkegel und Partikelhorizont die Rezessionsgeschwindigkeiten dieser kosmologischen Oberflächen (und nicht die von Galaxien auf diesen Oberflächen) ausgegeben.
	<code>X</code>	<code>m211</code> -Vereinbarung wird beendet.
<code>MT</code>		Ausgabe der aktuellen Parameter

Die analoge Bedeutung hat der Befehl `m31`, der allerdings nur dann wirksam ist, wenn in der Folgezeile von -211 in der Steuerdatei der Platzhalter -31 aufgeführt ist. Genaugenommen ist dieser Befehl in der aktuellen Version von `WELTTABELLEN` nicht mehr erforderlich, es gibt aber noch zahlreiche alte Steuerdateien (insbesondere Folgen von Steuerdateien für Zeichnungen), in denen vom Platzhalter -31 Gebrauch gemacht wird. `m211` und `m31` überschreiben sich gegenseitig, es gilt nur der zuletzt aufgerufene Befehl. Die Wirkungen von `m211 X` und `m31 X` sind identisch, alle Vereinbarungen sind erloschen.

Möchte man z.B. die Ergebnisse zur Steuerdatei `STEUERW1t.TXT`, die wir bereits in der Programmbeschreibung, Kap. 4.4 abgerufen hatten, nun in mitbewegten Koordinaten ausgeben, kann man in der Konsolumgebung die Befehle

```
m211 0
d 1t
```

eingeben. Auch die Ergebnisse zu allen folgenden Aufgabe1-Steuerdateien werden nun in mitbewegten Koordinaten bereitgestellt. Möchte man die Präferenz für mitbewegte Koordinaten beenden, muss man den Befehl

```
m211 X
```

ausführen. Möchte man mitbewegte, physikalische (Galaxien) und physikalische (Hubblesphäre und Horizonte, siehe weiter oben) Koordinaten hintereinander ausführen, kann das z.B. durch die folgende Befehlsfolge geschehen:

<b><i>m211 0</i></b>	
<b><i>d It</i></b>	Kopieren STEUERW1t auf STEUERW, danach Ausführen w.exe
<b><i>m211 1</i></b>	
<b><i>w</i></b>	Ausführen von w.exe, Datei STEUERW.TXT unverändert
<b><i>m211 101</i></b>	
<b><i>w</i></b>	Ausführen von w.exe, Datei STEUERW.TXT unverändert
<b><i>m211 X</i></b>	

Einige weitere Details und die Umsetzung der Befehle in ein Dateiformat sind in der Programmbeschreibung, Kap. 5.8 auffindbar.

Hat man Kommentare in die Steuerdatei geschrieben (z.B. „physikalische Koordinaten“ hinter Steuertyp -103), so kann es selbstverständlich sein, dass die Bedeutung dieser in der Ausgabedatei angezeigten Kommentare nach der Ausführung eines m211-Befehls nicht mehr korrekt ist.

### ***8.16 Wartung, Fehlermeldungen, Änderungswünsche, Fragen und Kommentare***

E-Mail-Adresse des Autors: [info@welttabellen.com](mailto:info@welttabellen.com)

Im Falle von Fehlern kann sich der Benutzer via E-Mail an den Autor wenden. Die betroffene Steuerdatei sollte mit übermittelt werden. Im vermutlich unwahrscheinlichen Fall, dass die in die Programmausführung einbezogenen Dateien T\_NACH\_A\_parametersatz, GRENZENW und ITERATIONENW geändert wurden, sollten auch die geänderten Dateien mitgeliefert werden. Eventuell kann man auch noch die durch

w >v.txt (Konsolenausgabe von w)

erzeugte Datei v.txt mitsenden.

Änderungswünsche werden entgegengenommen und begutachtet. Definitiv nicht berücksichtigt werden folgende Vorschläge:

- Umkehrung der Ausgabereihenfolge;
- Graphische Benutzeroberfläche;
- Übersetzung der Druckausgabe des Programms oder der Programmbeschreibung in andere Sprachen.

Fragen und Kommentare werden gern entgegengenommen und im Normalfall beantwortet.

## 9 Anhang 2: Beispiele

### 9.1 Steuerdateien

WELTTABELLEN wird im Weiteren für 5 Steuerdateien ausgeführt. Bei den Steuerdateien wird nur die Namenserverweiterung (z.B. 1zp anstelle STEUERW1zp.TXT) erwähnt. Es wird davon ausgegangen, dass für die Dateinamen der Ausgabedateien die Voreinstellung ZZ verwendet wird und dass bisher keine Ausgabedateien vorhanden sind.

#### Steuerdatei 1zp ---> ZZ

```
-102
;1zp
-103
Eingabe Rotverschiebung z*=z(HEUTE). Ausgabe in physikalischen Koordinaten.
&&&
-111
18,-9, Planck 18, - OMEGA_R automatisch berechnet (-9)
-888,      - Photonendichte via Stefan-Boltzmann-Gesetz
-888,      - Neutrindichte via Neff * Multiplikator * Photonendichte
-888,      Kommentarzeile (-888)
-201
2, Eingabe z* (Rotverschiebung zu z(HEUTE)=0, da Scheitel z*=0 gemäß 1. Zeile hinter -301)
-211
1, Ausgabe in physikalischen Koordinaten
-301
1091,-1,1089,0,-8,      CMB, Scheitel z*=0, also Standardfall
9,-1,5,-8
4.2249,-0.0001,4.2247,-8,  z=4.2248 - SPT0418-47
4,-1,1,-8
0.264,-0.001,0.263,-8,  z=0.263 - Gravitationslinse SPT0418-47
0.2,-0.1,-0.1,-9
-999
```

Die Steuerdatei behandelt die Eingabe von Rotverschiebungen. Da der Standardscheitel  $z=0$  (entspricht  $a=1$ ,  $t=HEUTE$ ) verwendet wird, ist  $z=z^*$  im Sinne von Kap. 3.6. Da der Steuerbefehl -105 fehlt, wird Aufgabe 1 ausgeführt. Es werden 3 Dateien ausgegeben, ZZ.TXT, ZZ\_DELTA\_1zp\_P.TXT und ZZ\_REZESSION\_1zp\_P.TXT.

**Steuerdatei 1zprez ---> ZZA**

Eine weitere Steuerdatei 1zprez101 ist fast gleich wie 1zprez, lediglich wird in der Folgezeile von Steuertyp -211 nun der Wert 101 (anstelle 1) verwendet. Ausgegeben werden wieder physikalische Koordinaten, allerdings wird in der Datei ZZA\_REZESSION\_1zprez\_H nun die Rezessionsgeschwindigkeit von Hubblesphäre, Lichtkegel und Horizonten (und nicht mehr die von Galaxien auf Hubblesphäre, Lichtkegel und diesen Horizonten) ausgegeben. Zusätzlich enthält 1zprez den Steuertyp -114, wodurch  $\Omega_\gamma$  und  $\Omega_\nu$  zusätzlich ausgegeben werden. Die Dateien ZZA.TXT sowie ZZA\_DELTA\_1zprez\_H.TXT sind (bis auf die zusätzliche Ausgabe von  $\Omega_\gamma$  und  $\Omega_\nu$ ) gleich wie die Dateien ZZ.TXT bzw. ZZ\_DELTA\_1zprez\_P.TXT, wobei auch noch die einleitenden STYP-103-Texte beider Hauptausgabedateien unterschiedlich sind.

-102

;1zprez

-103

Eingabe Rotverschiebung  $z^*=z(\text{HEUTE})$ . Ausgabe in physikalischen Koordinaten.

Im \_REZESSION-File wird bei Hubblesphaere, Lichtkegel und Horizonten die Rezessionsgeschwindigkeit der Hubblesphaere, des Lichtkegels und der Horizonte ausgegeben, nicht die Rezessionsgeschwindigkeit von Galaxien auf diesen kosmologischen Oberflaechen.

&amp;&amp;&amp;

-111

18,-9, Planck 18, OMEGA\_R automatisch berechnet

-114

1,-9,-9,2, OMEGA\_GAMMA und OMEGA\_NY werden zusätzlich ausgegeben

-201

2, Eingabe  $z^*$  (Rotverschiebung zu  $z(\text{HEUTE})=0$ )

-211

101, Ausgabe physikalischer Koordinaten, Ausgabe der Rezessionsgeschwindigkeiten von -888, Hubblesphaere, Lichtkegel und Horizonten (-888 leitet Kommentarzeile ein)

-301

1090,-1,1089,0,-8, CMB, Scheitel  $z^*=0$ , also Standardfall

9,-1,5,-8

4.2249,-0.0001,4.2247,-8,  $z=4.2248$  - SPT0418-47

4,-1,1,-8

0.264,-0.001,0.263,-8,  $z=0.263$  - Gravitationslinse SPT0418-47

0.2,-0.1,-0.1,-9

-999

**Steuerdatei 2t ---> ZZB**

-102, STEUERKENNZEICHEN 2t  
 ;2t  
 -103,  
 Kosmologische Parameter für Scheitel bei t=HEUTE  
 &&&  
 -105  
 2, AUFGABE 2  
 3,-14, Kosmologische Parameter bei t=HEUTE  
 -111  
 18,-9, Planck 18, OMEGA\_R automatisch berechnet  
 -999

Erzeugt wird eine Datei ZZB.TXT, zusätzlich noch ZZB\_DELTA\_2t.TXT und ZZB\_REZESSION\_2t.TXT. In den letzten beiden Dateien werden die Ausgabeblöcke wie in den Dateien zu ZZ gehörenden DELTA- und RezeSSION-Dateien ausgegeben. Als Beispiel wird hier nur die Datei ZZB.TXT ausgedruckt.

**Steuerdatei 3-13-22S ---> ZZC**

-102, STEUERKENNZEICHEN 3-13-22S (wesentlicher Teil des Dateinamens der Steuerdatei)  
 ;3-13-22S  
 -103, Erläuternder Text  
 Es werden Lichtkegel für 3 t-äquidistante Schnittpunkte der HEUTE unter  $z=4.2248$  sichtbaren Galaxie SPT0418-47 mit Lichtkegeln zwischen dem HEUTE-Lichtkegel und dem Ereignishorizont ermittelt. Der Schnittpunkt zwischen Galaxie und Ereignishorizont können der 3. Zeile jedes Ausgabe-Pakets entnommen werden. Es wird außerdem festgestellt, dass die Galaxie die Hubblesphäre nicht schneidet.  
 &&&  
 -105  
 3, Aufgabe 3  
 -111  
 18,-9, Planck 18  
 -224  
 -22,-14,4.2248,  $(-22,-14,4.2248) = \text{Heute unter Rotverschiebung } z^*=4.2248 \text{ sichtbare Galaxie}$   
 -227  
 -9,-9,-9  
 13,2,  
 -8,3, Es werden Lichtkegel für 3 t-äquidistante Schnittpunkte (3)  
 -888, der Galaxie mit Lichtkegeln zwischen dem HEUTE-Lichtkegel (-8)  
 -888, der Galaxie und dem Ereignishorizont ermittelt.  
 -999

Als Beispiel wird hier nur die Datei ZZC.TXT ausgedruckt. Dateien ZZC\_DELTA\_3-13-22S.TXT und ZZC\_REZESSION\_3-13-22S.TXT werden von WELTTABELLEN ebenso erzeugt.

**Steuerdatei 1t-Variablen ---> ZZD**

-102, Dateiname der Ausgabedateien beginnt mit ZZ, Steuerkennzeichen: 1t-Variablen  
ZZ;1t-Variablen

-103

Durchläuft t von den kleinsten bis zu den größtmöglichen Werten. Ausgegeben in die Plotter-Datendatei wird:

a, t, tsec (t in Sekunden), konforme Zeit, Galaxie, Leuchtkraftdistanz, kritische Dichte, Volumen Beobachtbares Universum.

Unter "Galaxie" wird die Entfernung vom Beobachter eines mitbewegten Objektes verstanden, das kurz nach dem Urknall auf dem Lichtkegel LK(HEUTE) gelegen war.  $a=0 / t=0$  wird durch  $z*=1.D+16$  (entspricht im Rahmen der Genauigkeit  $a=1.D-16$ ,  $tsec=0.24D-12$ , also 0.24 mal  $10$  hoch  $-12$ , Sekunden nach dem Urknall) simuliert.

Es soll ohne Konzept nur gezeigt werden, was möglich ist.

&&&

-106, Ausgabe ins Standardverzeichnis

---

-107, Ausgabe in Plotter-Datendatei

9,4,3, a, t, tsec, konforme Zeit, Galaxie, Leuchtkraftdistanz,

1,3,25,10,13,14,17,22,24, kritische Dichte, Volumen Beobachtbares Universum

,# X Trenner und Kommentarzeichen

(A1,D15.8,30(A1,D15.8))

(A1,9X,A6,30(A1,9X,A6))

-888, "Galaxie" für  $z*=UNENDLICH$  (realisiert durch  $z*=1.0E+16$ ) auf LK(HEUTE)

-111

18,-9, Standard-Parametersatz Planck18. OMEGA\_R automatisch berechnet.

-120

1,1, externer Scheitel bei  $a=1$ , entspricht  $t=HEUTE$

-121

1,1.D-16, Wandelvariable 21:  $1.E-16$  - wird umgewandelt in t

-123

1,1.D30,0, Wandelvariable 23:  $1.E+30$  - wird umgewandelt in t

-201

3, Eingabewerte gemäß t

-211

-31, Ausgabe mitbewegter Koordinaten falls  $Ph-31=0$ , physikalischer Koordinaten falls  $Ph-31=1$  ( $Ph=$ Platzhalter)

-888, ITYP -1020 in ITERATIONENW oder Aufruf Datei MINUS31. Beim Ausdruck in der Programmbeschreibung = 0.

-221

-9,-9,-9,-9,2,-9,-9,-9,-9,-9, 5. Pos. 2 = Dichten in  $GeV/c^2/m^3$

-224

-222,-7,1.D+16, mitbewegtes Objekt, das beim externen Scheitelpunkt (-7, entspricht  $a=1$ , definiert durch STYP -120)

-888, durch Rotverschiebung von  $z*=UNENDLICH$  (realisiert durch  $1.E+16$ ) vom Beobachter sichtbar ist.

-301, Es folgen die einzugebenden t.

-21,0,0,-7,-8, Wandelvariable -21:  $a= 1.0D-16$ . Scheitelpunkt  $a=1$  ( $t=HEUTE$ ) - siehe STYP -120.

1.D-20,0,0,-8

1.D-15,0,0,-8

1.D-10,0,0,-8

-22,0,0,-8, Zeit CMB

1,2,13,-8

-7,0,0,-8

15,5,40,-8

100,250,1001,-8

-23,0,0,-9, Wandelvariable -23:  $a = 1.0E+30$ .

-999

Ziel der Bereitstellung dieser Steuerdatei ist lediglich zu zeigen, wie man verschiedene Variablen in eine Plotter-Datendatei ausgeben kann. Es gibt für die Wahl der ausgegebenen Variablen kein übergeordnetes Konzept. Die verfügbaren Variablen sind in Kap. 5.1, Steuertyp -107, erläutert.

Durch PKOPFTYP=4 in der Folgezeile von STYP=-107 wird bewirkt, dass für alle zu plottenden Variablen eine Kommentarzeile ausgegeben wird. Zusätzlich erfolgt der Ausdruck verschiedener Dimensionsangaben. Das Plotterprogramm ist eventuell nicht in der Lage, diese Kommentarzeilen zu verarbeiten. Man müsste überzählige Kommentarzeilen vor der Weiterverarbeitung löschen. Setzt man stattdessen PKOPFTYP=-3 (minus 3), so werden nur 2 Kommentarzeilen ausgedruckt, die z.B. von vom Plotterprogramm korrekt interpretiert werden. (Beim Plotterprogramm GNUPLOT bereiten die zusätzlichen Kommentarzeilen keine Schwierigkeiten.)

Als Beispiel wird nur die erzeugte Plotter-Datendatei **ZZD\_PLOT\_1t-Variablen\_P.TXT** aufgeführt.

**Steuerdatei 3-5-22\_plot ----> ZZE**

-102

ZZ;3-5-22\_plot

-103

AUFGABE 3, AUFGABE3EINGABEMODUS 5 (STYP -227), EIGENART -22 (STYP -224):

In der Dritten Zeile von Steuertyp -227 werden t-Scheitelpunkte erwartet. Betrachtet wird die Weltlinie einer Galaxie, die unter einer Rotverschiebung 4.2248 (SPT0418-47) beim Scheitel T=HEUTE des heutigen Lichtkegels SICHTBAR ist.

Bei welchen t (bzw. auch ausgedruckten a) schneidet die Galaxie die Lichtkegel mit den T-Scheitelpunkten der Dritten Zeile hinter STYP -227? Außerdem werden die Schnittpunkte (t, Galaxie, siehe STYP -107) der Galaxie mit den Lichtkegeln bis zum Ereignishorizont in die Plotter-Datendatei geschrieben.

Man findet die Schnittpunkte zwischen Galaxie und Lichtkegel jeweils in der zweiten Zeile der Ausgabepakete (t, Lichtkegel) - und natürlich auch in der Plotter-Datendatei (t, Galaxie). Den Schnittpunkt mit dem Ereignishorizont findet man in der 3. Zeile (t, Ereignishorizont).

&amp;&amp;&amp;

-105

3, Aufgabe 3

-107

2,5,3

3,14, t, Galaxie

,# #

(A1,F15.8,30(A1,F15.8))

(A1,9X,A6,30(A1,9X,A6))

-111

18,-9, Planck18, OMEGA\_R automatisch berechnet

-224

-22,-14,4.2248, Eigenart -22, -14 = Scheitelpunkt HEUTE (in t), z(HEUTE)=4.2248 (Galaxie SPT0418-47)

-888, Der mitbewegte Abstand D zur Galaxie wird gemessen im heutigen Lichtkegel bei einer Rotverschiebung von 4.2248.

-227

1,-9,1, Erste 1: Es werden physikalische Koordinaten geplottet. Letzte 1: Werte der 3. Zeile werden bei Ausgabe geordnet.

5,7, AUFGABE3EINGABEMODUS 5, 7 Scheitelpunkte werden in der nächsten Zeile erwartet

7,-8,28,31.940425456910599, 42,56,70, -8 entspricht Scheitelpunkt HEUTE des Standardlichtkegels, da AUFGABE3EINGABEMODUS=5.

3,-1,0,0, Sonderfall Anfangswert -1: nur für Variablen aus Vorzeile werden t, Galaxie, siehe STYP -107, in Plotter-Datendatei geschrieben.

-888, t markiert den Schnittpunkt der Galaxie mit dem Lichtkegel, der 7. Wert markiert den Schnittpunkt

-888, mit dem Ereignishorizont.

-888, Da die Werte der Dritten Zeile von STYP -227 bei der Ausgabe geordnet werden, steht 7 an erster, HEUTE (13.79...) an 2. Stelle.  
-403

Allgemeine Regel: Über STYP -224 wird der mitbewegte Abstand  $D$  vom Beobachter der in Frage stehenden Galaxie berechnet, und die Galaxie wird durch diesen mitbewegten Abstand  $D$  oberhalb der positiven radialen Koordinatenachse identifiziert. Durch die Apex-Eigenarten -2, -22, -202, -222, -4 und -5 wird in STYP - 224 zusätzlich jenes  $t$  bzw.  $a$  (hier das zu  $z(\text{HEUTE})=4.2248$  gehörige  $a$  oder  $t$ ) des physikalischen Abstands  $d$  bestimmt, über das der mitbewegte Abstand mittels  $D = d/a$  ermittelt wird.

Dieses kann als -8 in der Dritten Zeile von STYP -227 (nur AUFGABE3EINGABEMODi 1, 3, 11 oder 13 - wir verwenden aber in dieser Steuerdatei keinen dieser Modi) oder als -18 als  $a$ - oder  $t$ -Anfangs- oder Endwert bei STYP -301 (Eingabe 1 oder 3 gemäß STYP -201) abgerufen werden.

Bei den AUFGABE3EINGABEMODi 4 oder 5 (Eingabe von Scheitelpunkten, wie Modus 5 in unserem Fall) in STYP -227 ist -8 der Scheitelpunkt des durch STYP -224 bestimmten Lichtkegels (Scheitelpunkt A - als in der Programmbeschreibung - als Skalenfaktor oder als Zeit  $T$  seit dem Urknall).

Noch eine Bemerkung zu den Ausgabepaketten: Es kann sein, dass der Schnittpunkt der Galaxie mit dem Ereignishorizont oberhalb von Lichtkegel-Scheitelpunkten gelegen ist - wie im aktuellen Beispiel bei dem Scheitel mit  $T=7$  (Mrd. Jahre nach dem Urknall). Deshalb erscheint in der jeweils 3. Zeile des Ausgabepakets bei einem solchen Lichtkegel ein negativer Wert für eine Entfernung auf dem Vorwärts-Lichtkegel. Der Rückwärts-Lichtkegel ist gemäß unserer Konvention über der positiven radialen Koordinatenachse definiert und geht beim Scheitel (Abstand zum Beobachter: NULL) in den Vorwärts-Lichtkegel oberhalb der negativen radialen Koordinatenachse über.

&&&

-999

## 9.2 Befehlsausführung

Es werden auf der Konsole die Befehle

```
d 1zp
d 1zprez
d 2t
d 3-13-22S
d 1t-variablen
d 3-5-22_plot
```

ausgeführt. Die Ergebnisse werden im erwähnten Umfang auf den Folgeseiten präsentiert.

Die Mehrheit der Beispiele wurde mit WELTTABELLEN-Version 3.0 durchgerechnet. Nur für 1zprez erfolgte aufgrund wesentlicher Programmänderungen ein Ausdruck mittels der Version 3.1.

9.3 WELTTABELLEN-Ausdrucke

ZZ.TXT

Eingabe Rotverschiebung z\*=z(HEUTE). Ausgabe in physikalischen Koordinaten.

STEUERKENNZEICHEN: 1zp ITERATIONENDATEI-VARIANTE: WELTTABELLEN Version 3.0 Standard  
 Raemlich flaches Standardmodell der Kosmologie (Lambda-CDM-Modell)  
 OMEGA\_M: 0.31500 Hubble-Parameter H0: 67.4000 km/Mpc/s 0.21842852E-17 1/s (Planck18)  
 OMEGA\_R: 0.9209605429E-04 (automatisch berechnet)  
 OMEGA\_LAMBDA: 0.6849079039 (1-OMEGA\_M-OMEGA\_R) HEUTE: 13.7906868085 Mrd. Jahre nach dem Urknall

Rotverschiebung HEUTE z\*: 1090.0000 TEMPERATUR K CMB HEUTE: 2.72550000

\*\*\*\*\* Physikalische Koordinaten (Eigendistanz) \*\*\*\*\*

SCHEITELPUNKT RUECKWAERTS-LICHTKEGEL Rotverschiebung z=NULL, Skalenfaktor a=1, Kosmische Zeit t = HEUTE

a	z	t	LOOK-BACK	H	HUBBLE-RADIUS	EREIGNIS-HORIZT	LICHTKEGEL	PARTIKEL-HORIZT
NULL	UNENDLICH	Mrd. Jahre	Mrd. Jahre	km/Mpc/s	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre
NULL	UNENDLICH	NULL	13.79068681	UNENDLICH	NULL	NULL	NULL	NULL
0.91659028E-03	0.10900000E+04	0.37112700E-03	0.13790316E+02	0.15655625E+07	0.62456288E-03	0.56735680E-01	0.41447549E-01	0.83734635E-03
0.91743119E-03	0.10890000E+04	0.37170015E-03	0.13790315E+02	0.15632372E+07	0.62549189E-03	0.56787158E-01	0.41485000E-01	0.83868797E-03
0.10000000E+00	0.90000000E+01	0.54251036E+00	0.13248176E+02	0.11992766E+04	0.81531832E+00	0.47326882E+01	0.30647530E+01	0.15485290E+01
0.11111111E+00	0.80000000E+01	0.63556179E+00	0.13155125E+02	0.10242231E+04	0.95466721E+00	0.51605480E+01	0.33072868E+01	0.18185821E+01
0.12500000E+00	0.70000000E+01	0.75852197E+00	0.13032165E+02	0.85876734E+03	0.11385997E+01	0.56753476E+01	0.35904287E+01	0.21761738E+01
0.14285714E+00	0.60000000E+01	0.92678525E+00	0.12863902E+02	0.70351857E+03	0.13898599E+01	0.63064957E+01	0.39237313E+01	0.26666716E+01
0.16666667E+00	0.50000000E+01	0.11676325E+01	0.12623054E+02	0.55923427E+03	0.17484483E+01	0.70979424E+01	0.43180505E+01	0.33707529E+01
0.19139122E+00	0.42249000E+01	0.14360888E+01	0.12354598E+02	0.45555809E+03	0.21463612E+01	0.78636729E+01	0.46713914E+01	0.41580255E+01
0.19139489E+00	0.42248000E+01	0.14361299E+01	0.12354557E+02	0.45554520E+03	0.21464219E+01	0.78637823E+01	0.46714397E+01	0.41581461E+01
0.19139855E+00	0.42247000E+01	0.14361710E+01	0.12354516E+02	0.45553232E+03	0.21464827E+01	0.78638917E+01	0.46714881E+01	0.41582668E+01
0.20000000E+00	0.40000000E+01	0.15336604E+01	0.12257026E+02	0.42690049E+03	0.22904453E+01	0.81176548E+01	0.47817845E+01	0.44447795E+01
0.25000000E+00	0.30000000E+01	0.21384255E+01	0.11652261E+02	0.30789693E+03	0.31757128E+01	0.94736187E+01	0.53037808E+01	0.62294243E+01
0.33333333E+00	0.20000000E+01	0.32692405E+01	0.10521446E+02	0.20440507E+03	0.47836005E+01	0.11334023E+02	0.57742392E+01	0.96033675E+01
0.50000000E+00	0.10000000E+01	0.58407420E+01	0.79499448E+01	0.12068894E+03	0.81017547E+01	0.13885860E+02	0.55461842E+01	0.17520226E+02
0.79113924E+00	0.26400000E+00	0.10602438E+02	0.31882489E+01	0.77474288E+02	0.12620861E+02	0.16030293E+02	0.28346040E+01	0.33662880E+02
0.79176564E+00	0.26300000E+00	0.10612430E+02	0.31782572E+01	0.77430024E+02	0.12628076E+02	0.16032990E+02	0.28268527E+01	0.33699529E+02
0.83333333E+00	0.20000000E+00	0.11270340E+02	0.25203471E+01	0.74732556E+02	0.13083886E+02	0.16199791E+02	0.23003316E+01	0.36143685E+02
0.90909091E+00	0.10000000E+00	0.12440689E+02	0.13499973E+01	0.70827996E+02	0.13805166E+02	0.16450199E+02	0.12871521E+01	0.40651775E+02
0.10000000E+01	0.00000000E+00	0.13790687E+02	0.00000000E+00	0.67400000E+02	0.14507303E+02	0.16679351E+02	0.00000000E+00	0.46132820E+02
0.11111111E+01	-0.10000000E+00	0.15355125E+02	-0.15644380E+01	0.64457920E+02	0.15169466E+02	0.16883433E+02	-0.16491793E+01	0.52907868E+02
UNENDLICH	-1	UNENDLICH	minus UNENDLICH	0.55779676E+02	0.17529543E+02	0.17529543E+02	minus UNENDLICH	UNENDLICH

STEUERKENNZEICHEN: 1zp ITERATIONENDATEI-VARIANTE: WELTTABELLEN Version 3.0 Standard  
 Raeumlich flaches Standardmodell der Kosmologie (Lambda-CDM-Modell)  
 OMEGA\_M: 0.31500 Hubble-Parameter H0: 67.4000 km/Mpc/s 0.21842852E-17 1/s (Planck18)  
 OMEGA\_R: 0.9209605429E-04 (automatisch berechnet)  
 OMEGA\_LAMBDA: 0.6849079039 (1-OMEGA\_M-OMEGA\_R) HEUTE: 13.7906868085 Mrd. Jahre nach dem Urknall

Rotverschiebung HEUTE z\*: 1090.0000 TEMPERATUR K CMB HEUTE: 2.72550000  
 \*\*\*\*\* Physikalische Koordinaten (Eigendistanz) \*\*\*\*\*  
 SCHEITELPUNKT RUECKWAERTS-LICHTKEGEL Rotverschiebung z=NULL, Skalenfaktor a=1, Kosmische Zeit t = HEUTE

a	z	t	konformes t	LOOK-BACK	ER.HOR-HUB.RD	LICHT.K-HUB.RD	PA.HOR-ER.HOR	a'	a''	q
		Mrd. Jahre	Mrd. Jahre	Mrd. Jahre	Mrd. Lichtj.	Mrd. Lichtj.	Mrd. Lichtj.	km/Mpc/s	(km/Mpc/s)^2	
0.9165903E-03	0.1090000E+04	0.3711270E-03	0.9135449E+00	0.1379032E+02	0.5611112E-01	0.4082299E-01	-0.5589833E-01	0.14350E+04	-0.13949E+10	0.62092E+00
0.9174312E-03	0.1089000E+04	0.3717002E-03	0.9141699E+00	0.1379032E+02	0.5616167E-01	0.4085951E-01	-0.5594847E-01	0.14342E+04	-0.13919E+10	0.62083E+00
0.1000000E+00	0.9000000E+01	0.5425104E+00	0.1548529E+02	0.1324818E+02	0.3917370E+01	0.2249435E+01	-0.3184159E+01	0.11993E+03	-0.71656E+05	0.49821E+00
0.1111111E+00	0.8000000E+01	0.6355618E+00	0.1636724E+02	0.1315513E+02	0.4205881E+01	0.2352620E+01	-0.3341966E+01	0.11380E+03	-0.57914E+05	0.49686E+00
0.1250000E+00	0.7000000E+01	0.7585220E+00	0.1740939E+02	0.1303216E+02	0.4536748E+01	0.2451829E+01	-0.3499174E+01	0.10735E+03	-0.45616E+05	0.49483E+00
0.1428571E+00	0.6000000E+01	0.9267853E+00	0.1866670E+02	0.1286390E+02	0.4916636E+01	0.2533871E+01	-0.3639824E+01	0.10050E+03	-0.34758E+05	0.49159E+00
0.1666667E+00	0.5000000E+01	0.1167632E+01	0.2022452E+02	0.1262305E+02	0.5349494E+01	0.2569602E+01	-0.3727189E+01	0.93206E+02	-0.25329E+05	0.48594E+00
0.1913912E+00	0.4224900E+01	0.1436089E+01	0.2172527E+02	0.1235460E+02	0.5717312E+01	0.2525030E+01	-0.3705647E+01	0.87190E+02	-0.18997E+05	0.47826E+00
0.1913949E+00	0.4224800E+01	0.1436130E+01	0.2172548E+02	0.1235456E+02	0.5717360E+01	0.2525018E+01	-0.3705636E+01	0.87189E+02	-0.18996E+05	0.47826E+00
0.1913985E+00	0.4224700E+01	0.1436171E+01	0.2172570E+02	0.1235452E+02	0.5717409E+01	0.2525005E+01	-0.3705625E+01	0.87188E+02	-0.18995E+05	0.47826E+00
0.2000000E+00	0.4000000E+01	0.1533660E+01	0.2222390E+02	0.1225703E+02	0.5827209E+01	0.2491339E+01	-0.3672875E+01	0.85380E+02	-0.17317E+05	0.47511E+00
0.2500000E+00	0.3000000E+01	0.2138425E+01	0.2491770E+02	0.1165226E+02	0.6297906E+01	0.2128068E+01	-0.3244194E+01	0.76974E+02	-0.10697E+05	0.45133E+00
0.3333333E+00	0.2000000E+01	0.3269241E+01	0.2881010E+02	0.1052145E+02	0.6550422E+01	0.9906387E+00	-0.1730656E+01	0.68135E+02	-0.54135E+04	0.38870E+00
0.5000000E+00	0.1000000E+01	0.5840742E+01	0.3504045E+02	0.7949945E+01	0.5784105E+01	-0.2555570E+01	0.3634366E+01	0.60344E+02	-0.13096E+04	0.17982E+00
0.7911392E+00	0.2640000E+00	0.1060244E+02	0.4254988E+02	0.3188249E+01	0.3409432E+01	-0.9786257E+01	0.1763259E+02	0.61293E+02	0.13176E+04	-0.27746E+00
0.7917656E+00	0.2630000E+00	0.1061243E+02	0.4256251E+02	0.3178257E+01	0.3404914E+01	-0.9801223E+01	0.1766654E+02	0.61306E+02	0.13213E+04	-0.27835E+00
0.8333333E+00	0.2000000E+00	0.1127034E+02	0.4337242E+02	0.2520347E+01	0.3115905E+01	-0.1078355E+02	0.1994389E+02	0.62277E+02	0.15618E+04	-0.33557E+00
0.9090909E+00	0.1000000E+00	0.1244069E+02	0.4471695E+02	0.1349997E+01	0.2645033E+01	-0.1251801E+02	0.2420158E+02	0.64389E+02	0.19622E+04	-0.43026E+00
0.1000000E+01	0.0000000E+00	0.1379069E+02	0.4613282E+02	0.0000000E+00	0.2172048E+01	-0.1450730E+02	0.2945347E+02	0.67400E+02	0.23955E+04	-0.52732E+00
0.1111111E+01	-0.1000000E+00	0.1535512E+02	0.4761708E+02	-0.1564438E+01	0.1713967E+01	-0.1681865E+02	0.3602444E+02	0.71620E+02	0.28772E+04	-0.62325E+00

## ZZ\_REZESSION\_1zp\_P.TXT

STEUERKENNZEICHEN: 1zp ITERATIONENDATEI-VARIANTE: WELTTABELLEN Version 3.0 Standard

Räumlich flaches Standardmodell der Kosmologie (Lambda-CDM-Modell)

OMEGA\_M: 0.31500 Hubble-Parameter H0: 67.4000 km/Mpc/s 0.21842852E-17 1/s (Planck18)

OMEGA\_R: 0.9209605429E-04 (automatisch berechnet)

OMEGA\_LAMBDA: 0.6849079039 (1-OMEGA\_M-OMEGA\_R) HEUTE: 13.7906868085 Mrd. Jahre nach dem Urknall

Rotverschiebung HEUTE z\*: 1090.0000 TEMPERATUR K CMB HEUTE: 2.72550000

\*\*\*\*\* Physikalische Koordinaten (Eigendistanz) \*\*\*\*\*

SCHEITELPUNKT RUECKWAERTS-LICHTKEGEL Rotverschiebung z=NULL, Skalenfaktor a=1, Kosmische Zeit t = HEUTE

## AUSGABE DER REZESSIONSGESCHWINDIGKEITEN VON GALAXIEN

oder im fruehen Universum von (eventuell fiktiven) als ruhend angenommenen massebehafteten Objekten

a	z	t	LOOK-BACK	H	HUBBLE-RADIUS	EREIGNIS-HORIZT	LICHTKEGEL	PARTIKEL-HORIZT
		Mrd. Jahre	Mrd. Jahre	km/Mpc/s	c	c	c	c
0.91659028E-03	0.10900000E+04	0.37112700E-03	0.13790316E+02	0.15655625E+07	0.10000000E+01	0.90840621E+02	0.66362491E+02	0.13406918E+01
0.91743119E-03	0.10890000E+04	0.37170015E-03	0.13790315E+02	0.15632372E+07	0.10000000E+01	0.90787999E+02	0.66323802E+02	0.13408455E+01
0.10000000E+00	0.90000000E+01	0.54251036E+00	0.13248176E+02	0.11992766E+04	0.10000000E+01	0.58047122E+01	0.37589650E+01	0.18992938E+01
0.11111111E+00	0.80000000E+01	0.63556179E+00	0.13155125E+02	0.10242231E+04	0.10000000E+01	0.54055990E+01	0.34643348E+01	0.19049383E+01
0.12500000E+00	0.70000000E+01	0.75852197E+00	0.13032165E+02	0.85876734E+03	0.10000000E+01	0.49844978E+01	0.31533723E+01	0.19112721E+01
0.14285714E+00	0.60000000E+01	0.92678525E+00	0.12863902E+02	0.70351857E+03	0.10000000E+01	0.45375048E+01	0.28231129E+01	0.19186623E+01
0.16666667E+00	0.50000000E+01	0.11676325E+01	0.12623054E+02	0.55923427E+03	0.10000000E+01	0.40595666E+01	0.24696472E+01	0.19278539E+01
0.19139122E+00	0.42249000E+01	0.14360888E+01	0.12354598E+02	0.45555809E+03	0.10000000E+01	0.36637230E+01	0.21764237E+01	0.19372440E+01
0.19139489E+00	0.42248000E+01	0.14361299E+01	0.12354557E+02	0.45554520E+03	0.10000000E+01	0.36636703E+01	0.21763846E+01	0.19372454E+01
0.19139855E+00	0.42247000E+01	0.14361710E+01	0.12354516E+02	0.45553232E+03	0.10000000E+01	0.36636176E+01	0.21763456E+01	0.19372469E+01
0.20000000E+00	0.40000000E+01	0.15336604E+01	0.12257026E+02	0.42690049E+03	0.10000000E+01	0.35441382E+01	0.20877095E+01	0.19405744E+01
0.25000000E+00	0.30000000E+01	0.21384255E+01	0.11652261E+02	0.30789693E+03	0.10000000E+01	0.29831471E+01	0.16701072E+01	0.19615830E+01
0.33333333E+00	0.20000000E+01	0.32692405E+01	0.10521446E+02	0.20440507E+03	0.10000000E+01	0.23693498E+01	0.12070906E+01	0.20075605E+01
0.50000000E+00	0.10000000E+01	0.58407420E+01	0.79499448E+01	0.12068894E+03	0.10000000E+01	0.17139324E+01	0.68456581E+00	0.21625224E+01
0.79113924E+00	0.26400000E+00	0.10602438E+02	0.31882489E+01	0.77474288E+02	0.10000000E+01	0.12701426E+01	0.22459672E+00	0.26672412E+01
0.79176564E+00	0.26300000E+00	0.10612430E+02	0.31782572E+01	0.77430024E+02	0.10000000E+01	0.12696305E+01	0.22385459E+00	0.26686195E+01
0.83333333E+00	0.20000000E+00	0.11270340E+02	0.25203471E+01	0.74732556E+02	0.10000000E+01	0.12381483E+01	0.17581410E+00	0.27624580E+01
0.90909091E+00	0.10000000E+00	0.12440689E+02	0.13499973E+01	0.70827996E+02	0.10000000E+01	0.11915973E+01	0.93236991E-01	0.29446786E+01
0.10000000E+01	0.00000000E+00	0.13790687E+02	0.00000000E+00	0.67400000E+02	0.10000000E+01	0.11497210E+01	0.00000000E+00	0.31799722E+01
0.11111111E+01	-0.10000000E+00	0.15355125E+02	-0.15644380E+01	0.64457920E+02	0.10000000E+01	0.11129880E+01	-0.10871703E+00	0.34877871E+01

## ZZA\_REZESSION\_1zprez\_H.TXT

STEUERKENNZEICHEN: 1zprez ITERATIONENDATEI-VARIANTE: 3.1 WTAB  
 Raeumlich flaches Standardmodell der Kosmologie (Lambda-CDM-Modell)  
 OMEGA\_M: 0.31500 Hubble-Parameter H0: 67.4000 km/Mpc/s 0.21842852E-17 1/s (Planck18)  
 OMEGA\_R: 0.9209605429E-04 (automatisch berechnet)  
 OMEGA\_LAMBDA: 0.6849079039 (1-OMEGA\_M-OMEGA\_R) HEUTE: 13.7906868085 Mrd. Jahre nach dem Urknall  
 OMEGA\_gamma: 0.5443772779E-04 OMEGA\_ny: 0.3765832650E-04

Rotverschiebung CMB HEUTE z\*: 1090.0000 TEMPERATUR K CMB HEUTE: 2.72550000

\*\*\*\*\* Physikalische Koordinaten (Eigendistanz) \*\*\*\*\*

SCHEITELPUNKT RUECKWAERTS-LICHTKEGEL Rotverschiebung z=NULL, Skalenfaktor a=1, Kosmische Zeit t = HEUTE

AUSGABE DER REZESSIONSGESCHWINDIGKEITEN VON HUBBLESPPHAERE, LICHTKEGEL, EREIGNISHORIZONT UND PARTIKELHORIZONT  
 IN PHYSIKALISCHEN KOORDINATEN

a	z	t	LOOK-BACK	H	HUBBLE-RADIUS	EREIGNIS-HORIZT	LICHTKEGEL	PARTIKEL-HORIZT
		Mrd. Jahre	Mrd. Jahre	km/Mpc/s	c	c	c	c
0.91659028E-03	0.10900000E+04	0.37112700E-03	0.13790316E+02	0.15655625E+07	0.16209175E+01	0.89840621E+02	0.65362491E+02	0.23406918E+01
0.91743119E-03	0.10890000E+04	0.37170015E-03	0.13790315E+02	0.15632372E+07	0.16208334E+01	0.89787999E+02	0.65323802E+02	0.23408455E+01
0.10000000E+00	0.90000000E+01	0.54251036E+00	0.13248176E+02	0.11992766E+04	0.14982095E+01	0.48047122E+01	0.27589650E+01	0.28992938E+01
0.11111111E+00	0.80000000E+01	0.63556179E+00	0.13155125E+02	0.10242231E+04	0.14968594E+01	0.44055990E+01	0.24643348E+01	0.29049383E+01
0.12500000E+00	0.70000000E+01	0.75852197E+00	0.13032165E+02	0.85876734E+03	0.14948334E+01	0.39844978E+01	0.21533723E+01	0.29112721E+01
0.14285714E+00	0.60000000E+01	0.92678525E+00	0.12863902E+02	0.70351857E+03	0.14915852E+01	0.35375048E+01	0.18231129E+01	0.29186623E+01
0.16666667E+00	0.50000000E+01	0.11676325E+01	0.12623054E+02	0.55923427E+03	0.14859439E+01	0.30595666E+01	0.14696472E+01	0.29278539E+01
0.19139122E+00	0.42249000E+01	0.14360888E+01	0.12354598E+02	0.45555809E+03	0.14782629E+01	0.26637230E+01	0.11764237E+01	0.29372440E+01
0.19139489E+00	0.42248000E+01	0.14361299E+01	0.12354557E+02	0.45554520E+03	0.14782617E+01	0.26636703E+01	0.11763846E+01	0.29372454E+01
0.19139855E+00	0.42247000E+01	0.14361710E+01	0.12354516E+02	0.45553232E+03	0.14782604E+01	0.26636176E+01	0.11763456E+01	0.29372469E+01
0.20000000E+00	0.40000000E+01	0.15336604E+01	0.12257026E+02	0.42690049E+03	0.14751086E+01	0.25441382E+01	0.10877095E+01	0.29405744E+01
0.25000000E+00	0.30000000E+01	0.21384255E+01	0.11652261E+02	0.30789693E+03	0.14513346E+01	0.19831471E+01	0.67010718E+00	0.29615830E+01
0.33333333E+00	0.20000000E+01	0.32692405E+01	0.10521446E+02	0.20440507E+03	0.13887038E+01	0.13693498E+01	0.20709060E+00	0.30075605E+01
0.50000000E+00	0.10000000E+01	0.58407420E+01	0.79499448E+01	0.12068894E+03	0.11798182E+01	0.71393241E+00	-0.31543419E+00	0.31625224E+01
0.79113924E+00	0.26400000E+00	0.10602438E+02	0.31882489E+01	0.77474288E+02	0.72253947E+00	0.27014262E+00	-0.77540328E+00	0.36672412E+01
0.79176564E+00	0.26300000E+00	0.10612430E+02	0.31782572E+01	0.77430024E+02	0.72165004E+00	0.26963048E+00	-0.77614541E+00	0.36686195E+01
0.83333333E+00	0.20000000E+00	0.11270340E+02	0.25203471E+01	0.74732556E+02	0.66442932E+00	0.23814831E+00	-0.82418590E+00	0.37624580E+01
0.90909091E+00	0.10000000E+00	0.12440689E+02	0.13499973E+01	0.70827996E+02	0.56973899E+00	0.19159735E+00	-0.90676301E+00	0.39446786E+01
0.10000000E+01	0.00000000E+00	0.13790687E+02	0.00000000E+00	0.67400000E+02	0.47268419E+00	0.14972103E+00	-0.10000000E+01	0.41799722E+01
0.11111111E+01	-0.10000000E+00	0.15355125E+02	-0.15644380E+01	0.64457920E+02	0.37674622E+00	0.11298798E+00	-0.11087170E+01	0.44877871E+01

Kosmologische Parameter für Scheitel bei t=HEUTE

STEUERKENNZEICHEN: 2t ITERATIONENDATEI-VARIANTE: WELTTABELLEN Version 3.0 Standard  
 Raeumlich flaches Standardmodell der Kosmologie (Lambda-CDM-Modell)  
 OMEGA\_M: 0.31500 Hubble-Parameter H0: 67.4000 km/Mpc/s 0.21842852E-17 1/s (Planck18)  
 OMEGA\_R: 0.9209605429E-04 (automatisch berechnet)  
 OMEGA\_LAMBDA: 0.6849079039 (1-OMEGA\_M-OMEGA\_R) HEUTE: 13.7906868085 Mrd. Jahre nach dem Urknall

Rotverschiebung HEUTE z\*: 1090.0000 TEMPERATUR K CMB HEUTE: 2.72550000  
 SCHEITELPUNKT RUECKWAERTS-LICHTKEGEL Skalenfaktor: 0.10000000E+01  
 SCHEITELPUNKT RUECKWAERTS-LICHTKEGEL (Kosmische Zeit Mrd. Jahre): 0.13790687E+02

Kosmologische Parameter in mitbewegten und physikalischen Koordinaten

Schnittpunkt zwischen Ereignishoriz. und Partikelhoriz. bei a= 0.3971313141819E+00, mitbewegter Entfernung= 0.3140608583E+02 Mrd. Lichtjahren  
 Schnittpunkt liegt auf der durch z(Scheitel)= 0.9999500794E+01 markierten Weltlinie" (siehe Beschreibung Kap. 3.6 oder Quelle [2] 3.4)

\*\*\*\*\* Mitbewegte Koordinaten \*\*\*\*\*

a	z	t	LOOK-BACK	H	HUBBLE-RADIUS	EREIGNIS-HORIZT	LICHTKEGEL	PARTIKEL-HORIZT
		Mrd. Jahre	Mrd. Jahre	km/Mpc/s	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre
0.39713131E+00	0.15180588E+01	0.42158248E+01	0.95748620E+01	0.16116801E+03	0.15276843E+02	0.31406086E+02	0.14726734E+02	0.31406086E+02
0.90913217E-01	0.99995008E+01	0.47012865E+00	0.13320558E+02	0.13833281E+04	0.77748919E+01	0.48085437E+02	0.31406086E+02	0.14726734E+02

\*\*\*\*\* Physikalische Koordinaten (Eigendistanz) \*\*\*\*\*

0.39713131E+00	0.15180588E+01	0.42158248E+01	0.95748620E+01	0.16116801E+03	0.60669126E+01	0.12472340E+02	0.58484474E+01	0.12472340E+02
0.90913217E-01	0.99995008E+01	0.47012865E+00	0.13320558E+02	0.13833281E+04	0.70684043E+00	0.43716018E+01	0.28552283E+01	0.13388548E+01

Schnittpunkt zwischen Lichtkegel und Partikelhorizont bei a= 0.2149990187620E+00 und mitbewegter Entfernung= 0.2306641015E+02 Mrd. Lichtjahren

\*\*\*\*\* Mitbewegte Koordinaten \*\*\*\*\*

a	z	t	LOOK-BACK	H	HUBBLE-RADIUS	EREIGNIS-HORIZT	LICHTKEGEL	PARTIKEL-HORIZT
		Mrd. Jahre	Mrd. Jahre	km/Mpc/s	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre
0.21499902E+00	0.36511840E+01	0.17084411E+01	0.12082246E+02	0.38378821E+03	0.11850003E+02	0.39745762E+02	0.23066410E+02	0.23066410E+02

\*\*\*\*\* Physikalische Koordinaten (Eigendistanz) \*\*\*\*\*

0.21499902E+00	0.36511840E+01	0.17084411E+01	0.12082246E+02	0.38378821E+03	0.25477391E+01	0.85452997E+01	0.49592555E+01	0.49592555E+01
----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------

Schnittpunkt zwischen Lichtkegel und Hubble-Radius bei a= 0.3864530645325730E+00 und mitbewegter Entfernung= 0.1514129051E+02 Mrd. Lichtjahren

\*\*\*\*\* Mitbewegte Koordinaten \*\*\*\*\*

a	z	t	LOOK-BACK	H	HUBBLE-RADIUS	EREIGNIS-HORIZT	LICHTKEGEL	PARTIKEL-HORIZT
		Mrd. Jahre	Mrd. Jahre	km/Mpc/s	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre
0.38645306E+00	0.15876364E+01	0.40534118E+01	0.97372750E+01	0.16710403E+03	0.15141291E+02	0.31820642E+02	0.15141291E+02	0.30991530E+02

\*\*\*\*\* Physikalische Koordinaten (Eigendistanz) \*\*\*\*\*

0.38645306E+00	0.15876364E+01	0.40534118E+01	0.97372750E+01	0.16710403E+03	0.58513981E+01	0.12297185E+02	0.58513981E+01	0.11976772E+02
----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------

Übergang von verlangsamer zu beschleunigter Expansion bei  $a = 0.6128499921842745E+00$ , berechnet mittels Abbremsparameter  $q$  via  $a''(t)$

\*\*\*\*\* Physikalische Koordinaten (Eigendistanz) \*\*\*\*\*

a	z	t	LOOK-BACK	H	HUBBLE-RADIUS	EREIGNIS-HORIZT	LICHTKEGEL	PARTIKEL-HORIZT
		Mrd. Jahre	Mrd. Jahre	km/Mpc/s	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre
0.61284999E+00	0.63172067E+00	0.76931755E+01	0.60975113E+01	0.96597882E+02	0.10122295E+02	0.14973244E+02	0.47513039E+01	0.23521195E+02

\*\*\*\*\* Mitbewegte Koordinaten \*\*\*\*\*

0.61284999E+00	0.63172067E+00	0.76931755E+01	0.60975113E+01	0.96597882E+02	0.16516757E+02	0.24432152E+02	0.77528008E+01	0.38380019E+02
----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------

Wendepunkt des mitbewegten Hubble-Radius bei  $a=aWEND = 0.123777006819659E+01$  bzw.  $t = 0.1702377910034602E+02$  Mrd. Jahre nach dem Urknall  
 $z*=z(a = 0.10000000E+01) = -0.1920954664514678E+00$

Funktionswert der 2. Ableitung des mitbewegten Hubble-Radius in Beschleunigung  $c/s$ :

aWEND-0.00001	aWEND	aWEND+0.00001
-0.2631203430969265E-22	-0.5893798939166643E-33	0.2631109578735697E-22

Übergang von Linkskrümmung zu Rechtskrümmung in Koordinatensystem mit senkrechter  $a$ - oder  $t$ -Achse und waagerechter Achse für den positiven radialen mitbewegten Abstand zum Beobachter.

EXAKTE AEQUIVALENZEN ZWISCHEN KOSMOLOGISCHEN DICHTEPARAMETERN

$\rho_R = \text{STRAHLUNGSDICHTE}$        $\rho_M = \text{MATERIEDICHTE}$   
 $\rho_\Lambda = \text{DUNKLE-ENERGIE-DICHTE}$        $\rho_T = \text{KRITISCHE DICHTE}$

Strahlungs-Materie-Aequivalenz:  $a = 0.2923684263147733E-03$   $t = 0.5046324369664477E-04$  Mrd. Jahre

	a	t	$\rho_R$	$\rho_M$	$\rho_\Lambda$	$\rho_T$
kg/m <sup>3</sup>	0.29236843E-03	0.50463244E-04	0.10755077E-15	0.10755077E-15	0.58442200E-26	0.21510154E-15
GeV/c <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	0.29236843E-03	0.50463244E-04	0.60331557E+11	0.60331557E+11	0.32783670E+01	0.12066311E+12
Anteil	0.29236843E-03	0.50463244E-04	0.50000000E+00	0.50000000E+00	0.27169587E-10	0.10000000E+01

Materie-Dunkle-Energie-Aequivalenz:  $a = 0.7718971875812315E+00$   $t = 0.1029446215077202E+02$  Mrd. Jahre

	a	t	$\rho_R$	$\rho_M$	$\rho_\Lambda$	$\rho_T$
kg/m <sup>3</sup>	0.77189719E+00	0.10294462E+02	0.22135919E-29	0.58442200E-26	0.58442200E-26	0.11690654E-25
GeV/c <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	0.77189719E+00	0.10294462E+02	0.12417340E-02	0.32783670E+01	0.32783670E+01	0.65579757E+01
Anteil	0.77189719E+00	0.10294462E+02	0.18934715E-03	0.49990533E+00	0.49990533E+00	0.10000000E+01

1/3 versus 2/3 Anteile bei  $q=0$ :  $a = 0.6128499921842745E+00$   $t = 0.7693175521172346E+01$  Mrd. Jahre

	a	t	$\rho_R$	$\rho_M$	$\rho_\Lambda$	$\rho_T$
kg/m <sup>3</sup>	0.61284999E+00	0.76931755E+01	0.55708140E-29	0.11677298E-25	0.58442200E-26	0.17527089E-25
GeV/c <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	0.61284999E+00	0.76931755E+01	0.31249975E-02	0.65504839E+01	0.32783670E+01	0.98319759E+01
Anteil	0.61284999E+00	0.76931755E+01	0.31784023E-03	0.66624288E+00	0.33343928E+00	0.10000000E+01

GeV=Gigaelektronenvolt       $c$ =Lichtgeschwindigkeit  
 $q=0$  kennzeichnet den Uebergang von verlangsamer zu beschleunigter Expansion

Es werden Lichtkegel für 3 t-äquidistante Schnittpunkte der HEUTE unter  $z=4.2248$  sichtbaren Galaxie SPT0418-47 mit Lichtkegeln zwischen dem HEUTE-Lichtkegel und dem Ereignishorizont ermittelt. Der Schnittpunkt zwischen Galaxie und Ereignishorizont können der 3. Zeile jedes Ausgabe-Pakets entnommen werden. Es wird außerdem festgestellt, dass die Galaxie die Hubblesphäre nicht schneidet.

STEUERKENNZEICHEN: 3-13-225 ITERATIONENDATEI-VARIANTE: WELTTABELLEN Version 3.0 Standard  
 Raeumlich flaches Standardmodell der Kosmologie (Lambda-CDM-Modell)  
 OMEGA\_M: 0.31500 Hubble-Parameter H0: 67.4000 km/Mpc/s 0.21842852E-17 1/s (Planck18)  
 OMEGA\_R: 0.9209605429E-04 (automatisch berechnet)  
 OMEGA\_LAMBDA: 0.6849079039 (1-OMEGA\_M-OMEGA\_R) HEUTE: 13.7906868085 Mrd. Jahre nach dem Urknall

Rotverschiebung HEUTE  $z^*$ : 1090.0000 TEMPERATUR K CMB HEUTE: 2.72550000

Benutzereingabe zur Kennzeichnung der Galaxie:

SCHTEITEL-a Lichtkegel= 0.10000000E+01 SCHTEITEL-t Lichtkegel= 0.13790687E+02 Mrd. Jahre  
 Abstand vom Beobachter der Galaxie auf dem Lichtkegel wird gemessen bei  $a= 0.19139489E+00$   $t= 0.14361299E+01$  Mrd. Jahre,  $z= 0.42248000E+01$

ÜBERGANG VON VERLANGSAMTER ZU BESCHLEUNIGTER EXPANSION BEI  $a= 0.6128499921842745E+00$   $t= 0.7693175521172346E+01$  MRD. JAHRE  
 HUBBLE-RADIUS ÜBERGANG MITBEWEGT 0.1651675728933338E+02 MRD. LICHTJAHRE  
 HUBBLE-RADIUS ÜBERGANG PHYSIKALISCH 0.1012229457567752E+02 MRD. LICHTJAHRE  
 Mitbewegte Entfernung Galaxie 24.4073383582 Mrd. Lj. > Maximum des mitbewegten Hubbleradius 16.5167572893 Mrd. Lj.  
 Galaxie schneidet Hubblesphäre nicht.

Betrachtet wird eine im Hubble-Flow treibende Galaxie mit einem mitbewegten radialen Abstand von  $0.244073383582E+02$  Mrd. Lichtjahren zum Beobachter. Der heutige Ort des im Hubble-Flow treibenden Beobachters ist in der Milchstrasse gelegen.

WELTLINIE EINER GALAXIE VIA ZEITPFAD

Galaxie schneidet Ereignishorizont bei  $a= 0.61377140E+00$   $t= 0.77083941E+01$  Mrd. Jahren  
 Hinweis: Rotverschiebung  $z$  und Look-Back-Time beziehen sich auf den Scheitelpunkt des Rueckwaerts-Lichtkegels.

Ausgabereihenfolge

1. Scheitelpunkt des Rueckwaerts-Lichtkegels
2. Schnittpunkt Galaxie - Lichtkegel
3. Schnittpunkt Galaxie - Ereignishorizont
4. Schnittpunkt Lichtkegel - Hubblesphaere

$z$  beim Schnittpunkt Galaxie-Ereignishorizont bezieht sich auf Rotverschiebung zu mitbewegtem Objekt auf dem Lichtkegel zum Skalenfaktor/Zeitpunkt des Schnittpunkts

Galaxie schneidet bei  $a= 0.19139489E+00$   $t= 0.14361299E+01$  Mrd. Jahren den Lichtkegel mit SCHTEITEL bei  $a= 0.10000000E+01$   $t= 0.13790687E+02$  Mrd. Jahren  
 Schnittpunkt zwischen Lichtkegel und Hubble-Radius bei  $a= 0.38645306E+00$  und mitbewegter Entfernung=  $0.15141291E+02$  Mrd. Lichtjahren.

\*\*\*\*\* Mitbewegte Koordinaten \*\*\*\*\*

a	z	t	LOOK-BACK	H	HUBBLE-RADIUS	EREIGNIS-HORIZT	LICHTKEGEL	PARTIKEL-HORIZT
Rv	z(Scheitel)	Mrd. Jahre	Mrd. Jahre	km/Mpc/s	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre
0.10000000E+01	0.00000000E+00	0.13790687E+02	0.00000000E+00	0.67400000E+02	0.14507303E+02	0.16679351E+02	0.00000000E+00	0.46132820E+02
0.19139489E+00	0.42248000E+01	0.14361299E+01	0.12354557E+02	0.45554520E+03	0.11214625E+02	0.41086690E+02	0.24407338E+02	0.21725482E+02
0.61377140E+00	0.62927110E+00	0.77083941E+01	0.60822927E+01	0.96452977E+02	0.16516739E+02	0.24407338E+02	0.77279870E+01	0.38404833E+02
0.38645306E+00	0.15876364E+01	0.40534118E+01	0.97372750E+01	0.16710403E+03	0.15141291E+02	0.31820642E+02	0.15141291E+02	0.30991530E+02

\*\*\*\*\* Physikalische Koordinaten (Eigendistanz) \*\*\*\*\*

0.10000000E+01	0.00000000E+00	0.13790687E+02	0.00000000E+00	0.67400000E+02	0.14507303E+02	0.16679351E+02	0.00000000E+00	0.46132820E+02
0.19139489E+00	0.42248000E+01	0.14361299E+01	0.12354557E+02	0.45554520E+03	0.21464219E+01	0.78637823E+01	0.46714397E+01	0.41581461E+01
0.61377140E+00	0.62927110E+00	0.77083941E+01	0.60822927E+01	0.96452977E+02	0.10137502E+02	0.14980526E+02	0.47432174E+01	0.23571788E+02
0.38645306E+00	0.15876364E+01	0.40534118E+01	0.97372750E+01	0.16710403E+03	0.58513981E+01	0.12297185E+02	0.58513981E+01	0.11976772E+02

Galaxie schneidet bei a= 0.31465557E+00 t= 0.30041959E+01 Mrd. Jahren den Lichtkegel mit SCHEITEL bei a= 0.16632573E+01 t= 0.21833129E+02 Mrd. Jahren  
Schnittpunkt zwischen Lichtkegel und Hubble-Radius bei a= 0.53165178E+00 und mitbewegter Entfernung= 0.16359198E+02 Mrd. Lichtjahren.

\*\*\*\*\* Mitbewegte Koordinaten \*\*\*\*\*

a	z	t	LOOK-BACK	H	HUBBLE-RADIUS	EREIGNIS-HORIZT	LICHTKEGEL	PARTIKEL-HORIZT
Rv z(Scheitel)	Mrd. Jahre	Mrd. Jahre	km/Mpc/s	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre
0.16632573E+01	0.00000000E+00	0.21833129E+02	0.00000000E+00	0.58501461E+02	0.10048944E+02	0.10412920E+02	0.00000000E+00	0.52399251E+02
0.31465557E+00	0.42859617E+01	0.30041959E+01	0.18828933E+02	0.22155580E+03	0.14025812E+02	0.34820259E+02	0.24407338E+02	0.27991913E+02
0.61377140E+00	0.17098971E+01	0.77083941E+01	0.14124734E+02	0.96452977E+02	0.16516739E+02	0.24407338E+02	0.13994418E+02	0.38404833E+02
0.53165178E+00	0.21284713E+01	0.63562259E+01	0.15476903E+02	0.11242355E+03	0.16359198E+02	0.26772118E+02	0.16359198E+02	0.36040054E+02

\*\*\*\*\* Physikalische Koordinaten (Eigendistanz) \*\*\*\*\*

0.16632573E+01	0.00000000E+00	0.21833129E+02	0.00000000E+00	0.58501461E+02	0.16713980E+02	0.17319366E+02	0.00000000E+00	0.87153438E+02
0.31465557E+00	0.42859617E+01	0.30041959E+01	0.18828933E+02	0.22155580E+03	0.44133000E+01	0.10956388E+02	0.76799050E+01	0.88078114E+01
0.61377140E+00	0.17098971E+01	0.77083941E+01	0.14124734E+02	0.96452977E+02	0.10137502E+02	0.14980526E+02	0.85893735E+01	0.23571788E+02
0.53165178E+00	0.21284713E+01	0.63562259E+01	0.15476903E+02	0.11242355E+03	0.86973966E+01	0.14233444E+02	0.86973966E+01	0.19160759E+02

Galaxie schneidet bei a= 0.42025629E+00 t= 0.45722620E+01 Mrd. Jahren den Lichtkegel mit SCHEITEL bei a= 0.28542742E+01 t= 0.31075457E+02 Mrd. Jahren  
Schnittpunkt zwischen Lichtkegel und Hubble-Radius bei a= 0.68784986E+00 und mitbewegter Entfernung= 0.16403180E+02 Mrd. Lichtjahren.

\*\*\*\*\* Mitbewegte Koordinaten \*\*\*\*\*

a	z	t	LOOK-BACK	H	HUBBLE-RADIUS	EREIGNIS-HORIZT	LICHTKEGEL	PARTIKEL-HORIZT
Rv z(Scheitel)	Mrd. Jahre	Mrd. Jahre	km/Mpc/s	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre
0.28542742E+01	0.00000000E+00	0.31075457E+02	0.00000000E+00	0.56328647E+02	0.60816520E+01	0.61264487E+01	0.00000000E+00	0.56685723E+02
0.42025629E+00	0.57917465E+01	0.45722620E+01	0.26503195E+02	0.14967941E+03	0.15544269E+02	0.30533787E+02	0.24407338E+02	0.32278385E+02
0.61377140E+00	0.36503865E+01	0.77083941E+01	0.23367063E+02	0.96452977E+02	0.16516739E+02	0.24407338E+02	0.18280890E+02	0.38404833E+02
0.68784986E+00	0.31495599E+01	0.89290269E+01	0.22146430E+02	0.86661234E+02	0.16403180E+02	0.22529629E+02	0.16403180E+02	0.40282543E+02

\*\*\*\*\* Physikalische Koordinaten (Eigendistanz) \*\*\*\*\*

0.28542742E+01	0.00000000E+00	0.31075457E+02	0.00000000E+00	0.56328647E+02	0.17358702E+02	0.17486564E+02	0.00000000E+00	0.16179660E+03
0.42025629E+00	0.57917465E+01	0.45722620E+01	0.26503195E+02	0.14967941E+03	0.65325767E+01	0.12832016E+02	0.10257338E+02	0.13565194E+02
0.61377140E+00	0.36503865E+01	0.77083941E+01	0.23367063E+02	0.96452977E+02	0.10137502E+02	0.14980526E+02	0.11220287E+02	0.23571788E+02
0.68784986E+00	0.31495599E+01	0.89290269E+01	0.22146430E+02	0.86661234E+02	0.11282925E+02	0.15497002E+02	0.11282925E+02	0.27708341E+02

Galaxie schneidet bei a= 0.51843161E+00 t= 0.61403281E+01 Mrd. Jahren den Lichtkegel mit SCHEITEL bei a= 0.63132361E+01 t= 0.44938920E+02 Mrd. Jahren  
Schnittpunkt zwischen Lichtkegel und Hubble-Radius bei a= 0.92349107E+00 und mitbewegter Entfernung= 0.15081376E+02 Mrd. Lichtjahren.

\*\*\*\*\* Mitbewegte Koordinaten \*\*\*\*\*

a	z	t	LOOK-BACK	H	HUBBLE-RADIUS	EREIGNIS-HORIZT	LICHTKEGEL	PARTIKEL-HORIZT
Rv z(Scheitel)	Mrd. Jahre	Mrd. Jahre	km/Mpc/s	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre
0.63132361E+01	0.00000000E+00	0.44938920E+02	0.00000000E+00	0.55830631E+02	0.27740993E+01	0.27759996E+01	0.00000000E+00	0.60036172E+02
0.51843161E+00	0.11177568E+02	0.61403281E+01	0.38798592E+02	0.11570143E+03	0.16301080E+02	0.27183338E+02	0.24407338E+02	0.35628834E+02
0.61377140E+00	0.92859732E+01	0.77083941E+01	0.37230526E+02	0.96452977E+02	0.16516739E+02	0.24407338E+02	0.21631339E+02	0.38404833E+02
0.92349107E+00	0.58362720E+01	0.12658617E+02	0.32280304E+02	0.70205787E+02	0.15081376E+02	0.17857375E+02	0.15081376E+02	0.44954796E+02

\*\*\*\*\* Physikalische Koordinaten (Eigendistanz) \*\*\*\*\*

0.63132361E+01	0.00000000E+00	0.44938920E+02	0.00000000E+00	0.55830631E+02	0.17513544E+02	0.17525541E+02	0.00000000E+00	0.37902253E+03
0.51843161E+00	0.11177568E+02	0.61403281E+01	0.38798592E+02	0.11570143E+03	0.84509953E+01	0.14092702E+02	0.12653536E+02	0.18471114E+02
0.61377140E+00	0.92859732E+01	0.77083941E+01	0.37230526E+02	0.96452977E+02	0.10137502E+02	0.14980526E+02	0.13276697E+02	0.23571788E+02
0.92349107E+00	0.58362720E+01	0.12658617E+02	0.32280304E+02	0.70205787E+02	0.13927516E+02	0.16491127E+02	0.13927516E+02	0.41515353E+02

Die Ergebnisse von ZZC lassen sich in folgender Tabelle zusammenfassen:

Schnittpunkt Galaxie mit	% Differenz t LKO bis EH	t Mrd. Jahre	DELTA-t Mrd. Jahre	Eigendistanz ED Mrd. Lichtjahre	Delta ED Mrd. Lichtjahre	Scheitel LK Mrd. Jahre
Lichtkegel LK0 (HEUTE)	0.00%	1.4361299		4.6714397		13.790687
			1.568066		3.0084653	
Lichtkegel LK1	25.00%	3.0041959		7.6799050		21.833129
			1.568066		2.5774330	
Lichtkegel LK2	50.00%	4.5722620		10.257338		31.075457
			1.568066		2.3961980	
Lichtkegel LK3	75.00%	6.1403281		12.653536		44.938920
			1.568066		2.3269900	
Ereignishorizont (EH)	100.00%	7.7083941		14.980526		$\infty$

Normalsprachlich lässt sich das Ergebnis so formulieren:

- 1) Ein im Hubble-Flow treibender Beobachter, dessen heutiger Ort in der Milchstraße gelegen ist, sieht HEUTE (Scheitel des Rückwärts-Lichtkegels LK0=LK(HEUTE)) 13.790687 Mrd. Jahre nach dem Urknall) eine Galaxie unter der Rotverschiebung  $z=4.2248$  (siehe Quelle [8], es handelt sich um SPT0418-47). Die damalige physikalische Entfernung der Galaxie vom Beobachter betrug 4.6714397 Mrd. Lichtjahre. Das heute empfangene Licht wurde  $t_0=1.4361299$  Mrd. Jahre nach dem Urknall emittiert. ( $z$  wird als scheidelabhängige Größe im Weiteren nicht mehr erwähnt.) Nebenbei: Die heutige Entfernung der Galaxie vom Beobachter beträgt 24.407338 Mrd. Lichtjahre (und liegt selbstverständlich jenseits des Ereignishorizonts, der heute 16.679351 Mrd. Lichtjahre vom Beobachter entfernt ist).
- 2) Die Weltlinie der Galaxie schneidet den Ereignishorizont  $t_4=7.7083941$  Mrd. Jahre nach dem Urknall. Die physikalische Entfernung vom Beobachter betrug 14.980526 Mrd. Lichtjahre.
- 3) Die Steuerdatei 3-12-22S legt nun zwischen  $t_0$  und  $t_4$  drei  $t$ -äquidistante Zeitpunkte  $t_1$ ,  $t_2$  und  $t_3$ , die 25%, 50% bzw. 75% der Zeitdifferenz  $t_4-t_0$  überbrücken. Bei diesen Zeitpunkten werden jene durch ihren Scheitelpunkt identifizierten Lichtkegel LK1, LK2 und LK3 ermittelt, die die Weltlinie der Galaxie bei  $t_1$ ,  $t_2$  und  $t_3$  schneidet.
- 4) Als Beispiel verwenden wir jetzt den Zeitpunkt  $t_3=6.1403281$  Mrd. Jahre nach dem Urknall. Zu diesem Zeitpunkt schneidet die die Weltlinie der Galaxie den Lichtkegel LK3, auf dessen Scheitel der Beobachter 44.938920 Mrd. Jahre nach dem Urknall trifft. Die Distanz dieses Schnittpunkts vom Beobachter beträgt 12.6535360 Mrd. Lichtjahre. Man kann es auch so ausdrücken: 44.938920 Mrd. Jahre nach dem Urknall sieht der Beobachter jenes Licht, das von der Galaxie im Schnittpunkt in Richtung des Beobachters emittiert wird.

- 5) Die ZYC-WELTTABELLEN-Blöcke liefern auch zusätzliche Informationen. Im LK0-Ausgabeblock wird z.B. der Schnittpunkt zwischen dem Lichtkegel LK0 und der Hubblesphäre bei  $t_i = 4.0534118$  Mrd. Jahre bzw.  $Z_i = 1.5876364$  und einer Eigendistanz von 5.8513981 Mrd. Lichtjahren vom Beobachter erwähnt. Auf dem Lichtkegel gelegene Galaxien, die ihr auf den Beobachter gerichtetes Licht vor diesem Schnittpunkt  $t_i$  emittiert haben, hatten sich mit Überlichtgeschwindigkeit vom Beobachter entfernt. Die auf den Beobachter gerichteten Photonen hatten sich zunächst vom Beobachter wegbewegt, bevor sie von der schneller als der Raum expandierenden Hubblesphäre überholt wurden. In der hier nicht ausgedruckten Datei ZYC\_REZESSION\_3-13-22S.TXT können auch die genauen Rezessionsgeschwindigkeiten ermittelt werden. Analoge Informationen werden auch für die Lichtkegel LK1, LK2 und LK3 geliefert.

```
# Planck18 67.4000 0.31500 0.92096054E-04 0.684908 13.790687 PHYSIKALISCH a-Apex: 0.10000000E+01 t-Apex: 0.13790687E+02 1t-variablen_P
# GALAXIEDISTANZ IN MITBEWEGTEN KOORDINATEN = 46.132820 MRD. LICHTJAHRE
# Volumen in (Mrd. Lichtjahren)^3
# Dichte rho in GeV/c^2/m^3
# Da Lambda-CDM-Modell raemlich FLACH, ist die Summe aller Anteiligen Dichten (Masse/Energie pro Volumen) gleich der kritischen Dichte.
# a: Skalenfaktor, a(HEUTE)=1
# t: Zeit seit dem Urknall in Mrd. Jahren
# tsec: Zeit seit dem Urknall in Sekunden
#KONFt: Konforme Zeit seit dem Urknall in Mrd. Jahren
# q: Abbremsparameter
#Galax: Abstand zum mitbewegten Objekt / zur Galaxie in Mrd. Lichtjahren
#LeuD: Leuchtkraftdistanz (Flux) zum Scheitel in Mrd. Lichtjahren - immer physikalisch
EVENTUELLE NEGATIVE WERTE (Leuchtkraft von Zukunftsubjekten) IGNORIEREN!!!
#rhoCR: Kritische Dichte
#volPH: Kugelvolumen Beobachtbares Universum
```

```

a,          t,          tsec,          KONFt,          q,          Galax,          LeuD,          rhoCR,          volPH
0.10000000E-15, 0.75585097E-29, 0.23852842E-12, 0.15117019E-12, 0.10000000E+01, 0.46132820E-14, 0.46132820E+18, 0.44082520E+61, 0.14470619E-85
0.36373234E-11, 0.10000000E-19, 0.31557600E-03, 0.54985488E-08, 0.99999999E+00, 0.16779999E-09, 0.12683178E+14, 0.25184815E+43, 0.33510322E-58
0.11502234E-08, 0.10000000E-14, 0.31557600E+02, 0.17387932E-05, 0.99999803E+00, 0.53063049E-07, 0.40107703E+11, 0.25184848E+33, 0.33510355E-43
0.36380774E-06, 0.10000000E-09, 0.31557600E+07, 0.54979789E-03, 0.99937860E+00, 0.16783477E-04, 0.12680398E+09, 0.25195254E+23, 0.33520742E-28
0.91659028E-03, 0.37112700E-03, 0.11711877E+14, 0.91354486E+00, 0.62091746E+00, 0.42284895E-01, 0.49334229E+05, 0.25825362E+10, 0.24592575E-08
0.15028845E+00, 0.10000000E+01, 0.31557600E+17, 0.19166267E+02, 0.48999493E+00, 0.69332299E+01, 0.17943198E+03, 0.44832263E+03, 0.10011012E+03
0.31435636E+00, 0.30000000E+01, 0.94672800E+17, 0.27978572E+02, 0.40561182E+00, 0.14502145E+02, 0.57750538E+02, 0.51860093E+02, 0.28499154E+04
0.44752947E+00, 0.50000000E+01, 0.15778800E+18, 0.33264435E+02, 0.25575401E+00, 0.20645797E+02, 0.28754275E+02, 0.20111101E+02, 0.13819552E+05
0.57084796E+00, 0.70000000E+01, 0.22090320E+18, 0.37208341E+02, 0.68360646E-01, 0.26334826E+02, 0.15633723E+02, 0.11387921E+02, 0.40139401E+05
0.69217833E+00, 0.90000000E+01, 0.28401840E+18, 0.40385401E+02, -0.12817076E+00, 0.31932138E+02, 0.83033799E+01, 0.78268372E+01, 0.91498882E+05
0.81617343E+00, 0.11000000E+02, 0.34713360E+18, 0.43044624E+02, -0.31238601E+00, 0.37652382E+02, 0.37837498E+01, 0.60526076E+01, 0.18163215E+06
0.94625338E+00, 0.13000000E+02, 0.41024880E+18, 0.45319988E+02, -0.47208544E+00, 0.43653337E+02, 0.85900033E+00, 0.50584808E+01, 0.33035456E+06
0.10000000E+01, 0.13790687E+02, 0.43520098E+18, 0.46132820E+02, -0.52731581E+00, 0.46132820E+02, 0.00000000E+00, 0.47865807E+01, 0.41126204E+06
0.10852868E+01, 0.15000000E+02, 0.47336400E+18, 0.47293687E+02, -0.60300015E+00, 0.50067342E+02, -0.10696408E+01, 0.44581967E+01, 0.56641107E+06
0.14891169E+01, 0.20000000E+02, 0.63115200E+18, 0.51234053E+02, -0.81657623E+00, 0.68697163E+02, -0.34256765E+01, 0.37350710E+01, 0.18601636E+07
0.20061306E+01, 0.25000000E+02, 0.78894000E+18, 0.54134940E+02, -0.91914390E+00, 0.92548462E+02, -0.39888330E+01, 0.34651432E+01, 0.53653640E+07
0.26826448E+01, 0.30000000E+02, 0.94672800E+18, 0.56297010E+02, -0.96509261E+00, 0.12375797E+03, -0.37888690E+01, 0.33564746E+01, 0.14428931E+08
0.35762041E+01, 0.35000000E+02, 0.11045160E+19, 0.57916589E+02, -0.98506503E+00, 0.16498038E+03, -0.32950493E+01, 0.33113359E+01, 0.37218977E+08
0.47611791E+01, 0.40000000E+02, 0.12623040E+19, 0.59132364E+02, -0.99363476E+00, 0.21964662E+03, -0.27303203E+01, 0.32923377E+01, 0.93477676E+08
0.14605710E+03, 0.10000000E+03, 0.31557600E+19, 0.62692153E+02, -0.99999978E+00, 0.67380258E+04, -0.11337575E+00, 0.32783675E+01, 0.32158528E+13
0.22817785E+09, 0.35000000E+03, 0.11045160E+20, 0.62812172E+02, -0.10000000E+01, 0.10526488E+11, -0.73098031E-07, 0.32783670E+01, 0.12332197E+32
0.35647106E+15, 0.60000000E+03, 0.18934560E+20, 0.62812172E+02, -0.10000000E+01, 0.16445015E+17, -0.46790198E-13, 0.32783670E+01, 0.47021108E+50
0.55689725E+21, 0.85000000E+03, 0.26823960E+20, 0.62812172E+02, -0.10000000E+01, 0.25691241E+23, -0.29950500E-19, 0.32783670E+01, 0.17928554E+69
0.10000000E+31, 0.12235307E+04, 0.38611693E+20, 0.62812172E+02, -0.10000000E+01, 0.46132820E+32, -0.16679351E-28, 0.32783670E+01, 0.10380542E+97

```

a	Skalenfaktor	Galax	Abstand zu mitbewegtem Objekt, kurz nach den Urknall auf
t	Zeit in Mrd. Jahren nach dem Urknall	LeuD	LK(HEUTE) gelegen, in Mrd. Lichtjahren
tsec	Zeit in Sekunden nach dem Urknall	rhoCR	Kritische Dichte in GeV/c <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
KONFt	Konforme Zeit in Mrd. Jahren	volPH	Volumen des Beobachtbaren Universums in (Mrd. Lichtjahre) <sup>3</sup>
q	Abbremsparameter		

AUFGABE 3, AUFGABE3EINGABEMODUS 5 (STYP -227), EIGENART -22 (STYP -224):  
In der Dritten Zeile von Steuertyp -227 werden t-Scheitelpunkte erwartet. Betrachtet  
wird die Weltlinie einer Galaxie, die unter einer Rotverschiebung 4.2248 (SPT0418-47) beim  
Scheitel T=HEUTE des heutigen Lichtkegels SICHTBAR ist.

Bei welchen t (bzw. auch ausgedruckten a)  
schneidet die Galaxie die Lichtkegel mit den T-Scheitelpunkten der Dritten Zeile hinter STYP -227?  
Außerdem werden die Schnittpunkte (t, Galaxie, siehe STYP -107) der Galaxie mit den Lichtkegeln  
bis zum Ereignishorizont in die Plotter-Datendatei geschrieben.

Man findet die Schnittpunkte zwischen Galaxie und Lichtkegel jeweils in der zweiten Zeile der  
Ausgabepakete (t, Lichtkegel) - und natürlich auch in der Plotter-Datendatei (t, Galaxie). Den  
Schnittpunkt mit dem Ereignishorizont findet man in der 3. Zeile (t, Ereignishorizont).

STEUERKENNZEICHEN: 3-5-22\_plot ITERATIONENDATEI-VARIANTE: 3.1 WTAB  
Räumlich flaches Standardmodell der Kosmologie (Lambda-CDM-Modell)  
OMEGA\_M: 0.31500 Hubble-Parameter H0: 67.4000 km/Mpc/s 0.21842852E-17 1/s (Planck18)  
OMEGA\_R: 0.9209605429E-04 (automatisch berechnet)  
OMEGA\_LAMBDA: 0.6849079039 (1-OMEGA\_M-OMEGA\_R) HEUTE: 13.79068680852008 Mrd. Jahre nach dem Urknall  
Rotverschiebung CMB HEUTE z\*: 1090.0000 TEMPERATUR K CMB HEUTE: 2.72550000

Benutzereingabe zur Kennzeichnung der Galaxie:  
SCHEITEL-a Lichtkegel= 0.10000000E+01 SCHEITEL-t Lichtkegel= 0.13790687E+02 Mrd. Jahre  
Abstand vom Beobachter der Galaxie auf dem Lichtkegel wird gemessen bei a= 0.19139489E+00 t= 0.14361299E+01 Mrd. Jahre, z= 0.42248000E+01

ÜBERGANG VON VERLANGSAMTER ZU BESCHLEUNIGTER EXPANSION BEI a= 0.6128499921842745E+00 t= 0.7693175521172346E+01 MRD. JAHRE  
HUBBLE-RADIUS ÜBERGANG MITBEWEGT 0.1651675728933338E+02 MRD. LICHTJAHRE  
HUBBLE-RADIUS ÜBERGANG PHYSIKALISCH 0.1012229457567752E+02 MRD. LICHTJAHRE  
Mitbewegte Entfernung Galaxie 24.4073383582 Mrd. Lj. > Maximum des mitbewegten Hubbleradius 16.5167572893 Mrd. Lj.  
Galaxie schneidet Hubblesphäre nicht.

Betrachtet wird eine im Hubble-Flow treibende Galaxie mit einem mitbewegten Abstand von 24.40733835823029 Mrd. Lichtjahren zum Beobachter.  
Der heutige Ort des im Hubble-Flow treibenden Beobachters ist in der Milchstrasse gelegen.

WELTLINIE EINER GALAXIE VIA LICHTKEGELSCHWELPFAD  
Galaxie schneidet Ereignishorizont bei a= 0.61377140E+00 t= 0.77083941E+01 Mrd. Jahren  
Hinweis: Rotverschiebung z und Look-Back-Time beziehen sich auf den Scheitelpunkt des Rückwärts-Lichtkegels.

- Ausgabereihenfolge
1. Scheitelpunkt des Rückwärts-Lichtkegels
  2. Schnittpunkt Galaxie - Lichtkegel
  3. Schnittpunkt Galaxie - Ereignishorizont
  4. Schnittpunkt Lichtkegel - Hubblesphäre

z beim Schnittpunkt Galaxie-Ereignishorizont bezieht sich auf Rotverschiebung zu  
mitbewegtem Objekt auf dem Lichtkegel zum Skalenfaktor/Zeitpunkt des Schnittpunkts

Galaxie schneidet bei a= 0.6979004048283261E-01 t= 0.3158403537860227E+00 Mrd. Jahren nach dem Urknall den Lichtkegel mit dem SCHEITEL  
 bei a= 0.5708479558543202E+00 t= 0.699999999999960E+01 Mrd. Jahren nach dem Urknall

Schnittpunkt zwischen Lichtkegel und Hubble-Radius bei a = 0.2444505023334030E+00  
 t = 0.2068286416701293E+01 Mrd. Jahre nach dem Urknall  
 mitbewegte Entfernung = 0.1257435568485833E+02 Mrd. Lichtjahre  
 physikalische Entfernung = 0.3073807563682500E+01 Mrd. Lichtjahre

\*\*\*\*\* Mitbewegte Koordinaten \*\*\*\*\*

a	z	t	LOOK-BACK	H	HUBBLE-RADIUS	EREIGNIS-HORIZT	LICHTKEGEL	PARTIKEL-HORIZT
Rv z(Scheitel)	Mrd. Jahre	Mrd. Jahre	km/Mpc/s	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	
0.57084796E+00	0.00000000E+00	0.70000000E+01	0.00000000E+00	0.10396075E+03	0.16476187E+02	0.25603830E+02	0.00000000E+00	0.37208341E+02
0.69790040E-01	0.71795046E+01	0.31584035E+00	0.66841596E+01	0.20568023E+04	0.68117795E+01	0.50011169E+02	0.24407338E+02	0.12801003E+02
0.61377140E+00	-0.69933920E-01	0.77083941E+01	-0.70839411E+00	0.96452977E+02	0.16516739E+02	0.24407338E+02	-0.11964921E+01	0.38404833E+02
0.24445050E+00	0.13352292E+01	0.20682864E+01	0.49317136E+01	0.31810457E+03	0.12574356E+02	0.38178186E+02	0.12574356E+02	0.24633986E+02

\*\*\*\*\* Physikalische Koordinaten (Eigendistanz) \*\*\*\*\*

0.57084796E+00	0.00000000E+00	0.70000000E+01	0.00000000E+00	0.10396075E+03	0.94053975E+01	0.14615894E+02	0.00000000E+00	0.21240306E+02
0.69790040E-01	0.71795046E+01	0.31584035E+00	0.66841596E+01	0.20568023E+04	0.47539436E+00	0.34902815E+01	0.17033891E+01	0.89338251E+00
0.61377140E+00	-0.69933920E-01	0.77083941E+01	-0.70839411E+00	0.96452977E+02	0.10137502E+02	0.14980526E+02	-0.73437263E+00	0.23571788E+02
0.24445050E+00	0.13352292E+01	0.20682864E+01	0.49317136E+01	0.31810457E+03	0.30738076E+01	0.93326768E+01	0.30738076E+01	0.60217901E+01

Galaxie schneidet bei a= 0.1913948859286514E+00 t= 0.1436129894260534E+01 Mrd. Jahren nach dem Urknall den Lichtkegel mit dem SCHEITEL  
 bei a= 0.1000000000000006E+01 t= 0.1379068680852017E+02 Mrd. Jahren nach dem Urknall

Schnittpunkt zwischen Lichtkegel und Hubble-Radius bei a = 0.3864530645325730E+00  
 t = 0.4053411793229152E+01 Mrd. Jahre nach dem Urknall  
 mitbewegte Entfernung = 0.1514129050596688E+02 Mrd. Lichtjahre  
 physikalische Entfernung = 0.5851398117008854E+01 Mrd. Lichtjahre

\*\*\*\*\* Mitbewegte Koordinaten \*\*\*\*\*

a	z	t	LOOK-BACK	H	HUBBLE-RADIUS	EREIGNIS-HORIZT	LICHTKEGEL	PARTIKEL-HORIZT
Rv z(Scheitel)	Mrd. Jahre	Mrd. Jahre	km/Mpc/s	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	
0.10000000E+01	0.00000000E+00	0.13790687E+02	0.00000000E+00	0.67400000E+02	0.14507303E+02	0.16679351E+02	0.00000000E+00	0.46132820E+02
0.19139489E+00	0.42248000E+01	0.14361299E+01	0.12354557E+02	0.45554520E+03	0.11214625E+02	0.41086690E+02	0.24407338E+02	0.21725482E+02
0.61377140E+00	0.62927110E+00	0.77083941E+01	0.60822927E+01	0.96452977E+02	0.16516739E+02	0.24407338E+02	0.77279870E+01	0.38404833E+02
0.38645306E+00	0.15876364E+01	0.40534118E+01	0.97372750E+01	0.16710403E+03	0.15141291E+02	0.31820642E+02	0.15141291E+02	0.30991530E+02

\*\*\*\*\* Physikalische Koordinaten (Eigendistanz) \*\*\*\*\*

0.10000000E+01	0.00000000E+00	0.13790687E+02	0.00000000E+00	0.67400000E+02	0.14507303E+02	0.16679351E+02	0.00000000E+00	0.46132820E+02
0.19139489E+00	0.42248000E+01	0.14361299E+01	0.12354557E+02	0.45554520E+03	0.21464219E+01	0.78637823E+01	0.46714397E+01	0.41581461E+01
0.61377140E+00	0.62927110E+00	0.77083941E+01	0.60822927E+01	0.96452977E+02	0.10137502E+02	0.14980526E+02	0.47432174E+01	0.23571788E+02
0.38645306E+00	0.15876364E+01	0.40534118E+01	0.97372750E+01	0.16710403E+03	0.58513981E+01	0.12297185E+02	0.58513981E+01	0.11976772E+02

Galaxie schneidet bei a= 0.3892110438181138E+00 t= 0.4095220572512965E+01 Mrd. Jahren nach dem Urknall den Lichtkegel mit dem SCHEITEL  
 bei a= 0.2389530591108112E+01 t= 0.27999999999999995E+02 Mrd. Jahren nach dem Urknall

Schnittpunkt zwischen Lichtkegel und Hubble-Radius bei a = 0.6363651653356067E+00  
 t = 0.8081476401297170E+01 Mrd. Jahre nach dem Urknall  
 mitbewegte Entfernung = 0.1650490365587278E+02 Mrd. Lichtjahre  
 physikalische Entfernung = 0.1050314574381774E+02 Mrd. Lichtjahre

\*\*\*\*\* Mitbewegte Koordinaten \*\*\*\*\*

a	z	t	LOOK-BACK	H	HUBBLE-RADIUS	EREIGNIS-HORIZT	LICHTKEGEL	PARTIKEL-HORIZT
Rv z(Scheitel)	Mrd. Jahre	Mrd. Jahre	km/Mpc/s	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre
0.23895306E+01	0.00000000E+00	0.28000000E+02	0.00000000E+00	0.56712124E+02	0.72153611E+01	0.73055020E+01	0.00000000E+00	0.55506670E+02
0.38921104E+00	0.51394213E+01	0.40952206E+01	0.23904779E+02	0.16552912E+03	0.15177038E+02	0.31712840E+02	0.24407338E+02	0.31099331E+02
0.61377140E+00	0.28931931E+01	0.77083941E+01	0.20291606E+02	0.96452977E+02	0.16516739E+02	0.24407338E+02	0.17101836E+02	0.38404833E+02
0.63636517E+00	0.27549676E+01	0.80814764E+01	0.19918524E+02	0.93095178E+02	0.16504904E+02	0.23810406E+02	0.16504904E+02	0.39001766E+02
***** Physikalische Koordinaten (Eigendistanz) *****								
0.23895306E+01	0.00000000E+00	0.28000000E+02	0.00000000E+00	0.56712124E+02	0.17241326E+02	0.17456720E+02	0.00000000E+00	0.13263489E+03
0.38921104E+00	0.51394213E+01	0.40952206E+01	0.23904779E+02	0.16552912E+03	0.59070708E+01	0.12342988E+02	0.94996056E+01	0.12104203E+02
0.61377140E+00	0.28931931E+01	0.77083941E+01	0.20291606E+02	0.96452977E+02	0.10137502E+02	0.14980526E+02	0.10496618E+02	0.23571788E+02
0.63636517E+00	0.27549676E+01	0.80814764E+01	0.19918524E+02	0.93095178E+02	0.10503146E+02	0.15152113E+02	0.10503146E+02	0.24819365E+02

Galaxie schneidet bei a= 0.4283029235248388E+00 t= 0.4697684960149872E+01 Mrd. Jahren nach dem Urknall den Lichtkegel mit dem SCHEITEL  
 bei a= 0.3000000000000028E+01 t= 0.3194042545691077E+02 Mrd. Jahren nach dem Urknall

Schnittpunkt zwischen Lichtkegel und Hubble-Radius bei a = 0.7023123012713480E+00  
 t = 0.9165937981436848E+01 Mrd. Jahre nach dem Urknall  
 mitbewegte Entfernung = 0.1635794698852251E+02 Mrd. Lichtjahre  
 physikalische Entfernung = 0.1148838739358396E+02 Mrd. Lichtjahre

\*\*\*\*\* Mitbewegte Koordinaten \*\*\*\*\*

a	z	t	LOOK-BACK	H	HUBBLE-RADIUS	EREIGNIS-HORIZT	LICHTKEGEL	PARTIKEL-HORIZT
Rv z(Scheitel)	Mrd. Jahre	Mrd. Jahre	km/Mpc/s	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre
0.30000000E+01	0.00000000E+00	0.31940425E+02	0.00000000E+00	0.56252789E+02	0.57940370E+01	0.58308284E+01	0.00000000E+00	0.56981343E+02
0.42830292E+00	0.60043883E+01	0.46976850E+01	0.27242740E+02	0.14607062E+03	0.15629053E+02	0.30238167E+02	0.24407338E+02	0.32574005E+02
0.61377140E+00	0.38878133E+01	0.77083941E+01	0.24232031E+02	0.96452977E+02	0.16516739E+02	0.24407338E+02	0.18576510E+02	0.38404833E+02
0.70231230E+00	0.32716039E+01	0.91659380E+01	0.22774487E+02	0.85111355E+02	0.16357947E+02	0.22188775E+02	0.16357947E+02	0.40623396E+02
***** Physikalische Koordinaten (Eigendistanz) *****								
0.30000000E+01	0.00000000E+00	0.31940425E+02	0.00000000E+00	0.56252789E+02	0.17382111E+02	0.17492485E+02	0.00000000E+00	0.17094403E+03
0.42830292E+00	0.60043883E+01	0.46976850E+01	0.27242740E+02	0.14607062E+03	0.66939691E+01	0.12951095E+02	0.10453734E+02	0.13951542E+02
0.61377140E+00	0.38878133E+01	0.77083941E+01	0.24232031E+02	0.96452977E+02	0.10137502E+02	0.14980526E+02	0.11401730E+02	0.23571788E+02
0.70231230E+00	0.32716039E+01	0.91659380E+01	0.22774487E+02	0.85111355E+02	0.11488387E+02	0.15583450E+02	0.11488387E+02	0.28530311E+02

Ausgabereihenfolge

1. Scheitelpunkt des Rueckwaerts-Lichtkegels
2. Schnittpunkt Galaxie - Lichtkegel
3. Schnittpunkt Galaxie - Ereignishorizont
4. Schnittpunkt Lichtkegel - Hubblesphaere

Galaxie schneidet bei a= 0.5025206598147711E+00 t= 0.5881603881217842E+01 Mrd. Jahren nach dem Urknall den Lichtkegel mit dem SCHEITEL  
 bei a= 0.5337695881818906E+01 t= 0.41999999999999996E+02 Mrd. Jahren nach dem Urknall

Schnittpunkt zwischen Lichtkegel und Hubble-Radius bei a = 0.8724113075272437E+00  
 t = 0.1187892315271938E+02 Mrd. Jahre nach dem Urknall  
 mitbewegte Entfernung = 0.1544314706826923E+02 Mrd. Lichtjahre  
 physikalische Entfernung = 0.1347277612616428E+02 Mrd. Lichtjahre

\*\*\*\*\* Mitbewegte Koordinaten \*\*\*\*\*

a	z	t	LOOK-BACK	H	HUBBLE-RADIUS	EREIGNIS-HORIZT	LICHTKEGEL	PARTIKEL-HORIZT
Rv z(Scheitel)	Mrd. Jahre	Mrd. Jahre	km/Mpc/s	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	
0.53376959E+01	0.0000000E+00	0.4200000E+02	0.0000000E+00	0.55863962E+02	0.32791480E+01	0.32828630E+01	0.0000000E+00	0.59529309E+02
0.50252066E+00	0.96218437E+01	0.58816039E+01	0.36118396E+02	0.11997618E+03	0.16218012E+02	0.27690201E+02	0.24407338E+02	0.35121970E+02
0.61377140E+00	0.76965537E+01	0.77083941E+01	0.34291606E+02	0.96452977E+02	0.16516739E+02	0.24407338E+02	0.21124475E+02	0.38404833E+02
0.87241131E+00	0.51183250E+01	0.11878923E+02	0.30121077E+02	0.72575408E+02	0.15443147E+02	0.18726010E+02	0.15443147E+02	0.44086162E+02

\*\*\*\*\* Physikalische Koordinaten (Eigendistanz) \*\*\*\*\*

0.53376959E+01	0.0000000E+00	0.4200000E+02	0.0000000E+00	0.55863962E+02	0.17503095E+02	0.17522924E+02	0.0000000E+00	0.31774935E+03
0.50252066E+00	0.96218437E+01	0.58816039E+01	0.36118396E+02	0.11997618E+03	0.81498863E+01	0.13914898E+02	0.12265192E+02	0.17649516E+02
0.61377140E+00	0.76965537E+01	0.77083941E+01	0.34291606E+02	0.96452977E+02	0.10137502E+02	0.14980526E+02	0.12965599E+02	0.23571788E+02
0.87241131E+00	0.51183250E+01	0.11878923E+02	0.30121077E+02	0.72575408E+02	0.13472776E+02	0.16336783E+02	0.13472776E+02	0.38461266E+02

Galaxie schneidet bei a= 0.5612087003386481E+00 t= 0.6841280986206234E+01 Mrd. Jahren nach dem Urknall den Lichtkegel mit dem SCHEITEL  
 bei a= 0.1186868556316018E+02 t= 0.56000000000000006E+02 Mrd. Jahren nach dem Urknall

Schnittpunkt zwischen Lichtkegel und Hubble-Radius bei a = 0.1125657751076295E+01  
 t = 0.1555291383767922E+02 Mrd. Jahre nach dem Urknall  
 mitbewegte Entfernung = 0.1354132689992046E+02 Mrd. Lichtjahre  
 physikalische Entfernung = 0.1524289958475340E+02 Mrd. Lichtjahre

\*\*\*\*\* Mitbewegte Koordinaten \*\*\*\*\*

a	z	t	LOOK-BACK	H	HUBBLE-RADIUS	EREIGNIS-HORIZT	LICHTKEGEL	PARTIKEL-HORIZT
Rv z(Scheitel)	Mrd. Jahre	Mrd. Jahre	km/Mpc/s	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	
0.11868686E+02	0.0000000E+00	0.5600000E+02	0.0000000E+00	0.55787348E+02	0.14767543E+01	0.14769066E+01	0.0000000E+00	0.61335265E+02
0.56120870E+00	0.20148435E+02	0.68412810E+01	0.49158719E+02	0.10588362E+03	0.16454830E+02	0.25884245E+02	0.24407338E+02	0.36927927E+02
0.61377140E+00	0.18337306E+02	0.77083941E+01	0.48291606E+02	0.96452977E+02	0.16516739E+02	0.24407338E+02	0.22930432E+02	0.38404833E+02
0.11256578E+01	0.95437781E+01	0.15552914E+02	0.40447086E+02	0.64147390E+02	0.13541327E+02	0.15018234E+02	0.13541327E+02	0.47793938E+02

\*\*\*\*\* Physikalische Koordinaten (Eigendistanz) \*\*\*\*\*

0.11868686E+02	0.0000000E+00	0.5600000E+02	0.0000000E+00	0.55787348E+02	0.17527132E+02	0.17528940E+02	0.0000000E+00	0.72796897E+03
0.56120870E+00	0.20148435E+02	0.68412810E+01	0.49158719E+02	0.10588362E+03	0.92345937E+01	0.14526463E+02	0.13697611E+02	0.20724274E+02
0.61377140E+00	0.18337306E+02	0.77083941E+01	0.48291606E+02	0.96452977E+02	0.10137502E+02	0.14980526E+02	0.14074043E+02	0.23571788E+02
0.11256578E+01	0.95437781E+01	0.15552914E+02	0.40447086E+02	0.64147390E+02	0.15242900E+02	0.16905391E+02	0.15242900E+02	0.53799617E+02

Galaxie schneidet bei a= 0.5895625081362295E+00 t= 0.7308636173480045E+01 Mrd. Jahren nach dem Urknall den Lichtkegel mit dem SCHEITEL  
 bei a= 0.2637975546537192E+02 t= 0.6999999999999990E+02 Mrd. Jahren nach dem Urknall

Schnittpunkt zwischen Lichtkegel und Hubble-Radius bei a = 0.1413738026043955E+01  
 t = 0.1915113679005071E+02 Mrd. Jahre nach dem Urknall  
 mitbewegte Entfernung = 0.1149869762108470E+02 Mrd. Lichtjahre  
 physikalische Entfernung = 0.1625614607690861E+02 Mrd. Lichtjahre

\*\*\*\*\* Mitbewegte Koordinaten \*\*\*\*\*

a	z	t	LOOK-BACK	H	HUBBLE-RADIUS	EREIGNIS-HORIZT	LICHTKEGEL	PARTIKEL-HORIZT
Rv z(Scheitel)	Mrd. Jahre	Mrd. Jahre	km/Mpc/s	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	
0.26379755E+02	0.00000000E+00	0.70000000E+02	0.00000000E+00	0.55780375E+02	0.66449908E+00	0.66450533E+00	0.00000000E+00	0.62147666E+02
0.58956251E+00	0.43744629E+02	0.73086362E+01	0.62691364E+02	0.10048788E+03	0.16504525E+02	0.25071844E+02	0.24407338E+02	0.37740328E+02
0.61377140E+00	0.41979773E+02	0.77083941E+01	0.62291606E+02	0.96452977E+02	0.16516739E+02	0.24407338E+02	0.23742833E+02	0.38404833E+02
0.14137380E+01	0.17659578E+02	0.19151137E+02	0.50848863E+02	0.60149079E+02	0.11498698E+02	0.12163203E+02	0.11498698E+02	0.50648969E+02
***** Physikalische Koordinaten (Eigendistanz) *****								
0.26379755E+02	0.00000000E+00	0.70000000E+02	0.00000000E+00	0.55780375E+02	0.17529323E+02	0.17529488E+02	0.00000000E+00	0.16394402E+04
0.58956251E+00	0.43744629E+02	0.73086362E+01	0.62691364E+02	0.10048788E+03	0.97304489E+01	0.14781419E+02	0.14389652E+02	0.22250282E+02
0.61377140E+00	0.41979773E+02	0.77083941E+01	0.62291606E+02	0.96452977E+02	0.10137502E+02	0.14980526E+02	0.14572672E+02	0.23571788E+02
0.14137380E+01	0.17659578E+02	0.19151137E+02	0.50848863E+02	0.60149079E+02	0.16256146E+02	0.17195583E+02	0.16256146E+02	0.71604373E+02

Allgemeine Regel: Über STYP -224 wird der mitbewegte Abstand D vom Beobachter der in Frage stehenden Galaxie berechnet, und die Galaxie wird durch diesen mitbewegten Abstand D oberhalb der positiven radialen Koordinatenachse identifiziert. Durch die Apex-Eigenarten -2, -22, -202, -222, -4 und -5 wird in STYP - 224 zusätzlich jenes t bzw. a (hier das zu z(HEUTE)=4.2248 gehörige a oder t) des physikalischen Abstands d bestimmt, über das der mitbewegte Abstand mittels  $D = d/a$  ermittelt wird. Dieses kann als -8 in der Dritten Zeile von STYP -227 (nur AUFGABE3EINGABEMODi 1, 3, 11 oder 13 - wir verwenden aber in dieser Steuerdatei keinen dieser Modi) oder als -18 als a- oder t-Anfangs- oder Endwert bei STYP -301 (Eingabe 1 oder 3 gemäß STYP -201) abgerufen werden. Bei den AUFGABE3EINGABEMODi 4 oder 5 (Eingabe von Scheitelpunkten, wie Modus 5 in unserem Fall) in STYP -227 ist -8 der Scheitelpunkt des durch STYP -224 bestimmten Lichtkegels (Scheitelpunkt A - as in der Programmbeschreibung - als Skalenfaktor oder als Zeit T seit dem Urknall).

Noch eine Bemerkung zu den Ausgabepaketten: Es kann sein, dass der Schnittpunkt der Galaxie mit dem Ereignishorizont oberhalb von Lichtkegel-Scheitelpunkten gelegen ist - wie im aktuellen Beispiel bei dem Scheitel mit T=7 (Mrd. Jahre nach dem Urknall). Deshalb erscheint in der jeweils 3. Zeile des Ausgabepaketts bei einem solchen Lichtkegel ein negativer Wert für eine Entfernung auf dem Vorwärts-Lichtkegel. Der Rückwärts-Lichtkegel ist gemäß unserer Konvention über der positiven radialen Koordinatenachse definiert und geht beim Scheitel (Abstand zum Beobachter: NULL) in den Vorwärts-Lichtkegel oberhalb der negativen radialen Koordinatenachse über.

Ausdruck wurde erstellt vom Kosmologie-Rechner WELTTABELLEN v3.2  
 Weltlinien der Kosmologie in Tabellenform

## ZZE\_PLOT\_3-5-22\_plot

```
# Planck18 67.4000 0.3150 0.92096054E-04 0.684908 13.790687 PHYSIKALISCH Galaxie
# Planck18 - PHYSIKALISCHE KOORDINATEN - STEUERKENNZEICHEN: 3-5-22_plot
# H0 (km/Mpc/s): 0.6740000000000001E+02
# OMEGA_M: 0.315000000000000E+00 OMEGA_R: 0.9209605428915333E-04 OMEGA_LAMBDA: 0.6849079039457109E+00
# HEUTE: 0.1379068680852008E+02 TEMPERATUR K CMB HEUTE: 0.272550000000000E+01 ZCMB: 0.109000000000000E+04
# t: Zeit seit dem Urknall in Mrd. Jahren
#Galax: Abstand zum mitbewegten Objekt / zur Galaxie in Mrd. Lichtjahren
#
# t, Galax
0.31584035, 1.70338913
1.43612989, 4.67143974
4.09522057, 9.49960564
4.69768496, 10.45373437
5.88160388, 12.26519178
6.84128099, 13.69761064
7.30863617, 14.38965162
7.70839411, 14.98052613
```