

Kosmologie-Rechner WELTTABELLEN

Weltlinien des Standardmodells der Kosmologie (Λ CDM-Modell) in Tabellenform

Programmbeschreibung (Version Juli 2024)

Windows-Programmversion 2.0

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

Zusammenfassung

Der Kosmologie-Rechner WELTTABELLEN stellt für das räumlich flache Standardmodell der Kosmologie (Λ 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 und Horizonten ermittelt werden. Von Galaxien 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 Λ 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.

Das Programm stellt keine graphische Benutzeroberfläche bereit.

Das ausführbare Windows-Programm wird dem Absender einer E-Mail-Anfrage als ZIP-Datei per E-Mail zugesandt.

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

Änderungsverfolgung

Version Programm- beschreibung	Änderungen	Programm- version
19. September 2022	Erste Version der Programmbeschreibung	0.2
29. September 2022	Zusätzliches Kapitel mit Beispielen für Programmausdrucke	0.2
22. Dezember 2022	Einführung von Plotter-Datendateien, vorherige Version teilweise überarbeitet	1.0
17. Juli 2024	Generelle Überarbeitung	2.0

*English translation of title and abstract for publication on viXra.***Cosmology Calculator WELTTABELLEN****Worldlines of the Standard Model of Cosmology (Lambda-CDM Model) in Tabular Form****Program Description (Version July 2024)**

Windows program version 2.0

**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 and horizons can be determined. Light emitted by galaxies can be assigned to those light cone apexes at which the emitted light is visible. All result values can be provided as a function of scale factor, redshift and time since the Big Bang and can be made available in co-moving or 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.

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

The executable Windows program will be sent to the sender of an e-mail request as a ZIP file by e-mail.

Keywords: cosmology calculator, Λ 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

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

Inhaltsverzeichnis

1	Leistungen des Programms WELTTABELLEN	4
1.1	Bearbeitete Aufgabenstellungen	4
1.2	Einstieg ins Programm WELTTABELLEN	4
1.3	Zugang zu WELTTABELLEN	5
2	Vorbereitende Bemerkungen	5
2.1	Programmierungsumgebung	5
2.2	Rechtliche Hinweise / Avisos legales	5
2.2.1	Deutsche Version	5
2.2.2	Versión española	6
3	Eine kurze Einführung ins Λ CDM-Modell	6
3.1	Einige theoretische Grundlagen	6
3.2	Hilfestellung durch Zeichnungen	7
3.2.1	Yukterez (Simon Tyran)	7
3.2.2	Davis/Lineweaver	8
3.2.3	Erläuterung der Weltlinien der Galaxie SPT0418-47	8
3.2.4	Zusätzliche Bemerkungen zu den Zeichnungen	9
3.3	Weitere Distanzbegriffe	10
4	Normierung verschiedener Maßeinheiten	11
4.1	Skalenfaktor, Zeit und Rotverschiebung	11
4.2	Bemerkungen zur Rotverschiebung	12
4.3	Verwendete Formeln	13
5	Das Arbeiten mit WELTTABELLEN	14
5.1	WELTTABELLEN-Windows-Umgebung	14
5.2	Ausgabedateien	15
5.3	Unterverzeichnisse des Hauptverzeichnisses	15
5.4	Vorbereitete Steuerdateien	15
5.5	Steuerkennzeichen	23
5.6	Ein erster Übungslauf	24
5.7	Beispiel für eine Steuerdatei	25
5.8	Dateien vom Typ T_NACH_A und ihre Erzeugung	26
5.9	Bemerkungen zur Rechengenauigkeit	26
5.10	Obere und untere Grenze für das Rechnen mit WELTTABELLEN	27
6	Verwaltungsdateien des Programms WELTTABELLEN	27
6.1	Aufbau der Steuerdatei STEUERW	28
6.2	Platzhalter	43
6.3	Dateien vom Typ T_NACH_A	43
6.4	Erzeugung von Dateien vom Typ T_NACH_A via STEUERWa	44
6.5	Beispiel für die Erzeugung einer T_NACH_A-Datei	44
6.6	Datei ITERATIONENW	45
6.7	Datei GRENZENW	47
6.8	Datei MINUS31	47
6.9	Plotter-Datendateien	47
7	Wartung	48
7.1	Fehlermeldungen	48
7.2	Änderungswünsche	49
8	Verwendete Symbole und Abkürzungen	49
9	Literatur	50
10	Anhang: Beispiele	52
10.1	Steuerdateien	52
10.2	WELTTABELLEN-Ausdrucke	56

1 Leistungen des Programms WELTTABELLEN

1.1 Bearbeitete Aufgabenstellungen

Das Programm WELTTABELLEN stellt für das räumlich flache Standardmodell der Kosmologie (Λ 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 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.

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 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 den in der ersten Datei erwähnten Linien oder Horizonten und, sofern gewünscht, die Rezessionsgeschwindigkeiten der Horizonte selbst ausgegeben.

- 2) Berechnet werden verschiedene kosmologische Parameter: Schnittpunkt Ereignishorizont – Partikelhorizont, Schnittpunkt Lichtkegel – Partikelhorizont, Schnittpunkt Lichtkegel-Hubble-Radius, Umkehrpunkt von verlangsamer zu beschleunigter Expansion. Der Scheitel des Lichtkegels kann frei gewählt werden.
- 3) Berechnet werden Weltlinien von flexibel definierbaren Galaxien und deren Schnittpunkte mit Lichtkegeln bis zum Ereignishorizont.

1.2 Einstieg ins Programm WELTTABELLEN

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.

Wir schlagen vor, ohne größere Vorbereitungen über Kap. 5.6 in die Arbeit mit WELTTABELLEN einzusteigen. Dazu sollte man Kap. 5.1 gelesen und Kap. 5.4 zumindest überflogen haben.

1.3 Zugang zu WELTTABELLEN

Das Programm wird dem Absender einer E-Mail-Anfrage als ZIP-Datei per E-Mail zugesandt.

2 Vorbereitende Bemerkungen

2.1 Programmierumgebung

Das Programm WELTTABELLEN des Autors wurde mittels GNU-FORTRAN77 über eine Windows-Umgebung der Universität York [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-Programmierumgebung 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 gratuitamente a disposición de los usuarios interesados el programa informático WELTTABELLEN (líneas de universo cosmológicas en forma de tabla), creado para sus propios fines. El usuario recibe una licencia de uso del programa. No se suministra el código fuente en FORTRAN. El programa se ofrece sin garantía y sin responsabilidad.

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

El usuario no utilizará el programa si no está de acuerdo con el marco legal.

Se aplicará la ley paraguaya. El lugar de jurisdicción es Altos/Cordillera, PARAGUAY.

Los avisos legales se formulan en alemán y español. En caso de duda, se aplica la versión española del texto.

3 Eine kurze Einführung ins Λ CDM-Modell

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 fundamentalen Beobachtern 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 Λ 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 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 fundamentalen Beobachter. Um nicht allzu sehr von den Vorstellungen von Laien abzuweichen, an die dieses Programm auch gerichtet ist, wollen wir jedoch nomenklatorisch nur einen Beobachter annehmen, dessen heutiger Ort in der Milchstraße gelegen ist. Das Programm befasst sich mit Abständen von

Galaxien von diesem Beobachter und skizziert in Tabellenform die Weltlinien dieser Galaxien sowie die Weltlinien von auf den Beobachter gerichteten Photonen, die von diesen Galaxien emittiert werden.

Anders als die als ruhend angenommenen Beobachter 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.

3.2.1 **Yukterez (Simon Tyran)**

Zunächst wird empfohlen, die animierten Zeichnungen von Yukterez (Simon Tyran, Wien) [1] 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.

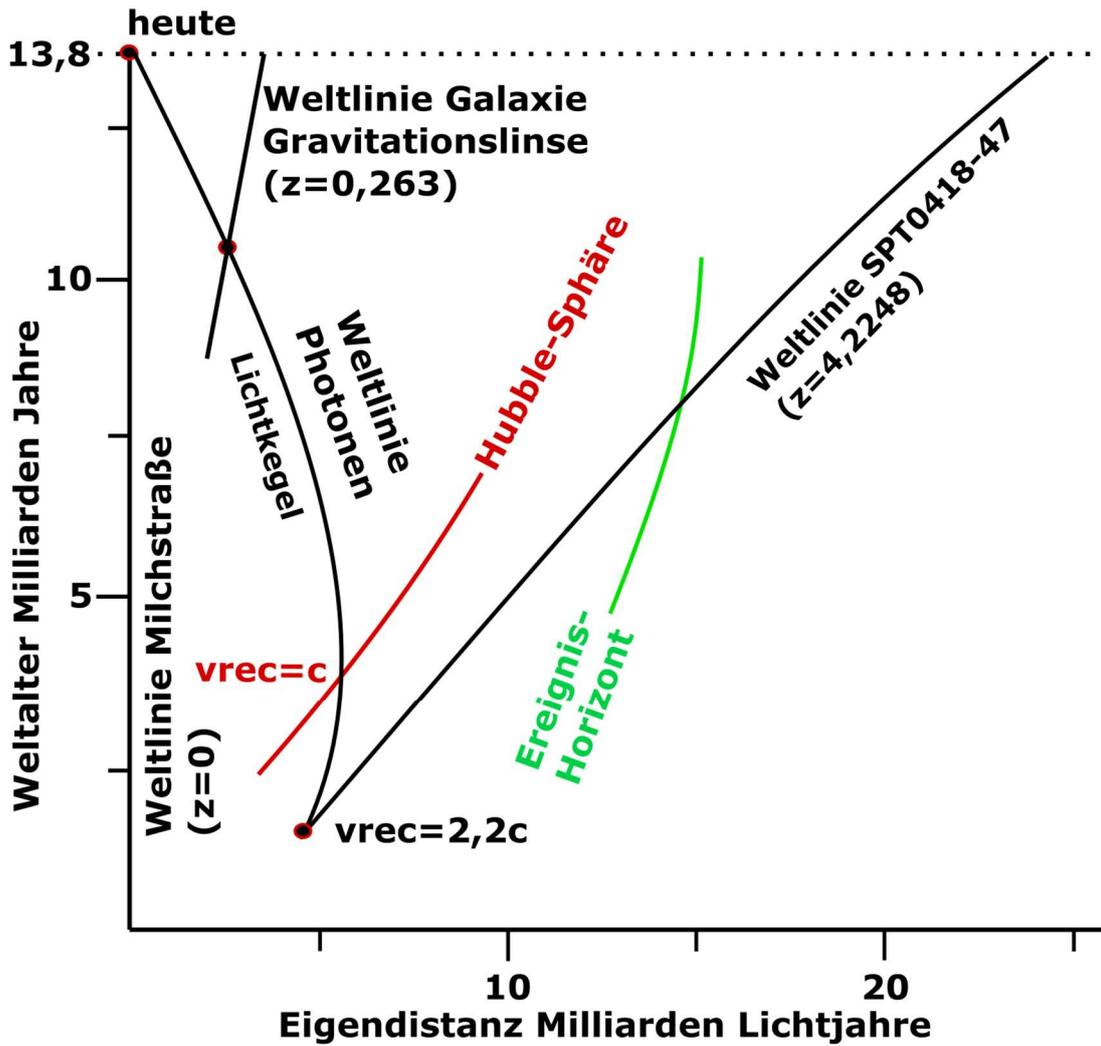
3.2.3 Erläuterung der Weltlinien der Galaxie SPT0418-47

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 Λ 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 [10], 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 auch in Zukunft vom Beobachter nicht mehr zu SEHEN sein. Je mehr sich jedoch die Galaxie dem Ereignishorizont nähert, desto größer wird der 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 formuliert ist der Ereignishorizont der Lichtkegel des Zeitpunkts UNENDLICH.

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 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 entfernen sollten, sind sie immer auf der Koordinatenachse gelegen.

3.3 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. 4.1) verbunden sind.

Die *Lichtlaufzeit-Entfernung* stellt 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 Λ 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* (als Entfernungsmaß in Mrd. Lichtjahren) kann als Variable 17 in die Plotter-Datendatei ausgegeben werden (siehe Kap. 6.1, Steuertyp -107).

4 Normierung verschiedener Maßeinheiten

4.1 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 4.2 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. 6.1) 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. 5.2 bzw. Kap. 6.1, Steuertyp -105, AUFGABE 1) ist zusätzlich die konforme Zeit η aufgeführt. Die konforme Zeit kann auch über die Variable 10 in die Plotter-Datendatei (siehe Kap. 5.2 bzw. Kap. 6.1, Steuertyp -107) geschrieben werden. Der Wert der konformen Zeit η (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. η in Mrd. Lichtjahren) identisch.

4.2 Bemerkungen zur Rotverschiebung

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

In verschiedenen wissenschaftlichen Veröffentlichungen wird z zur Kennzeichnung der Weltlinie einer Galaxie verwendet, die einen Lichtkegel zu einem bestimmten a oder t schneidet. Hier kann man z für einen Lichtkegel mit einem gerade betrachteten Scheitelpunkt a_s heranziehen, man kann aber auch z^* verwenden. Aus dem Text sollte hervorgehen, was gemeint ist, im Allgemeinen wird z^* für den Lichtkegel mit dem Scheitel HEUTE (bzw. $a = 1$) verwendet. Von dieser Kennzeichnung machen auch Davis/Lineweaver Gebrauch.

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 ist dadurch gekennzeichnet, dass der mitbewegte Abstand der Koordinate des Lichtkegels vom Beobachter gleich ist wie der Abstand des Schnittpunkts zwischen Partikelhorizont und Ereignishorizont vom Beobachter. z bezieht sich im Programm immer auf den Scheitelpunkt des Lichtkegels. Bei Davis/Lineweaver [2] ist angedeutet, dass man eher z^* meint, was aber dort nicht relevant ist, da man ausschließlich den Scheitelpunkt HEUTE verwendet. (Der Schnittpunkt zwischen

Partikelhorizont und Ereignishorizont ist unabhängig vom jeweiligen Lichtkegel. Nähert sich der a - oder t -Wert des Lichtkegelscheitels dem entsprechenden Wert des Schnittpunktes, so strebt z gegen UNENDLICH und ist numerisch nicht mehr berechenbar. Ist a - oder t -Wert des Scheitels kleiner als der entsprechende Wert des Schnittpunkts, so ist der z -Wert nicht mehr definiert.)

4.3 Verwendete Formeln

Unter Verwendung des Ausdrucks (für H_0 , Ω_R , Ω_M , Ω_Λ siehe Kap. 8)

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

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. 5.2 bzw. Kap. 6.1, Steuertyp -107) geschrieben werden.

5 Das Arbeiten mit WELTTABELLEN

5.1 WELTTABELLEN-Windows-Umgebung

Die WELTTABELLEN-Umgebung wird an Benutzer als ZIP-ORDNER geliefert.

Den gelieferten ZIP-Ordner muss man in einem Ordner des Betriebssystems entpacken, der im Weiteren als Hauptverzeichnis bezeichnet wird. Als Beispiel wird angenommen, dass dies der Ordner C:\ALTOS ist. Die Ausführung einiger Aufgaben ist gemäß Windows10 Version 22H2 beschrieben.

Man arbeitet in 2 Fenstern. Zum einen legt man eine Explorer-Verknüpfung von C:\ALTOS auf den Desktop. Durch Doppelklick auf diese Verknüpfung wird man zum Fenster für dieses Verzeichnis geleitet. Dort kann man dann Texthaltungsdateien mit den Windows-Editor bearbeiten. Zum Bearbeiten einer BAT-Datei muss man eventuell beim ersten Aufruf via rechte Maustaste die Extension .bat mit dem Editor verbinden. Das Explorer-Fenster von C:\ALTOS sollte nach Dateinamen sortiert vorhanden sein. Dies ist die Microsoft-Voreinstellung.

Das zweite Fenster ist das der Windows-Eingabeaufforderung, im Weiteren als Konsole bezeichnet. Via „START – Windows-System – Eingabeaufforderung – (rechte Maustaste) Mehr - An Taskleiste anheften“ kann man das Fenster für die Eingabeaufforderung an die Taskleiste anheften. Klickt man auf den Link, so befindet man sich in der Konsolenumgebung, und zwar vermutlich in einem Verzeichnis C:\USERS\

```
C:  
CD \ALTOS
```

Man kann z.B. im ersten Fenster eine Datei F.TXT (via rechte Maustaste – Neu – Textdokument) erstellen, den obigen Inhalt eintragen und die Datei dann in F.BAT umbenennen. Diese Datei muss man dann ins Verzeichnis C:\USERS\

Man benötigt danach vor allem 2 Konsol-Befehle:

- 1) Mittels c xy wird die Datei STEUERWxy.txt auf die Datei STEUERW.txt kopiert.
- 2) Mittels w wird das Programm WELTTABELLEN abgerufen. Über die Steuerdatei STEUERW wird bestimmt, was genau das Programm WELTTABELLEN tun soll.

Ein Befehl d xy vereint beide Leistungen.

Wer das soeben beschriebene nicht hinkriegt, sollte das Programm WELTTABELLEN nicht benutzen.

Zusätzlich sollte der I-Steuertyp -1010 in der Datei ITERATIONENW (siehe Kap. 6.6) auf das Verzeichnis des Windows-DOKUMENTE-Ordners (oder einen alternativen Ordner, siehe Kap. 6.9) gesetzt werden. Wer das nicht schafft, kann den I-Steuertyp -1010 erst einmal neutralisieren. Das sieht nach einer Korrektur von ITERATIONENW.TXT dann so aus:

-8888, -1010

-8888, 1,C:\USERS\<>name>\DOCUMENTS\

Plotter-Datendateien werden nach dieser Verkommentierung ins Hauptverzeichnis ausgegeben..

5.2 *Ausgabedateien*

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

1. Hauptausgabedatei: ZZ<Erweiterung>
2. Delta-Datei: ZZ<Erweiterung>_DELTA_<Steuerkennzeichen>.TXT (siehe Kap. 6.1, Steuertyp -105, Aufgabe 1)
3. Rezessionsdatei: ZZ<Erweiterung>_REZESSION_<Steuerkennzeichen>.TXT (siehe Kap. 6.1, Steuertyp -105, Aufgabe 1)
4. Plotter-Datendatei: ZZ<Erweiterung>_PLOT_<Steuerkennzeichen>.TXT (siehe Kap. 6.9)

Das Steuerkennzeichen ist in Kap. 5.5 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.

Der oben als ZZ bezeichnete Dateien-Teilname kann gemäß Kap. 6.1, Steuertyp -102 abgeändert werden.

Die Plotter-Datendatei wird nur ausgegeben, falls dies gemäß Kap. 6.1, Steuertyp -107 oder Steuertyp -227 vereinbart wird. Steuertyp -106 kann auch einen alternativen Dateinamen und ein alternatives Ausgabe-Verzeichnis vereinbaren.

5.3 *Unterverzeichnisse des Hauptverzeichnisses*

Die WELTTABELLEN-Windows-Umgebung enthält neben dem Hauptverzeichnis 3 Unterverzeichnisse: STEUERD (mit Steuerdateien, siehe Kap. 5.4), PLOTTER (mit Batch-Dateien zur stapelweisen Ausführung von Plotter-Steuerdateien und sonstigen Hilfsdateien zur Erzeugung von Zeichnungen, siehe Kap. 6.9) und TNACHA (T_NACH_A-Dateien, für alle vorbereiteten WELTTABELLEN-Parametersätze bereits vorhanden, siehe Kap. 6.4 und 6.5).

5.4 *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

c 1a oder alternativ: d 1a
w

ein. Als Ergebnis findet man 3 neue Dateien im Ordner C:\ALTOS. Die Steuerdatei STEURERW1a.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 Strahlungsdichte Ω_R via Stefan-Boltzmann Konstante und Lichtkegel-Scheitel $a=1$, $t=HEUTE$ besetzt. Nur Abweichungen von diesen Festlegungen werden erwähnt.

In der folgenden Tabelle steht in der ersten Spalte die Namensweiterung 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. H steht für den Platzhalter -31, der durch die Datei MINUS31 (oder durch den I-Steuertyp -1020) definiert werden kann. ITYP -1020 ist vom Entwickler auf „physikalisch“ voreingestellt. Für STYP und ITYP siehe Kap. 8.

a	1	Siehe Kap. 6.4 – wird vom Benutzer nie oder selten benötigt.	M
a-EVO	1	Siehe Kap. 6.5 – 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. 5.9 zu lesen. Der Scheitel des Lichtkegels ist auf $a=1$ voreingestellt. Ausgegeben werden mitbewegte Koordinaten.	M
1aa	1	Wie 1a. Ausgabe ab $a=10^{-16}$	M
1am7	1	Wie 1a, zusätzlich werden a, z, t, PH(Urknall), PH(7) in die PLOT-Datei ausgegeben.	M
1amz4	1	Wie 1a, 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
1ap28	1	Wie 1ap, allerdings für Scheitelpunkt bei $t=28$. Via Wandelvariable wird $t=28$ in a umgewandelt und via STYP -301 abgerufen.	P
1app	1	Wie 1ap, zusätzlich werden a, z, t, PH(Urknall), PH(CMB) in die PLOT-Datei ausgegeben.	P
1arez	1	Wie 1ap, es werden in _REZESSION die Rezessionsgeschwindigkeiten von Horizonten (und nicht die von Galaxien auf diesen Horizonten) ausgegeben. Für sehr hohe Werte ist Kap. 5.9 zu lesen. Für kleinste Koordinaten Horizontwerte mit 1a-EVOREz vergleichen (in 1arez ist $\Omega_R \neq 0$).	P
1a-EVOREz	1	Gleiche Leistung wie 1a, jetzt aber für den Parametersatz EVO (siehe Kap. 6.5). Für kleinste Koordinaten Horizontwerte mit 1arez vergleichen (in 1a-EVOREz ist $\Omega_R=0$).	P
1t	1	Eingabe Zeitpunkte (-14 für HEUTE). Für sehr hohe Werte ist Kap. 5.9 zu lesen.	P

1trez	1	Wie 1t. In _REZESSION-Datei wird die Rezessionsgeschwindigkeit von Horizonten (und nicht die von Galaxien auf diesen Horizonten) ausgegeben. Für sehr hohe Werte ist Kap. 5.9 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. 6.5,	P
1t-EVO- rez	1	Wie 1t-EVO, es werden aber in _REZESSION die Rezessionsgeschwindigkeiten von Horizonten (und nicht die von Galaxien auf diesen Horizonten) ausgegeben. Für kleinste Koordinaten Horizontwerte mit 1trez vergleichen (in 1a-EVOrez ist $\Omega_R = 0$).	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 $z^*=z(\text{HEUTE})$ ausgegeben.	P
1tV	1	Eingabe Zeitpunkte als Vielfache der Zeit von HEUTE	P
1t-LKap- 42	1	Ausgabe VERALLGEMEINERTER MITBEWEGTER Abstand von Galaxien auf einem Lichtkegel mit Scheitelpunkt $a_s \neq 1$ (hier $a_s = (a(t=42))$). Siehe Kap. 6.1, STYP -107, Variablen 16 und 15.	M
1r	1	Eingabe Look-Back-Time. Standardscheitel.	P
1r-virgo	1	Eingabe Look-Back-Time. Standardscheitel. Entfernung zum Zentrum des Virgo-Superhaufens.	P
1rV	1	Eingabe Look-Back-Time als Vielfache von HEUTE	P
1rV2	1	Wie 1rV, aber Scheitel T=2*HEUTE, via externen Scheitel	P
1z	1	Eingabe Rotverschiebungen (Standardscheitel) $z=1090$, Entfernung CMB heute: 45.22 <u>Mrd.</u> Lichtjahre (Planck18). Ausgabe in mitbewegten Koordinaten.	M
1zplot	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
1zp	1	Siehe Kap. 10.1. Wie 1z, aber Ausgabe in physikalischen Koordinaten.	P
1zprez	1	Siehe Kap. 10.1. Wie 1zp, allerdings werden die Rezessionsgeschwindigkeiten von Horizonten, nicht die Rezessionsgeschwindigkeiten von Galaxien auf 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^*), 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^* zgedacht war.)	M
1z5	1	Eingabe z^* (Scheitel $z^*=-0.5$). Ausgabe z und zusätzlich z^* für z^* zwischen 1100 und 1089. Im Wesentlichen gleiche Leistung wie 1z2, allerdings werden physikalische Daten ausgegeben.	P
1z-ICRAR	1	Im Prinzip wie 1z, aber für Planck15 und Ω_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 Zusatzzeile 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
1tdichtkg	1	Ausgabe von Dichten in PLOT.TXT in kg/m ³ . Planck15	P
1tdichtGeV	1	Ausgabe von Dichten in PLOT.TXT in GeV/c ² /m ³ . BOBLEST	P
1tvollJ	1	Ausgabe von Volumen in PLOT.TXT in Lj ³ . Planck15	P
1tvolkM	1	Ausgabe von Volumen in PLOT.TXT in km ³ . Planck15	P
1t-variablen	1	Ausgabe verschiedener Variablen in die Plotter-Datendatei (siehe Kap. 6.9). Durchlauf mit kleinsten bis zu größten zulässigen t-Werten - siehe Beispiel in Kap. 10.	H
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(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.	H
1tgal99-2	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. Offenbar ist die Entfernung größer als der Wert des Lichtkegels bei t=CMB. Das mitbewegte Objekt liegt also nicht auf dem Lichtkegel.	H
1tgal99-3	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.	H
1tgalEH-?	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} (∞)= D _{EH} (0)) vom Beobachter hat. Die 8-stellige Plotter-Ausgabe ist für die 3 folgenden Dateien identisch.	

1tgalEH-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
1tgalEH-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
1tgalEH-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

1?galExakt-?		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) schneidet den Partikelhorizont $PH(CMB)$ bei $t=HEUTE$. $PH(CMB)$ ist im PLOT-Ausdruck durch PHu-a gekennzeichnet (Ausgabe Plotter-Variable 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-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 auf 13 zählende Ziffern identisch.	P

ltgalExakt-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
lagalExakt	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 $PH(Urknall)$.	H
lagalExakt2	1	Wie lagalExakt, aber bezogen auf $LK(a=2)$	H
lagalExaktEH	1	Wie lagalExakt, aber mitbewegtes Objekt liegt kurz nach dem Urknall auf den Ereignishorizont $EH=LK(a=\infty)$.	H
lagalExakt-CMB	1	Wie lagalExakt, aber Rotverschiebung von ZCMB (bei Planck18: 1090). Auch Ausgabe von $PH(CMB)$ in Plotter-Datendatei.	H
lagalExakt2-CMD	1	Wie lagalExakt-CMB, aber Rotverschiebung von $z^*=ZCMB$ (bei Planck18: 1090). z^* wird umgewandelt in z .	H
lagalExaktEH-CMB	1	Wie lagalExakt-CMB, aber mitbewegtes Objekt liegt bei $a=CMB$ auf dem Ereignishorizont EH.	H
lagalExakt 1000-CMB	1	Wie lagalExakt oder lagalExakt2, 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.	H

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 <u>PLOT</u> -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.	H
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.	H
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.	H
1t-Objekt-EH-Urknall	1	Berechnet werden soll die (im Allgemeinen physikalische) Weltlinie einer Galaxie, die kurz nach dem Urknall auf dem Ereignishorizont liegt.	H
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.	H
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.	H

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.	H
1t-Objekt-EH-CMB	1	Berechnet werden soll die (im Allgemeinen physikalische) Weltlinie einer Galaxie, die zum Zeitpunkt CMB auf dem Ereignishorizont liegt.	H
1a-Objekt-a1-Urknall	1	Skalenfaktor-Variante von 1t-Objekt-t14-Urknall. Kann verwendet werden, wenn man verschiedene Skalenfaktor-Werte eingeben möchte.	H

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 $a=1$
2t	2	Kosmische Parameter für Scheitel bei $t=HEUTE$ Die Ergebnisse von 2a und 2t sind identisch
2tCMB	2	Kosmische Parameter für den Scheitel bei t ($z^*=1090$)
2t21	2	Kosmische Parameter für den Scheitel bei $t=21$
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 $t=3*HEUTE$
2tW	2	Wie 2tV. Ausgabe z^* anstelle z . Nur um zu zeigen, dass es geht.
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?
3-3-5	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. 6.5
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.
3-5-22	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 Scheitelunkte der Dritten Zeile stimmen nicht mit den absolut aufgeführten von 3-5-22 überein.
3-5-22plot	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 4.2248 (SPT0418-47) beim Standardscheitel eines Lichtkegels ($z(\text{HEUTE})=0$) SICHTBAR ist. Bei welchen a bzw. t schneidet die Galaxie die Lichtkegel mit den t-Scheitelpunkten der Dritten Zeile? Außerdem werden die Schnittpunkte (t, Galaxie, siehe STYP -107) in physikalischen Koordinaten bis zum Ereignishorizont in die Plotter-Datendatei geschrieben. Da STYP -106 nicht besetzt ist, erhält die Plotter-Datendatei (im Hauptverzeichnis) den Standardnamen mit angehängtem PLOT.
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. 6.5.
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.
3-13-22x	3	Siehe Kap. 10.1. Es werden Lichtkegel für 3 t-äquidistante Schnittpunkte der HEUTE unter $z=4.2248$ sichtbaren Galaxie mit Lichtkegeln zwischen dem HEUTE-Lichtkegel und dem Ereignishorizont ermittelt.
3-13-22xplotp	3	Wie 3-13-22x, zusätzlich werden Zeit und physikalische Galaxie-Koordinaten in die Plotter-Datendatei geschrieben.
3-13-22xplotm	3	Wie 3-13-22x, zusätzlich werden Zeit und mitbewegte Galaxie-Koordinaten in die Plotter-Datendatei geschrieben.

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

5.5 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 der Dateiname der Steuerdatei 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.TXT`.

5.6 Ein erster Übungslauf

Steuerdateien befinden sich im Unterverzeichnis `STEUERD` des Hauptverzeichnisses `C:\ALTOS`. Das Programm `WELTTABELLEN`, aufgerufen durch `w`, greift stets auf die Steuerdatei `STEUERW` im Hauptverzeichnis zu. Ein Befehl `c` kopiert eine Steuerdatei aus dem Unterverzeichnis `STEUERD` des Hauptverzeichnisses auf die Datei `STEUERW` des Hauptverzeichnisses.

Wir setzen im Weiteren voraus, dass der Benutzer Kap. 5.1 gelesen hat. Es sind also das Explorer-Fenster von `C:\ALTOS` und das auf `C:\ALTOS` verweisende Konsolfenster verfügbar.

Wir gehen jetzt davon aus, dass sich der Benutzer entschlossen hat, `WELTTABELLEN`-Durchläufe für die Steuerdateien `STEUER1t`, `STEUER1z`, `STEUER2t` und `STEUER3-11-22` aus Kap. 5.4 im Unterverzeichnis `STEUERD` des Hauptverzeichnisses durchzuführen. Weiter gehen wir (nur wegen der Namen der Ausgabedateien) davon aus, dass zuvor keine `WELTTABELLEN`-Durchläufe stattgefunden haben.

In der Konsoleingabe gibt der Benutzer nun

`c 1t` und danach
`w` ein, oder alternativ einfach

`d 1t`.

Der Befehl `w` führt `WELTTABELLEN` für die Datei `STEUERW` im Hauptverzeichnis aus. `d` vereinigt die beiden Befehle `c` und `w`.

Sodann wechselt er jetzt ins Explorer-Fenster und findet unten (Explorer-Fenster nach Dateinamen geordnet) die 3 Dateien `ZZ.TXT`, `ZZ_DELTA_1t.TXT` und `ZZ_REZESSION_1t.TXT` vor. Durch Doppelklick auf den jeweiligen Dateinamen kann er sich die Ergebnisse anschauen.

Mit den Konsoleingaben

<code>c 1z</code>	<u>alternativ</u>
<code>w</code>	<code>d 1z</code>
<code>c 2t</code>	<code>d 2t</code>
<code>w</code>	
<code>c 3-11-22</code>	<code>d 3-11-22</code>
<code>w</code>	

kann der Vorgang wiederholt werden, die Ergebnisdateinamen nehmen nun die Form ZZA, ZZB und ZZC an.

Wie erwähnt, fasst der Befehl d (realisiert durch die Datei d.bat) die beiden Befehle c und w zusammen. Man wird häufig die Datei STEUERW.TXT im Hauptverzeichnis korrigieren, um nicht mühsam aufgebaute Steuerdateien im Verzeichnis STEUERD zu zerstören. Eine Aufteilung in 2 Befehle erscheint daher häufig zweckmäßig. Legt z.B. eine Steuerdatei fest, dass WELTTABELLEN physikalische Koordinaten ausgeben soll, so kann man einfach STEUERW so korrigieren, dass in einem zweiten Lauf nun mitbewegte Daten ausgegeben werden (Ersetzen von -211 / 1 durch -211 / 0), ohne die dokumentierte Steuerdatei zu verändern.

5.7 *Beispiel für eine Steuerdatei*

Es folgt der Ausdruck der Steuerdatei STEUERW1t. Hinter einem Komma am Ende von Zahlen-Eingabeparametern können Kommentare stehen.

```
-102
;t
-103,   Text bis vor &&&-Zeile wird am Anfang der ersten Ausgabedatei ausgegeben
Eingabe von Zeitwerten t (Mrd. Jahre seit dem Urknall). Wie 1a, aber für eine
sehr viel geringere Anzahl von Eingabewerten.
&&&
-111
18,-9,   Planck 18, OMEGA_R via Stefan-Boltzmann-Konstante
3,       via Steuertyp -301 werden Zeitwerte in Mrd. Jahren seit Urknall erwartet
-211
1,       es werden physikalische Daten ausgegeben
-301,   auszugebende Zeitpunkte
0.75585096687721E-21,0,0,-14,-8,   t=0.75585096687721E-21 entspricht a=0.1E-11.
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
2,0.5,12.5,-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. 6.2.) 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 Buchstabenfolge ZZ.

5.8 Dateien vom Typ T_NACH_A und ihre Erzeugung

Dateien vom Typ T_NACH_A sind in Kap. 6.3 genauer erläutert. In Kap. 6.4 ist beschrieben, wie man solche Dateien über spezielle Steuerdateien erzeugen kann.

5.9 Bemerkungen zur Rechengenauigkeit

Das Programm WELTTABELLEN arbeitet mit doppelter Genauigkeit, was ungefähr 14 bis 15 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 $c / (H_0 \cdot \Omega_\Lambda^{1/2})$ in Mrd. Lichtjahren.

In der 8-ziffrigen Darstellung sind bei Planck18 und voreingestelltem Ω_R beide Reihen 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. 5.2 bzw. Kap. 6.1, 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. 5.4 genauer und beispielhaft thematisiert.

5.10 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. 6.7) 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.

6 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.

6.1 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 Befehl „C Zeichenfolge“ (via Befehlsdatei C.BAT) wird die durch die Zeichenfolge umschriebene Steuerdatei im Unterverzeichnis STEUERD auf STEUERW.TXT kopiert. Z.B. wird durch „C It“ die Datei STEUERWIt.TXT im Unterverzeichnis STEUERD auf STEUERW.TXT im Hauptverzeichnis kopiert. Der anschließende Befehl w (in w.BAT) führt WELTTABELLEN mit der Steuerdatei STEUERW.TXT aus. Schreibt man anstelle „C It“ den Befehl „D It“, so wird die betreffende Steuerdatei unmittelbar ausgeführt. (Man sollte eine selbst aufgebaute Steuerdatei nicht einfach STEUERW.TXT nennen, da diese Datei später leicht überschrieben werden kann.)

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, V=Voreinstellung.

Ist der letzte Wert einer Zeile ein (I)- oder (D)-Wert, 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.</p> <p>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</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 10^{-16} bis 10^{31}, 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 Ω_R, 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. 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.</p> <p>Bedeutung des zweiten Parameters MINUSUNTEN (I) (V:-9, entspricht 1): Untere Grenze für Benutzereingaben in GRENZENW wird um MINUSUNTEN verringert.</p> <p>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“</p> <p>In der Folgezeile steht der Dateiname (maximal 40 Zeichen inklusive Extension) der Hauptausgabedatei, optional gefolgt von einem Semikolon und einem anschließenden Steuerkennzeichen.</p> <p>Ist der Dateiname bereits vorhanden, wird durch Anhängen von Buchstaben ein neuer Dateiname gebildet.</p> <p>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.</p> <p>Zusätzlich werden bei allen 3 AUFGABEN zwei zusätzliche Ausgabedateien erstellt, bei der <u>_DELTA_<Steuerkennzeichen></u> bzw. <u>_REZESSION_<Steuerkennzeichen></u> an den Namen der Hauptausgabedatei angehängt wird.</p> <p>Wird mit STYP -107 eine Plotter-Datendatei erstellt und ist STYP -106 nicht vorhanden, so wird eine Plotter-Datendatei mit der Extension <u>_PLOT</u> ins Hauptverzeichnis geschrieben.</p> <p>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 <u>_DELTA</u>, der <u>_REZESSION</u> und, falls im Standardverzeichnis vorhanden, auch der <u>_PLOT</u>-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. &&& 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)</p> <p>EPSREL: relative Genauigkeit bei der Berechnung von Integralen: V: -9, siehe auch ITERATIONENW ITYP=1060.</p> <p>LINKSMULTIPLIKATOR (V:-9), RECHTSMULTIPLIKATOR (V:-9), MAXREP: (V:-9), AENDANZ (V:-9): wie in Kap. 6.6 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.</p>

	<p>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 η aufgeführt. Zusätzlich noch $a'(t)$, $a''(t)$ und Abbremsparameter q. c1) In Datei mit Primärname _REZESSION werden die Rezessionsgeschwindigkeiten (in Vielfachen der Lichtgeschwindigkeit c) 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 Horizonten ausgedruckt. Vielmehr werden die Rezessionsgeschwindigkeiten 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>+++++++</p> <p>AUFGABE 2: Ausgabe verschiedener kosmologischer Parameter: Schnittpunkt Partikelhorizont-Ereignishorizont, Schnittpunkt Lichtkegel-Partikelhorizont, Schnittpunkt Lichtkegel- Hubblesphäre, Übergang von verlangsamer zu beschleunigter Expansion In der 2. Folgezeile werden 2 Werte erwartet: AUFGABE2EINGABETYP(I), Scheitelpunkt Lichtkegel (D) Bedeutung: AUFGABE2EINGABETYP=1: Scheitelpunkt in a (1=Skalenfaktor HEUTE) AUFGABE2EINGABETYP=3: Scheitelpunkt in t (Mrd. Jahre, -14=HEUTE) AUFGABE2EINGABETYP=33: Scheitelpunkt in t (Vielfaches des Werts von HEUTE)</p> <p>Eine -7 (siehe STYP -120) bzw. eine -21, -22, -23 (siehe STYP -121, -122, -123) für den Abruf des externen Scheitels sind zulässig.</p>

	<p>Nur der Schnittpunkt zwischen Lichtkegel und Hubblesphäre bzw. Partikelhorizont sind vom Scheitelpunkt des Lichtkegels abhängig. Bei den anderen beiden Parametern ändern sich lediglich die vom Scheitelpunkt abhängigen z-Werte.</p> <p>Unter den aktiven Steuertypen werden nur -111/-112, -120, -121, -122 und (teilweise) -221 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. 4.2 dargelegten Komplikationen auf, ist z der zweiten Zeile des Pakets für den Schnittpunkt Partikelhorizont-Ereignishorizont numerisch nicht mehr berechenbar. Für diesen Fall sind die folgenden Varianten vorbereitet. (Wird der a- oder t-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.</p> <p>202: Der Schnittpunkt Partikelhorizont-Ereignishorizont wird insgesamt nicht ausgegeben.</p> <p>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 z-Werte sind scheidelabhängig.</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 $PH(0) = PH(\text{Urknall})$ berechnet, sondern der Schnittpunkt mit dem Partikelhorizont $PH(u)$, wobei u durch die Wandelvariable -22 (Eingabe via STYP -122) 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 [10], [11] und [12] wird $PH(u)$ mit $PH(t_{\min})$ bzw. $PH(a_{\min})$ bezeichnet.</p> <p>++++++</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.</p> <p>Der Ort der Galaxie wird intern durch einen Wert von a und durch einen mitbewegten Abstand vom Beobachter bei diesem Wert identifiziert. Die Parameter werden durch die Steuertypen -224 und -227 eingegeben.</p>
STYP -106 Normalfall: fehlt	<p>Ist STYP -106 nicht besetzt, wird aber via STYP -107 geplottet, so erscheint das Ergebnis im Standardverzeichnis (siehe STYP -102).</p> <p><u>Der Character-String in der Folgezeile des Steuertyps überschreibt den Standardnamen für die Plotter-Datendatei.</u> Ist der String gleich &&&, ist das Steuerkennzeichen Name der Plotter-Datendatei. Ist kein Steuerzeichen vorhanden, ist der Basis-Dateiname (z.B. ZZA) Name der Plotter-Datendatei. Ein &&& zugeordneter Plotter-Datendatei-Name enthält keine _PLOT-Ergänzung. Besteht der String aus 3 Minuszeichen, ist das Verhalten so, als wäre STYP -106 nicht vorhanden.</p>

	<p>Die Plotter-Datendatei wird bei vorhandenem STYP -106 im Normalfall in das durch ITYP -1010 (Datei ITERATIONENW) bezeichnete Verzeichnis geschrieben.</p> <p>In der Folgezeile von ITYP -1010 wird (hinter „1,“) der Name für eine Plotter-Datendatei erwartet (siehe Kap. 6.6) . Dieser Name darf einen Verzeichnisnamen enthalten, z.B. C:\USERS\<name>\documents\ (windows-standardverzeichnis="" dokumente).<="" für="" p=""> <p>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> </name>\documents\></p>
<p>STYP -107 Normalfall: fehlt, d.h. kein Plotten</p>	<p>Zusätzliche Ausgabe in eine Plotter-Datendatei. Diese mag auch für andere Zwecke als zur Vorbereitung von Plotter-Zeichnungen verwendet werden.</p> <p>1. Folgezeile: 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 PZEILANZ(I): Anzahl Eingabezeilen hinter 2. Folgezeile. Normalfall: 0 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>2. Folgezeile: 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). Folgende Variablennummern wurden vergeben: 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 η 11: $a'(t)$ 12: $a''(t)$ 13: q 14: Galaxie 15: LK-ap ($=a_s * D_{LK}(a_s, ap)$) 16: a-ap ($=a / a_s$) 17: Leuchtkraftdistanz ($LeuKD(a)=a_s^2 * D_{LK}(a_s, a) / a$) 18: PHu-a: Partikelhorizont u bis a, u=Wandelvariable -22 (siehe STYP -122): Mitbew.: $D_{PH}(a)-D_{PH}(u)$, Phys.: $a * (D_{PH}(a)-D_{PH}(u))$ 19: rhoR-Strahlungsdichte (inkl. Neutrinos) 20: rhoM-Materiedichte 21: rhoLd-Dichte Dunkle Energie (konstant) 22: rhoT-Kritische (Energie-)Dichte, 19-22 in kg/m^3, siehe STYP -221, Pos. 5 23: VolLK: Volumen Kugel über Distanz Lichtkegel 24: VolPH: Volumen Beobachtb. Univ. $V:(Mrd Lj)^3$, siehe STYP -221, Pos. 10 25: t in sec 29: Variable 22-(Variablen 19 bis 21) (Testgröße, sollte NULL sein, wird eventuell später entfernt) Für Variablennummern 15-17: $D_{LK}(a_s, a)$ siehe Tabelle in Kap. 4.3. Mittels LK-ap (immer mitbewegt) kann man z.B. die Entfernung des Beobachters von einer Galaxie auf einem Lichtkegel beim Scheitelpunkt a_s ermitteln, wenn die Galaxie ihr Licht beim Skalenfaktor</p>

	<p>a-ap emittiert hat. Es ist ratsam, (nur für mitbewegte Koordinaten) die Variablen a, LK ($=D_{LK}(1, a)$), ap, LK-ap ($=a_s * D_{LK}(a_s, ap)$), also Variablen 1, 8, 16, 15, immer gemeinsam auszugeben. Es gilt stets $a * LK = ap * LK - ap$. ap ist 1, und LK-ap ist 0 an der Stelle a_s. Man kann LK-ap als einen VERALLGEMEINERTEN MITBEWEGTEN Abstand des Lichtkegels vom Beobachter auffassen, wobei der MITBEWEGTE Abstand dem physikalischen Abstand bei a_s entspricht. Diese Verallgemeinerung gilt ausschließlich für die Variablen 15 und 16. Das Konzept des mitbewegten Abstands bei a_s wird für andere kosmologische Fragenstellungen nicht fortgesetzt.</p> <p>Zusätzlich können alle Variablennummern noch mit einem Minuszeichen (z.B. -7) versehen werden. In diesem Fall wird der jeweils negative Wert (Zweck: symmetrische Zeichnungen nach Vorbild [1] oder [2]) ausgegeben.</p> <p>3. Folgezeile: enthält 3 Zeichen, den Trenner, das allgemeine Kommentarzeichen und das Kommentarzeichen für die Variablenkopfzeile. Wenn die 3. Folgezeile fehlt, ist ,## (Komma, 2-mal Numeralsymbol) voreingestellt. Sind Leerzeichen (insbesondere am Ende) enthalten, so sollte man ein viertes Zeichen anhängen, damit keines der ersten 3 Zeichen verloren geht,</p> <p>4. Folgezeile: Format zur Variablenausgabe in Variablenkopfzeile nach FORTRAN-KONVENTION</p> <p>5. Folgezeile: Format zur Kopfzeilenausgabe nach FORTRAN-KONVENTION</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>STYP -111 V=Planck18 mit sd=-9</p>	<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> <table border="0" data-bbox="394 855 2038 1230"> <tr> <td>13 (Planck 13), sd</td> <td>Die Planck-Parametersätze wurden dem Abstract der jeweiligen Veröffentlichung entnommen.</td> <td></td> </tr> <tr> <td>15 (Planck 15), sd</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>18 (Planck 18), sd</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>737 (737), sd</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 (WMAP1), sd</td> <td>(Table 10, Section 4.1)</td> <td rowspan="5">Wie bei den Planck-Veröffentlichungen liefert WMAP Parameter für eine Reihe unterschiedlicher Modellrechnungen, aus denen wir nach bestem Wissen eine Auswahl getroffen haben.</td> </tr> <tr> <td>3 (WMAP3), sd</td> <td>(3 Years+ALL Mean-Table 2)</td> </tr> <tr> <td>5 (WMAP5), sd</td> <td>(Abstract)</td> </tr> <tr> <td>7 (WMAP7), sd</td> <td>(WMAP+BAO+H0 Mean-Table 1)</td> </tr> <tr> <td>9 (WMAP9), sd</td> <td>(WMAP+eCMB+BAO+H0-Table 4)</td> </tr> <tr> <td>33 (GiggleZ), sd</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>44 (Millennium), sd</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p>sd ist die Strahlungsdichte Ω_R, die Null oder einen positiven Wert annehmen kann. sd=-9 bedeutet, dass die Strahlungsdichte über die Stefan-Boltzmann-Konstante berechnet wird. Ω_Λ ist 1-Materiedichte-Strahlungsdichte.</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 eine Reihe unterschiedlicher Modellrechnungen, aus denen wir nach bestem Wissen eine Auswahl getroffen haben.	3 (WMAP3), sd	(3 Years+ALL Mean-Table 2)	5 (WMAP5), sd	(Abstract)	7 (WMAP7), sd	(WMAP+BAO+H0 Mean-Table 1)	9 (WMAP9), sd	(WMAP+eCMB+BAO+H0-Table 4)	33 (GiggleZ), sd			44 (Millennium), sd		
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 eine Reihe unterschiedlicher Modellrechnungen, aus denen wir nach bestem Wissen eine Auswahl getroffen haben.																												
3 (WMAP3), sd	(3 Years+ALL Mean-Table 2)																													
5 (WMAP5), sd	(Abstract)																													
7 (WMAP7), sd	(WMAP+BAO+H0 Mean-Table 1)																													
9 (WMAP9), sd	(WMAP+eCMB+BAO+H0-Table 4)																													
33 (GiggleZ), sd																														
44 (Millennium), sd																														

STYP -112	<p>Es folgt in der Folgezeile ein Satz kosmologischer Konstanten, bestehend aus 3 (D)-Werten: Strahlungsdichte sd (-9 ist zulässig), Materiedichte Ω_M, Hubble-Parameter H_0. Für sd und Ω_Λ 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. 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.</p>
STYP -120 V: HEUTE	<p>Externer Scheitelpunkt. In der Folgezeile wird ein Scheitelpunkt erwartet, entweder 1, a für einen Scheitelpunkt in a ($a=1$ für HEUTE) oder 3, t für einen Scheitelpunkt in t (-14 für HEUTE) oder 33, v für ein Vielfaches v des Zeitpunkts von HEUTE. Durch diese Definition allein geschieht noch nichts. Der Scheitelpunkt kann jedoch von anderen Steuertypen (insbesondere -301) abgerufen werden, im Allgemeinen durch eine -7.</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. In der Folgezeile der Steuerzeile wird ein Eingabewert erwartet, entweder 1, a für einen Eingabewert in a ($a=1$ für HEUTE) oder 2, z^* für einen Eingabewert t in z^*, $z^*(HEUTE)=0$ oder 3, t für einen Eingabewert in t (-14 für HEUTE) oder 33, v für ein Vielfaches v des Zeitpunkts von HEUTE. 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, sofern für Parametersatz nicht anderer CMB-Wert (Rotverschiebung) veröffentlicht ist. WMAP1: 1089, WMAP3: 1100, WMAP5: 1090.51 (Table 3). WMAP9: z auf 1090.88 gesetzt gemäß Table 11, des Öfteren ist nur $z \approx 1090$ 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 >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 der dritte Wert gleich 1, so wird im Platzhalter -24 zusätzlich der mitbewegte Abstand zum Ereignishorizont beim Wert der Wandelvariablen -23 abgelegt. Ist der dritte Wert gleich 0, erfolgt allein die Zuweisung auf Wandelvariable -23. Platzhalter -24</p>

	kann von STYP -224 abgerufen werden. (Ist der eingegebene Wert vom Typ z^* , so wird bezüglich des Abstandes zum Ereignishorizont auf das via den Lichtkegelscheitel bei $a=1$ definierte a oder t verwiesen.)
	Die erzeugten Wandelvariablen -21, -22 und -23 können durch die Steuertypen 121-123 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
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 *), 23=Eingabe Look-Back Time vom Scheitel Mrd. Jahre **) (Look-Back(Scheitel)=0) *): oder Vielfachen von HEUTE (siehe STYP -200) **): oder SCHEITEL minus Vielfachen von HEUTE (siehe STYP -200) <i>Achtung:</i> 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 z^* -Scheitelwert auf a und t . Für diesen a - bzw. t -Scheitelwert können dann z -Werte mit $z(\text{SCHEITEL})=0$ abgeleitet werden. z^* -Werte und z -Werte sind dann inkonsistent. z^* -Werte gelten nur für Rotverschiebungen auf dem Lichtkegel mit $z^*(\text{HEUTE})=0$, z -Werte nur für Rotverschiebungen auf dem Lichtkegel mit $z(\text{SCHEITEL})=0$. Die Ausgabe kann noch über den Parameter IZSCHEITEL des Steuertyps -222 gesteuert werden. <i>Hinweis:</i> Mittels Platzhalter -6 auf Scheitelposition in der 1. Folgezeile von Steuertyp -301 (siehe dort) können auch z -Werte anstelle von z^* -Werten eingegeben werden. 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).
STYP -211	<u>Nur relevant für AUFGABENSTELLUNG 1: Ausgabe Mitbewegte/Physikalische Koordinaten</u> Folgezeile ein (I)-Wert: 0=Mitbewegte Koordinaten, 1=Physikalische Koordinaten, 101=Physikalische Koordinaten, in Datei _REZESSION erfolgt die Ausgabe der Rezessionsgeschwindigkeit von Horizonten (nicht von Galaxien). Platzhalter -31 ist zulässig - siehe ITYP -1020 der Datei ITERATIONENW (Kap. 6.6) oder Datei MINUS31.TXT (Kap.6.8). Zusatzbemerkung: Die Leistung von Wert 101 wird generell nur bei AUFGABENSTELLUNG 1 erbracht.
STYP -221 Wird selten benötigt	Ausgabesteuerung. Die Folgezeile erwartet 6 (I)-Werte, dann einen (D)-Wert und abschließend 3 (I)-Werte – also insgesamt 10 Werte 1) 1 oder -9: Ausgabe Rezessionsgeschwindigkeiten in Datei _REZESSION in Vielfachen von c . 2:in km/s. V:-9 2) n: Nach jeweils n Zeilen Ausdruck Kopfzeile. 0: Keine Kopfzeilen. -9: nach 20 Zeilen. V:20

	<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 a=0 noch a=unendlich 1: Zusatzzeile für a=unendlich 2: Zusatzzeile für a=0 3 oder -9: Beide Zusatzzeilen. V:-9</p> <p>5) 1 oder -9: Dichten (Variablen 19-22 in STYP -107) in m³/kg 2: Dichten in (GeV/c²)/m³. V: -9</p> <p>6) 1 oder -9: Numerisches Standardverfahren zur Berechnung der Dichtefunktion. 2: Verfahren 2. V: 1. Verfahren 2 hat nicht viel gebracht und wird eventuell in einer späteren Version entfernt.</p> <p>7) AZMIN (D): An einigen Stellen wird ein Wert als NULL erkannt, wenn dessen Absolutbetrag < AZMIN ist. Wird -9 eingegeben, so wird AZMIN auf 5.D-13 gesetzt. V:-9. In der aktuellen Version wird als einzige Anwendung z auf NULL gesetzt, wenn z<AZMIN.</p> <p>8) Nur für Ausgabe a'(t) und a''(t) in _DELTA-Datei. 1: Dimension da/dt = 1/s. 0 oder -9: Dimension da/dt = km/Mpc/s. V:-9.</p> <p>9) 0 oder -9: Berechnung Schubumkehr via a''(t) und q (nur für AUFGABENSTELLUNG 2, siehe STYP -105). V:0. 1: Berechnung Schubumkehr via Steigen oder Fallen der a-Nachbarwerte – alte Version, Ergebnis weniger genau. Wird eventuell in einer späteren Version entfernt.</p> <p>10) 1 oder -9: Ausgabe Volumen (STYP -107, Variablen 23 und 24) in (Mrd. Lichtjahre)³, 2: in km³. 3: in m³. V:-9</p>
<p>STYP -222 Wird selten verwendet.</p>	<p><u>Funktioniert bei allen 3 AUFGABEN: Ausgabe z bzw. z* via IZSCHEITEL(I): V: -9</u> In Folgezeile: IZSCHEITEL 0 oder -9: Ausgabe gemäß z(Scheitel Lichtkegel)=0 - Normalfall 1: Ausgabe gemäß z*(HEUTE)=0 – Achtung: Inkonsistenzen mit a und t 2: Ausgabe z, dann z* in direkt folgender Zusatzzeile 3: wie 2, zusätzlich werden in einer Zusatzzeile 2 z*-Werte ZUNTEN(D), ZOBEN(D) eingegeben, die die Ausgabe der Zusatzzeile eingrenzen. ZUNTEN (nahe am Urknall, eventuell sehr große Zahl): V:-9 entspricht 10¹⁰⁰ ZOBEN (nahe bei UNENDLICH, bis -1.1=-1 minus Rundungsfehler): V:-9 für -1.1 Sinn von IZSCHEITEL=3: Man kann z.B. ZUNTEN=1100 und ZOBEN=1089 eingeben, um z* 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: z(apexa)=0, auch wenn apexa von 1 verschieden ist.</p> <p>-202,apexa,z* wie -2, nur $z^*=z^*(a=1)$ anstelle z(apexa). a und t werden via Scheitel bei a=1 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: z(apext)=0.</p> <p>-222,apext,z* wie -22, nur $z^*=z^*(HEUTE)$ anstelle z(apext). 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. a=1 bekannt ist (Beispiel: Emission der Mikrowellen-Hintergrundstrahlung CMB), so kann man diese Rotverschiebung z^* mittels der</p>
-----------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	<p>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 z* (korrekt eingegeben) beeinflusst die Tabellenausgabe in die Plotter-Datendatei bei den Eigenarten -2, -22, -202 oder -222 nicht. Ein in z umgewandelter z*-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 z* 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 ein zu D gehöriges t oder a bestimmt. Dieses kann als -8 in der Dritten Zeile von STYP -227 oder als -18 als a- oder t-Anfangs- oder Endwert bei STYP -301 (Eingabe 1 oder 3 bei STYP -201) abgerufen werden.</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 eingegeben, 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).</p> <p>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>

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 -8 ist.
V:-9, entspricht 2.

Der Ersten Zeile folgen eine Zweite und eine Dritte Zeile.

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.

Dritte Zeile: anz Werte (a-, t-, apexa- oder apext-Werte)

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

13: wie 3, allerdings hat die Dritte Zeile einen besonderen Aufbau

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.

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.

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 anz>2, so umschreiben die ersten anz-2 Werte Multiplikatoren für den Referenzwert, die ebenfalls ausgegeben werden sollen.

	<p>Beispiel: 11,4 Zweite Zeile 0.25,0.5,-8,3 Dritte Zeile</p> <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. aODERt: 1=a, 3=t. Die drei Folgeparameter beziehen sich auf a oder t. Anfangswert (in t oder a gemäß aODERt). -8, möglich, wenn auch sonst erlaubt Endwert; -14 (HEUTE), -16 (t bei Schnittpunkt Galaxie-Ereignishorizont) möglich Schrittzahl: zwischen Anfangs- und Endwert (nur bei t für physikalische Koordinaten relevant), muss aber stets besetzt sein (z.B. mit 0). <u>Sonderfall Anfangswert -1</u>: Wird der Anfangswert auf -1 gesetzt, so werden Endwert und Schrittzahl nicht ausgewertet. 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. 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>
STYP -301	<p><u>Gilt nur bei AUFGABE 1</u></p> <p>Eingabe von Anfangswert, Delta, Endwert, Scheitelpunkt in den Folgezeilen. Ist der Eingabetyp=3 (t) oder 23 (LOOK-BACK t), so steht bei Anfangswert, Endwert und Scheitelpunkt -14 für HEUTE.</p> <p>1. Folgezeile : 4 (D)-Werte, zusätzlich -8 (Integer) Weitere Folgezeilen: 3 (D)-Werte (Scheitelpunkt wird der 1. Folgezeile entnommen), zusätzlich -8. Eine -9 anstelle der -8 am Ende zeigt die letzte Zeile an. Delta muss bei Eingabe z* oder LOOK_BACK t (siehe STYP -201) negativ sein, sonst positiv.</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 2: Eingabe ANFz*, DELTAz*, ENDz*, SCHEITELz*,-8 3: Eingabe ANFt, DELTAat, ENDt, SCHEITELt,-8 23: Eingabe ANFt, DELTAat, ENDt, SCHEITELt (Vielfaches von HEUTE),-8</p> <p>Platzhalter -7 (siehe weitere Erläuterungen), -14, -21, -22 und -23 sind zulässig. Bei Eingabetyp 23 beziehen sich diese aber stets auf absolute Zeitwerte, nicht auf ein Vielfaches von HEUTE.</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 für einen Zugriff auf den externen Scheitelpunkt ist auch bei allen anderen Eingabevarianten 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>
STYP -403	Die Folgezeilen werden an das Ende der Ausgabedatei geschrieben. &&& als erste 3 Zeichen einer Zeile beenden Ein- und Ausgabe.
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.

6.2 Platzhalter

In der Beschreibung der Steuerdatei in Kap. 6.1 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 wird abgerufen.
-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 abgerufen werden. 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. 6.1.
-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. 6.1, 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	Mitbewegter Abstand zum Ereignishorizont bei Wandelvariable -23 (wenn gewünscht)
-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. 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. 6.8) abgeändert zu werden.

6.3 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.

6.4 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
---	---	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---

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 Kapitel 6.1. 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 Ω_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) Ω_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 Ω_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.

6.5 Beispiel für die Erzeugung einer T_NACH_A-Datei

Die Berechnungen von Quelle [4] (siehe Kap. 9) 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 Ω_R , Ω_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 probenhalber 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
-------	---	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---

6.6 Datei ITERATIONENW

Nachdem der I-Steuertyp -1010 eingerichtet worden ist, kann der Benutzer hoffen, die Datei nie wieder ändern zu müssen. Ausnahme eventuell: I-Steuertyp -1020 beim Wechsel zwischen physikalischen und mitbewegten Koordinaten im Falle des stapelweisen Abrufs von Steuerdateien zur Vorbereitung von Plotter-Ausgaben. Es können aber in der aktuellen Programmversion die Leistungen von I-Steuertyp -1020 durch einen Aufruf der Datei MINUS31 ersetzt werden.

Der Aufbau der Datei ITERATIONENW (ITERATIONENW.TXT) ist ähnlich dem der Steuerdatei STEUERW. Lediglich sind die Steuertypen (I-Steuertypen, ITYP) nun 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 allerdings mehrheitlich nur minimal unterschieden. 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,C:\USERS\\DOCUMENTS\. Ist der Steuertyp nicht vorhanden, erfolgt die Ausgabe ins Standardverzeichnis, sofern nicht in STYP -106 ein Verzeichnisname enthalten ist. Ein eventueller Verzeichnisname in STYP -106 überschreibt den Verzeichnisnamen von I-Steuertyp -1010. (GNUPLOT erwartet Dateien im DOKUMENTE-Verzeichnis. Wenn man den Pfad seines DOKUMENTE-Verzeichnisses nicht kennt, kann man z.B. Folgendes tun: Im Explorer klickt man im linken Verzeichnis-Fenster DOKUMENTE mit der rechten Maustaste an und klickt danach ganz untern auf EIGENSCHAFTEN und danach auf PFAD. Den angezeigten Speicherort kann man dann gleich nach ITERATIONENW ITYP -1010 kopieren. Achtung: Den Pfad im Explorer-Fenster nicht aus Versehen ändern!) – Siehe aber Kap. 6.9 für alternative Wahlen des Plotter-Datendateien-Verzeichnisses.

I-Steuertyp -1020 liest in der Folgezeile eine Zahl ein, die als Konstante -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. Siehe auch Kap. 6.8 für die optionale Datei MINUS31, die häufiger für den gleichen Zweck Verwendung findet.

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 gedummt. 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 $\text{trechts} - \text{links} < \text{TDELTA} * \max(\text{trechts}, \text{links})$. 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 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-Steuertypen > 1050 in ITERATIONENW vorhanden sind. Das Nichtvorhandensein wird gemeldet. WELTTABELLEN läuft trotzdem mit voreingestellten Werten weiter.

6.7 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 laufen (Ereignishorizont).

Eine -9 beendet die Eingabe von Werten.

Es wird geraten, eine der ausgelieferten Dateien zu verwenden.

6.8 Datei MINUS31

Die optionale Datei MINUS31 (MINUS31.TXT) enthält im Normalfall genau einen Satz, der einen der Werte 0, 1 oder 101 enthält, mit dem der Platzhalter -31 besetzt wird. Ist die Datei vorhanden, so wird der Platzhalter -31 über MINUS31 und nicht über den ITYP -1020 der Datei ITERATIONENW (siehe Kap. 6.6) bestimmt. Die Datei MINUS31 hat also Vorrang vor der Datei ITERATIONENW.

Zweck der Datei MINUS31 ist es, eine Änderung der Datei ITERATIONENW zu vermeiden, wenn lediglich der über den Platzhalter -31 gesteuerte Ausgabetypp von STYP -211 (0: mitbewegte Koordinaten, 1: physikalische Koordinaten, 101: physikalische Koordinaten, in Datei _REZESSION Fluchtgeschwindigkeiten von Horizonten) abgeändert werden soll.

Um auf zukünftige Ergänzungen vorbereitet zu sein, kann die Datei auch 2 Sätze mit folgenden Aufbau haben: im ersten Satz steht -31, im zweiten Satz einer der Werte 0, 1 oder 101.

6.9 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. Der Aufruf ist in Kap. 6.1 beim Steuertyp -107 beschrieben. Die Formatierung der Werte ist nach FORTRAN-Konvention sehr flexibel. Der Kommentarteil beschränkt sich aber im Allgemeinen nur auf 2 Zeilen am Dateianfang, da man in zum Plotten bestimmten Dateien mehr üblicherweise nicht verarbeiten kann.

Bestimmte Variablen können also über den Steuertyp -107 bei Aufgabe 1 und Aufgabe 3 zusätzlich in eine Plotter-Datendatei ausgegeben werden. Die Variablen werden durch Nummern identifiziert.

Die Plotter-Datendatei kann später von Plotter-Programmen verwendet werden. Die Voreinstellungen bereiten eine Ausgabe mittels GNUPLOT vor.

In einem Unterverzeichnis PLOTTER des Hauptverzeichnisses (siehe Kap. 5.1) sind eine Reihe von WELTTABELLEN- und GNUPLOT-Dateien verfügbar, mit Hilfe derer die Zeichnungen von W. Lange [10], [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 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 ist anzuraten, auf dem Desktop eine Verknüpfung für wgnuplot.exe anzulegen. GNUPLOT erwartet seine Eingabe-Load-Files und alle von dort aufgerufenen (mehrheitlich von WELTTABELLEN bereitgestellten) Plotter-Datendateien im Dokumente-Ordner (Windows-intern: C:\USERS\\DOCUMENTS) - <name> kann man z.B. durch den Aufruf der Eingabeaufforderung ermitteln). Weitere Informationen sind in Kap. 5.1 auffindbar. Ebenfalls kann man die Beschreibung des ITYP -1010 in Kap. 6.6 für Erläuterungen heranziehen.

Es hat sich allerdings in der Praxis gezeigt, dass der Dokumente-Ordner für die GNUPLOT-Nutzung im Zusammenspiel mit WELTTABELLEN ungeeignet ist. Es wird vorgeschlagen, einen eigenen Ordner für diesen Zweck anzulegen, den wir hier mit C:\ZEICHNUNGEN\ (abschließenden Querstrich nach links überall explizit aufführen) bezeichnen wollen. Dieser Ordner ist zunächst in ITERATIONENW unter ITYP -1010 aufzuführen:

```
-1010  
1,C:\ZEICHNUNGEN\
```

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

7 Wartung

7.1 Fehlermeldungen

Im Falle von Fehlern kann sich der Benutzer via E-Mail an den Autor wenden. Die betroffene Steuerdatei sowie die in den Programmablauf einbezogenen Dateien T_NACH_A_parametersatz, GRENZENW und ITERATIONENW sollten mitübermittelt werden. Eventuell kann man auch noch die durch

```
w >v.txt
```

erzeugte Datei v.txt mitsenden.

7.2 Änderungswünsche

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.

8 Verwendete Symbole und Abkürzungen

Λ CDM	Lambda Cold Dark Matter
Λ CDM-Modell	Räumlich flaches Standardmodell der Kosmologie
H_0	Hubble-Parameter heute
Ω_R	Strahlungs-Anteil heute an der Materie/Energie-Dichte des Universums
Ω_M	Materie-Anteil heute
Ω_Λ	Anteil dunkler Energie heute
Ω	Anteilmäßige Gesamtdichte $\Omega = \Omega_R + \Omega_M + \Omega_\Lambda = 1$ des räumlich flachen Λ CDM-Modells
a	Symbol für den Skalenfaktor, $a(\text{HEUTE})=1$
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 $a=\dots$ oder $t= \dots$ verwendet. Nur selten wird die Rotverschiebung z^* zur Scheitelkennzeichnung verwendet.
η	Konforme Zeit (siehe Kap. 4.1)
Standardscheitel	Scheitel bei $a=1$ bzw. $t=\text{HEUTE}$
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 [10] Kap. 7.1
km / Mpc / s	Kilometer pro Megaparsec pro Sekunde: $\text{km} * \text{Mpc}^{-1} * \text{s}^{-1}$
Mrd.	Milliarden
Hauptverzeichnis	Verzeichnis, in dem WELTTABELLEN implementiert ist (siehe Kap. 5.1)
STYP	Negativer dreistelliger Steuertyp der Steuerdatei STEUERW (siehe Kap. 6.1)
ITYP	Negativer vierstelliger I-Steuertyp der Datei ITERATIONENW (siehe Kap. 6.6)
(I)-Wert	Integer-Wert. Festkomma-Wert.
(D)-Wert	Double-Precision-Wert. Doppeltgenauer Gleitkomma-Wert. WELTTABELLEN verwendet Gleitkomma-Werte ausschließlich in doppelter Genauigkeit.
V	Voreinstellung

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 über die Stefan-Boltzmann-Konstante berechnen, der Benutzer kann sie auch eingeben. Ω_Λ kann dann über $\Omega_\Lambda = 1 - \Omega_R - \Omega_M$ berechnet werden.

9 Literatur

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

- [1] 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.
- [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. 6.5. 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
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 Ω_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] W. Lange: Von Lichtkegeln im Standardmodell der Kosmologie (ΛCDM-Modell), viXra 2212.0155, 2022-2023, <https://vixra.org/abs/2212.0155>

- [11] W. Lange: Der Partikelhorizont als Lichtkegel im Standardmodell der Kosmologie (Λ CDM-Modell), viXra 2305.0146, 2023, <https://vixra.org/abs/2305.0146>
- [12] W. Lange: Lichtkegel und mitbewegte Objekte im Standardmodell der Kosmologie (Λ CDM-Modell), viXra 2407.0059, 2024, <https://vixra.org/abs/2407.0059>

10 Anhang: Beispiele

10.1 Steuerdateien

WELTTABELLEN wird im Weiteren für 5 Steuerdateien ausgeführt. Bei den Steuerdateien wird nur die Namensweiterung (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  $z^*=z(\text{HEUTE})$ . Ausgabe in physikalischen Koordinaten.
&&&
-111
18,-9, Planck 18 mit OMEGA_R via Stefan-Boltzmann-Konstante
-201
2, Eingabe z (Rotverschiebung zu  $z(\text{HEUTE})=0$ , da Scheitel  $z^*=0$  gemäß 1. Zeile hinter -301)
-211
1, Ausgabe in physikalischen Koordinaten
-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
```

Die Steuerdatei behandelt die Eingabe von Rotverschiebungen. Da der Standardscheitel $z=0$ (entspricht $a=1$, $t=\text{HEUTE}$) verwendet wird, ist $z=z^*$ im Sinne von Kap. 4.2. Da der Steuerbefehl -105 fehlt, wird Aufgabe 1 ausgeführt. Es werden 3 Dateien ausgegeben, ZZ.TXT, ZZ_DELTA_1zp.TXT und ZZ_REZESSION_1zp.TXT.

Steuerdatei 1zprez ---> ZZA

Eine weitere Steuerdatei 1zp101 ist exakt gleich wie 1zp, 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 nun die Rezessionsgeschwindigkeit von Horizonten (und nicht mehr die von Galaxien auf diesen Horizonten) ausgegeben. Die Dateien ZZA.TXT sowie ZZA_DELTA_1zprez.TXT sind identisch mit den Dateien ZZ.TXT bzw. ZZ_DELTA_1zp.TXT.

Steuerdatei 2t ---> ZZB

-102, STEUERKENNZEICHEN 2t (wesentlicher Teil des Dateinamens)
 ;2t
 -103,
 Kosmologische Parameter für Scheitel bei t=HEUTE
 &&&
 -105
 2, AUFGABE 2
 3,-14, Kosmische Parameter bei t=HEUTE
 -111
 18,-9, Planck 18
 -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 3-13-22x ---> ZZC

-102, STEUERKENNZEICHEN 3-13-22x (wesentlicher Teil des Dateinamens)
 ;3-13-22x
 -103, Erläuternder Text
 Es werden Lichtkegel für 3 t-äquidistante Schnittpunkte der HEUTE unter $z=4.2248$ sichtbaren Galaxie 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.
 &&&
 -105
 3, Aufgabe 3
 -111
 18,-9, Planck 18
 -224
 -22,-14,4.2248, (-22,-14,4.2248) = Heute mit $z=4.2248$ 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_3-13-22x.TXT und ZZC_REZESSION._3-13-22x.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^{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

9,3,3, 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 gemäß STEFAN-BOLTZMANN-Konstante

-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. 6.1, Steuertyp -107, erläutert.

Als Beispiel wird nur die erzeugte Plotter-Datendatei **ZZD_PLOT_1t-Variablen.TXT** aufgeführt.

Befehlsausführung

Es werden auf der Konsole die Befehle

```
d 1zx  
d 1zxrez  
d 2t  
d 3-13-22x  
d 1t-variablen
```

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

10.2 WELTTABELLEN-Ausdrucke

ZZ.TXT

Raumlich 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 (via Stefan-Boltzmann-Konstante)

OMEGA_LAMBDA: 0.6849079039 (1-OMEGA_M-OMEGA_R) HEUTE: 13.7906868085 Mrd. Jahre nach dem Urknall

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

SCHWELPUNKT 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

ZZ_DELTA_1zp.TXT

Raumlich 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 (via Stefan-Boltzmann-Konstante)

OMEGA_LAMBDA: 0.6849079039 (1-OMEGA_M-OMEGA_R) HEUTE: 13.7906868085 Mrd. Jahre nach dem Urknall

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

SCHWELTLPUNKT 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.TXT

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 (via Stefan-Boltzmann-Konstante)

OMEGA_LAMBDA: 0.6849079039 (1-OMEGA_M-OMEGA_R) HEUTE: 13.7906868085 Mrd. Jahre nach dem Urknall

***** 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	0.35441383E+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.TXT

Raumlich 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 (via Stefan-Boltzmann-Konstante)

OMEGA_LAMBDA: 0.6849079039 (1-OMEGA_M-OMEGA_R) HEUTE: 13.7906868085 Mrd. Jahre nach dem Urknall

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

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

AUSGABE DER REZESSIONSGESCHWINDIGKEITEN VON HUBBLESPHAERE, EREIGNISHORIZONT UND PARTIKELHORIZONT
SOWIE VON GALAXIEN AUF DEM LICHTKEGEL

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	0.66362491E+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	0.66323802E+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	0.37589650E+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	0.34643348E+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	0.31533723E+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	0.28231129E+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	0.24696472E+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	0.21764237E+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	0.21763846E+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	0.21763456E+01	0.29372469E+01
0.20000000E+00	0.40000000E+01	0.15336604E+01	0.12257026E+02	0.42690049E+03	0.14751086E+01	0.25441383E+01	0.20877095E+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	0.16701072E+01	0.29615830E+01
0.33333333E+00	0.20000000E+01	0.32692405E+01	0.10521446E+02	0.20440507E+03	0.13887038E+01	0.13693498E+01	0.12070906E+01	0.30075605E+01
0.50000000E+00	0.10000000E+01	0.58407420E+01	0.79499448E+01	0.12068894E+03	0.11798182E+01	0.71393241E+00	0.68456581E+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	0.22459672E+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	0.22385459E+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	0.17581410E+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	0.93236991E-01	0.39446786E+01
0.10000000E+01	0.00000000E+00	0.13790687E+02	0.00000000E+00	0.67400000E+02	0.47268419E+00	0.14972103E+00	0.00000000E+00	0.41799722E+01
0.11111111E+01	-0.10000000E+00	0.15355125E+02	-0.15644380E+01	0.64457920E+02	0.37674622E+00	0.11298798E+00	-0.10871703E+00	0.44877871E+01

ZZB.TXT

STEUERKENNZEICHEN: 2t ITERATIONENDATEI-VARIANTE: WELTTABELLEN Version 2.0 Standard
 Kosmische Parameter für Scheitel bei t=HEUTE

Raumlich 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 (via Stefan-Boltzmann-Konstante)
 OMEGA_LAMBDA: 0.6849079039 (1-OMEGA_M-OMEGA_R) HEUTE: 13.7906868085 Mrd. Jahre nach dem Urknall
 SCHEITELPUNKT RUECKWAERTS-LICHTKEGEL Skalenfaktor: 0.10000000E+01
 SCHEITELPUNKT RUECKWAERTS-LICHTKEGEL (Kosmische Zeit Mrd. Jahre): 0.13790687E+02

Kosmische Parameter in mitbewegten und physikalischen Koordinaten

Schnittpunkt zwischen Ereignishoriz. und Partikelhoriz. bei a= 0.3971313142E+00, mitbewegter Entfernung= 0.3140608583E+02 Mrd. Lichtjahren
 Schnittpunkt liegt auf der durch z= 0.9999500794E+01 markierten Weltlinie

***** Mitbewegte Koordinaten *****

a	z	t Mrd. Jahre	LOOK-BACK Mrd. Jahre	H km/Mpc/s	HUBBLE-RADIUS Mrd Lichtjahre	EREIGNIS-HORIZT Mrd Lichtjahre	LICHTKEGEL Mrd Lichtjahre	PARTIKEL-HORIZT 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= 0.2149990188E+00 und mitbewegter Entfernung= 0.2306641015E+02 Mrd. Lichtjahren

***** Mitbewegte Koordinaten *****

a	z	t Mrd. Jahre	LOOK-BACK Mrd. Jahre	H km/Mpc/s	HUBBLE-RADIUS Mrd Lichtjahre	EREIGNIS-HORIZT Mrd Lichtjahre	LICHTKEGEL Mrd Lichtjahre	PARTIKEL-HORIZT 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
----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------

ZZB.TXT, Fortsetzung des Ausdrucks

Schnittpunkt zwischen Lichtkegel und Hubble-Radius bei $a = 0.3864530645E+00$ 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
----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------

Uebergang von verlangsamer zu beschleunigter Expansion bei $a = 0.6128499922E+00$, 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
----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------

Die Bedeutung des z-Werts in der zweiten Zeile beim Schnittpunkt zwischen Ereignishorizont und Partikelhorizont ist in Kap. 4.2 erläutert.

ZZC.TXT

STEUERKENNZEICHEN: 3-13-22x ITERATIONENDATEI-VARIANTE: WELTTABELLEN Version 2.0 Standard
 Es werden Lichtkegel für 3 t-äquidistante Schnittpunkte der HEUTE unter $z=4.2248$ sichtbaren
 Galaxie 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.

Räumlich flaches Standardmodell der Kosmologie (Lambda-CDM-Modell)
 OMEGA_M: 0.31500 Hubble-Parameter H_0 : 67.4000 km/Mpc/s 0.21842852E-17 1/s (Planck18)
 OMEGA_R: 0.9209605429E-04 (via Stefan-Boltzmann-Konstante)
 OMEGA_LAMBDA: 0.6849079039 (1-OMEGA_M-OMEGA_R) HEUTE: 13.7906868085 Mrd. Jahre nach dem Urknall

WELTLINIE EINER GALAXIE VIA ZEITPFAD

Benutzereingabe zur Kennzeichnung der Galaxie:

SCHEITEL-a Lichtkegel= 0.10000000E+01 SCHEITEL-t Lichtkegel= 0.13790687E+02 Mrd. Jahre
 Abstand zum Beobachter auf dem Lichtkegel wird gemessen bei $a = 0.19139489E+00$ $t = 0.14361299E+01$ Mrd. Jahre, $z = 0.42248000E+01$
 Betrachtet wird eine im Hubble-Flow treibende Galaxie mit einem mitbewegten radialen Abstand von 0.24407338E+02 Mrd. Lichtjahren zum Beobachter.
 Der heutige Ort des im Hubble-Flow treibenden Beobachters ist in der Milchstrasse gelegen.
 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 Ruckwaerts-Lichtkegels.

Ausgabereihenfolge

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

Galaxie schneidet bei $a = 0.19139489E+00$ $t = 0.14361299E+01$ Mrd. Jahren den Lichtkegel mit SCHEITEL 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	Rv z(Scheitel)	z	t	LOOK-BACK	H	HUBBLE-RADIUS	EREIGNIS-HORIZT	LICHTKEGEL	PARTIKEL-HORIZT
		Mrd. Jahre	Mrd. Jahre	Mrd. Jahre	km/Mpc/s	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre	Mrd Lichtjahre
0.10000000E+01	0.00000000E+00	0.13790687E+02	-0.53290705E-14	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	-0.53290705E-14	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.

ZCC.TXT, Fortsetzung des Ausdrucks

***** 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
0.16632573E+01	0.00000000E+00	0.21833129E+02	-0.35527137E-14	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	-0.35527137E-14	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
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
0.63132361E+01	0.00000000E+00	0.44938920E+02	-0.14210855E-13	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	-0.14210855E-13	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 LK0 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		∞

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 3-12-22x 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_3-13-22x.TXT können auch die genauen Rezessionsgeschwindigkeiten ermittelt werden. Analoge Informationen werden auch für die Lichtkegel LK1, LK2 und LK3 geliefert.

ZZD_PLOT_1t-Variablen

Planck18 67.4000 0.31500 0.92096054E-04 0.684908 13.790687 physikalisch a-Apx: 0.10000000E+01 t-Apex: 0.13790687E+02
 # Volumen in (Mrd. Lichtjahre)^3
 # Dichte rho in GeV/c^2/m^3

a,	t,	tsec,	KONFt,	q,	Galax,	LeuD,	rhoT,	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

Die Variablen haben folgende Bedeutung:

a	Skalenfaktor	Galax	Mitbewegtes Objekt, kurz nach den Urknall auf LK(HEUTE) gelegen
t	Zeit in Mrd. Jahren nach dem Urknall	LeuKD	Leuchtkraftdistanz
tsec	Zeit in Sekunden nach dem Urknall	rhoT	Kritische Dichte in GeV/c ² /m ³
KONFt	Konforme Zeit	volPH	Volumen des Beobachtbaren Universums in Lichtjahre ³
q	Abbremsparameter		