

Änderungen in WELTTABELLEN Version 3.2 im Vergleich zu Version 3.1

langealtos 12. März 2026

1 Vorbemerkungen zur Genauigkeit

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

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

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

In den Änderungen zur Version 3.1 hatten wir bereits eine Möglichkeit dargestellt, Aufgabe 2-Ergebnisse binär nach Aufgabe 1 zu übertragen – siehe such Programmbeschreibung Kap. 5.13. Die dort geschilderten Möglichkeiten helfen allerdings im Allgemeinen nicht, wenn eine in WELTTABELLEN Version 3.2 neu eingeführte Leistung, die sogenannte NEUHEUTE-Methodik, verwendet wird.

Obwohl der Autor nicht glaubt, dass die neue Methodik breit angewendet wird, so wurde doch bei der Darstellung verschiedener Ergebnisse die Genauigkeit der Darstellung erhöht. Der Benutzer sollte darauf gefasst ein, dass beim Studium der Ergebnisse aller Aufgaben vielziffrige Zahlen auftauchen, insbesondere solche, die für die neue Methodik zweckmäßig erscheinen.

2 NEUHEUTE-Methodik (Auszug aus Kap. 5.14 der Programmbeschreibung Version 3.2)

In Kap. 1.3.2 der Programmbeschreibung Version 3.2 ist genauer beschrieben, über welche größten Eingabekonstrukte die 3 Aufgaben von WELTTABELLEN gesteuert werden.

Aufgaben 1 und 2: Parametersatz und Scheitel des Lichtkegels

Aufgabe 3: Parametersatz und Abstand zur Galaxie

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

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

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

2.1 Methodik

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

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

Ab WELTTABELLEN-Version 3.2 wird dem Benutzer eine Eigenschaft zugänglich gemacht, die ursprünglich nur für den Entwickler bestimmt war. Kosmologische Lehrbücher verschiedener Autoren sind inhaltlich inkonsistent formuliert und behandeln in der Regel nur Eigenschaften für den Skalenfaktor bei $a=1$ (HEUTE). Da WELTTABELLEN jedoch Lichtkegel für beliebige Scheitelpunkte betrachtet, ist es äußerst schwierig, für bestimmte Funktionen korrekte Formeln für einen von HEUTE verschiedenen Scheitelpunkt in der Literatur aufzufinden. Vielmehr musste der Autor bisweilen selbst Formeln für solche Funktionen herleiten, und mangels Literatur musste nach Möglichkeiten gesucht werden, die Korrektheit solcher Formeln zu überprüfen.

Für das Überprüfungsverfahren wurde folgende Regel getroffen: HEUTE ist, wo $a=1$ ist. Dort wird auch der mitbewegte Abstand gemessen. Für HEUTE kann jetzt eine beliebige Zeit vereinbart werden, z.B. 50 Mrd. Jahre nach dem Urknall. Der Standardfall des heutigen HEUTE (bei Planck18; 13.7908112025

Mrd. Jahre nach dem Urknall) wird als ALTHEUTE, jeder alternative $a=1$ -Zeitpunkt als NEUHEUTE bezeichnet. Möchte man z.B. überprüfen, ob eine als korrekt vermutete Formel (z.B. für die Leuchtkraftdistanz) für einen Scheitelpunkt bei 50 Mrd. Jahren nach dem Urknall wirklich korrekt ist, so kann man die ermittelten Werte mit denen für den Lichtkegel mit Scheitelpunkt bei NEUHEUTE $a=1$ bei 50 Mrd. Jahren nach dem Urknall überprüfen, sofern man die Formel (z.B. Leuchtkraftdistanz) für $a=1$ aus der Literatur kennt. Selbstverständlich müssen alle Parameter des Parametersatzes (z.B. Planck18, jetzt für den neuen Zeitpunkt) korrekt ermittelt werden, so dass man für die NEUHEUTE-Variante (des Λ CDM-Modells) die Bezeichnung für den gleichen Parametersatz (z.B. auch Planck18) verwenden kann.

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

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

Mit Hilfe des Steuertyps -960 in der Steuerdatei für die ALTHEUTE-Variante kann die Leistung dieser Steuerdatei auf die zugeordnete NEUHEUTE-Variante übertragen werden. Es wird durch diesen Steuertyp eine neue Steuerdatei STEUERWNH für die zugeordnete NEUHEUTE-Variante erzeugt, die im Anschluss durch einen Konsolbefehl **DNH** abgerufen werden kann. Durch den Steuertyp -960 werden ausschließlich die Parameter des kosmologischen Parametersatzes (z.B. Plank18) übertragen. Was in dieser Steuerdatei abgerufen wird, ist für den Übertragungsprozess irrelevant – die meisten Zeilen der ALTHEUTE-Steuerdatei werden ungeprüft auf die NEUHEUTE-Steuerdatei kopiert. Es ist ratsam, sich beim Studium der Ergebnisse der neuen Steuerdatei zunächst an der Zeit nach dem Urknall zu orientieren, da Skalenfaktor a (und damit auch die Rotverschiebung z) neu dimensioniert worden sind. Steuertyp -960 kann in Steuerdateien für alle Aufgaben 1-3 Anwendung finden. Steuertyp -960 ersetzt die Information über den Parametersatz (im Allgemeinen STYP -111) in der Steuerdatei der ALTHEUTE-Variante durch einen Aufruf von STYP -112 in der NEUHEUTE-Variante der neu erzeugten Steuerdatei STEUERWNH.TXT.

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

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

wobei ToderR im Allgemeinen auf 1 gesetzt ist.

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

EINGABETYP=1: AZT ist ein Skalenfaktor (a) in der ALTHEUTE-Variante

EINGABETYP=2: AZT ist eine Rotverschiebung (z) bei ALTHEUTE $a=1$

EINGABETYP=3: AZT ist eine Zeitangabe (t) in Mrd. Jahren nach dem Urknall

EINGABETYP=33: AZT ist eine Zeitangabe in einem Vielfachen von ALTHEUTE-HEUTE

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

-960

3,50,1

- ; Minuszeichen

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

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

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

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

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

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

Ist die zweite Folgezeile von Steuertyp -960 in der ALTHEUTE-Steuerdatei ein Minuszeichen, so wird eine Kurzform des Parametersatznamens (z.B. Planck18) an die zweite Zeile von STYP -112 übergeben. So wird erreicht, dass auch in der NEUHEUTE-Variante der Parametersatzname der ALTHEUTE-

Variante verwendet wird. Außerdem wird auf die T_NACH_A-Datei der ALTHEUTE-Variante zurückgegriffen, was allerdings nicht zwingend heißt, dass die Zuweisung von t auf a in der NEUHEUTE-Variante auch ohne Schwierigkeiten funktioniert. Oft werden Fehlermeldungen auftreten, die WELTTABELLEN selbst reparieren kann.

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

Ist in der ALTHEUTE-Variante $\Omega_R=0$, so erscheint in der NEUHEUTE-Steuerdatei (auch wenn ToderR=1) auf der Ω_R -Position eine *NULL* (anstelle einer -9), und die Temperatur CMB NEUHEUTE wird auf *NULL* gesetzt. ZCMD wird wie im Fall $\Omega_R \neq 0$ umgesetzt, und WELTTABELLEN denkt nicht darüber nach, ob der ZCMD-Wert der ALTHEUTE-Variante sinnvoll ist. Diese Frage soll der Benutzer selbst beantworten und verantworten. (Wenig sinnvoll ist, ZCMB in der ALTHEUTE-Variante mit *NULL* zu besetzen, da dieser Wert auf ALTHEUTE HEUTE verweist.) Wird bei STYP -111 sd (zweite Position der Folgezeile) mit *NULL* (oder auch anders) besetzt, so wird das für den Parametersatz typische ZCMB nicht verändert. Ist kein natürliches ZCMB vorgegeben, so ist ZCMB auf 1090 (in der ALTHEUTE-Variante) voreingestellt.

Weiterer Hinweis: Nur auf den Lichtkegel bezogen können einige Leistungen des Steuertyps -960 bereits durch die Plotter-Datendatei Variablen 15 und 16 im ALTHEUTE-Modell erbracht werden – siehe Programmbeschreibung Kap. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden..**

2.2 Beispiele

In der Programmbeschreibung Version 3.2 sind noch 2 Kapitel 5.14.2 und 5.14.3 mit Beispielen vorhanden.

3 Kleinere Änderungen

Es gibt 3 neue Variablen, die in die Plotter-Datendatei ausgegeben werden können:

55 Hubble-Radius + (Variable -19) * (Ereignishorizont-Hubleradius), in Mrd. Lichtjahren
Zweck: Eine Galaxie sendet bei der entsprechenden Entfernung zwischen Hubleradius und Ereignishorizont vom Beobachter ein Photon in Richtung auf den Beobachter. Fragen: Welchen Scheitel hat der Lichtkegel, auf dem sich die Galaxie bei der Emission befindet? Wann schneidet das Photon die Hubblesphäre? Siehe Steuerdatei 1tHREH.

Variable V19 (Variable -19) ist ein dimensionsloser Wert, der über den Steuertyp -119 definiert werden kann. Beispiel: $V19=0.5$: Galaxie liegt in der Mitte zwischen Hubblesphäre und Ereignishorizont.

Man kann dieses Beispiel auch ohne Galaxie formulieren. Es ist gleichgültig, wie das auf den Beobachter gerichtete Photon an seinen Ort zum gegebenen Zeitpunkt oder Skalenfaktor gekommen ist.

Zusätzlich kann in Steuertyp -123 VAR23VARIANTE (dritter Wert bei der Zuweisung auf Wandelvariable -23, siehe Beschreibung) auf 2 gesetzt werden. Dann wird beim t bzw. a von Wandelvariable -23 der physikalische Abstand „Hubble-Radius + (Variable -19) * (Ereignishorizont-Hubble-Radius)“ in Platzhalter -24 abgelegt. Siehe Steuerdatei 3-3-3X, die beispielhaft dokumentiert ist.

Variable 55 kann für alle t bzw. a abgerufen werden und eventuell dazu dienen, für welche t bzw. a die genannte Frage zweckmäßig zu stellen ist (Vorauswahl). In Platzhalter -24 ist genau der physikalische Abstand für ein interessierendes t bzw. a abgelegt, für das dann Scheitelpunkt und Schnittpunkt mit der Hubblesphäre bestimmt werden.

Noch ein Hinweis: Der physikalische Abstand im Schnittpunkt zwischen Lichtkegel und Hubblesphäre ist größer als jener beim ausgewählten t bzw. a. Das auf den Beobachter gerichtete Photon wird jenseits der Hubblesphäre emittiert oder ist dort gelegen, entfernt sich also vom Beobachter. Die Hubblesphäre ÜBERHOLT jedoch dieses Photon im Schnittpunkt.

56 Ereignishorizont minus Lichtkegel

Diese Differenz fehlt in der Delta-Datei. Mit Hilfe dieser Variable kann ermittelt werden, in welchen Bereichen Ereignishorizont und Lichtkegel mit sehr großen Scheitelpunkten (z.B. $T=1000$) annähernd übereinstimmen.

Beide Variablen 55 und 56 können in physikalischen und mitbewegten Koordinaten ausgegeben werden.

57 Lichtkegel mitbewegt

Zweck: Damit man einen Lichtkegel in physikalischen und mitbewegten Koordinaten in einer Plotter-Datendatei gemeinsam ausgegeben kann.