

Dokumentation Programm planeten_temperaturen

Armin Ulrich

1. Juli 2021

1 Sinn des Programms

Dieses Programm rechnet die theoretischen Oberflächentemperaturen der Planeten des Sonnensystems und zweier ihrer Monde aus. Die Temperaturen werden alleine aus der Strahlungsbilanz errechnet, mithilfe einer einfachen Formel, die z.B. in den Anfangsvorlesungen zum Fach Astrophysik hergeleitet wird:

ACHTUNG: diese Dokumentation enthält zwei Sätze, die unter Copyright stehen und auf die der Autor nicht verzichten möchte. Dank an den Wiley-Verlag für die freundliche Erlaubnis. Daher darf diese Dokumentation nicht an Dritte weitergegeben werden!

$$T_{Planet} = \sqrt[4]{1 - \eta} \cdot T_{Sonne} \cdot \sqrt{\frac{R}{2 \cdot a}}$$

Dabei sind:

T_{Sonne}	: Oberflächentemperatur der Sonne	5778 K
a	: Abstand des Planeten von der Sonne	variabel
η	: Albedo des Planeten	variabel
R	: Radius der Sonne	696 342 000 m
T_{Planet}	: Oberflächentemperatur des Planeten	wird berechnet

Die Voraussetzungen für die Gültigkeit sind, daß:

- der Planet keine eigenen Energiequellen hat
- der Planet sich nicht erwärmt oder abkühlt
- der Anteil η , der den Planeten treffenden Strahlungsleistung mit gleicher Wellenlänge reflektiert wird, also nur der Anteil $1 - \eta$ absorbiert wird
- die Oberfläche eine einheitliche Temperatur hat (schnelle Rotation, effizienter Wärmetransport in polare Regionen)
- die Oberfläche im Infraroten eine Emissivität von 1 hat, also wie ein schwarzer Körper strahlt

Für die Rechnung wird die sphärische Albedo jedes Planeten und jedes Mondes gebraucht, sie findet sich in dieser Tabelle:

Nr.	Planet	geom. Albedo [-]	sphär. Albedo η [-]	Eintfernung zur Sonne a [m]	angeg. Temperatur [K]
1	Merkur	0,142	0,068	$58 \cdot 10^9$	440
2	Venus	0,689	0,77	$108 \cdot 10^9$	737
3	Erde	0,434	0,306	$150 \cdot 10^9$	288
4	Mars	0,170	0,250	$228 \cdot 10^9$	210
5	Jupiter	0,538	0,343	$778 \cdot 10^9$	165
6	Saturn	0,499	0,342	$1427 \cdot 10^9$	134
7	Uranus	0,488	0,300	$2884 \cdot 10^9$	76
8	Neptun	0,442	0,290	$4509 \cdot 10^9$	72
9	Pluto	2010	0,72	$5966 \cdot 10^9$	31
10	Erdmond	0,52	0,11	$150 \cdot 10^9$	218
11	Enceladus	1,38	0,99	$1427 \cdot 10^9$	75

2 Anwendung des Programms

Um die hier gegebenen Programme laufen zu lassen, sollten Sie wie folgt vorgehen:

1. Zuerst erstellen Sie ein Verzeichnis, in dem Sie dieses Programm laufen lassen wollen.
2. In diesem Verzeichnis benötigen Sie die Quellcode-Dateien, die python3-Dateien "planeten_temperaturen_haupt.py", "steuer.py", "eingabe.py", "rechner.py" und "ausgabe.py" sowie die Eingabedatei "planeten.dat" und die Steuerdatei "steuer.txt" in Ihrem Verzeichnis. Am einfachsten ist es, das *.tar-Archiv herunterzuladen und im Zielverzeichnis zu entpacken. Das Archiv enthält die Quelldateien und die Dokumentation des Programms als *.pdf sowie die Eingabedatei "eingabe.dat". Sie können aber auch jede Datei einzeln herunterladen. Dann müssen Sie jeweils den Punkt - also "." - im Dateinamen vor py ergänzen. Sie müssen die Dateinamen von "planeten_temperaturen_hauptpy" in "planeten_temperaturen_haupt.py", "eingabepy" in "eingabe.py", "rechnerpy" in "rechner.py" und "ausgabepy" in "ausgabe.py" ändern. Leider war es nicht möglich, die funktionierenden Dateieindungen beizubehalten, da der Server eine Fehlermeldung beim Anklicken ausgibt. Im *.tar-Archiv sind alle Dateieindungen richtig, die Programme sind sofort nach dem Entpacken lauffähig.
3. Dann öffnen Sie ein Konsolenfenster in diesem Verzeichnis (rechter Mausklick im Fenster des Verzeichnisses, dann **Terminal hier öffnen** klicken).
4. Führen Sie einen Virensan über dieses Verzeichnis durch. Z.B. ich benutze clamscan mit dem Befehl **clamscan -r -i**. Sie können natürlich einen anderen Virens Scanner benutzen.
5. In der Konsole wird das Programm mit **python3 planeten_temperaturen_haupt.py** gestartet. Es erscheinen die Steuerdaten.
6. Nach einem Klick auf den "weiter"-Button erscheinen die Planetendaten.

7. Nach einem Klick auf den zweiten "weiter"-Button berechnet das Programm die Planetentemperaturen. Die Ergebnisse werden auf dem Bildschirm in der Konsole und in einer Messagebox angezeigt und in die Ausgabedatei "ausgabe.dat" geschrieben.
8. Nach einem Klick auf den dritten und letzten "weiter"-Button werden die Ergebnisse graphisch dargestellt.
9. Ein Klick auf das Kreuz rechts oben in der Graphik beendet das Programm.

In der Steuerdatei "steuer.txt" ist als letzter Punkt **graphik_entfernung? True** angegeben. Wenn Sie dort das "True" in "False" und den Namen der Graphikdatei von "temp_entfernung" in z.B. "temp_nummer" ändern und die Rechnung neu starten (also bei Punkt 5 das Programm wieder neu rechnen lassen), dann stellt das Programm die Planetentemperaturen nicht mehr in Abhängigkeit von der Entfernung zur Sonne dar, sondern nur von der Stellung in der Tabelle. Die Entfernungsinformation geht damit verloren, die Graphik wird aber etwas übersichtlicher.

3 Physikalischer Hintergrund

Wie aus der Photosphärentemperatur und des Radius der Sonne, der Entfernung des Planeten zur Sonne und der Albedo eine Oberflächentemperatur errechnet werden kann, wird in der Anfängervorlesung zur Astrophysik erläutert. Hier halten wir uns an das sehr empfehlenswerte Buch von Weigert/Wendker/Wisotzki "Astronomie und Astrophysik: ein Grundkurs". Dieses nennt zuerst zwei Voraussetzungen:

- der Planet hat keine eigenen Energiequellen
- Sonne und Planet wirken wie schwarze Strahler

Mit dieser Vereinfachung gilt das Stefan-Boltzmann-Gesetz:

$$I = \sigma \cdot T^4 \quad (1)$$

Dieses gilt für die Abstrahlung der Sonne im sichtbaren sowie die Abstrahlung eines Planeten im infraroten Licht. Bei der Sonne führt dieses zu einer Strahlungsleistung von

$$L_{Sonne} = \sigma \cdot T_{Sonne}^4 \cdot 4 \cdot \pi \cdot R_{Sonne}^2 \quad (2)$$

errechnet. In der Entfernung des Planeten verteilt sich diese Strahlungsleistung auf eine Kugeloberfläche mit dem Radius der Entfernung des Planeten von der Sonne:

$$A_{Kugel} = 4 \cdot \pi \cdot r_{Planetenbahn}^2 \quad (3)$$

Also ist die in der Planetenentfernung ankommende Intensität:

$$I_{Planetenbahn} = \frac{L_{Sonne}}{A_{KugelPlanetenbahn}} = \frac{\sigma \cdot T_{Sonne}^4 \cdot 4 \cdot \pi \cdot R_{Sonne}^2}{4 \cdot \pi \cdot r_{Planetenbahn}^2} \quad (4)$$

Die Abstrahlung des Planeten selbst berechnet sich ebenfalls mit:

$$I_{Planet} = \sigma \cdot T_{Planet}^4 \quad (5)$$

Für einen Punkt der Planetenoberfläche, in dessen Zenit gerade die Sonne steht, gilt unter Annahme des Strahlungsgleichgewichtes:

$$I_{\text{Planetenbahn}} = I_{\text{Planet}} \quad (6)$$

also:

$$\sigma \cdot T_{\text{Planet}}^4 = \frac{\sigma \cdot T_{\text{Sonne}}^4 \cdot 4 \cdot \pi \cdot R_{\text{Sonne}}^2}{4 \cdot \pi \cdot r_{\text{Planetenbahn}}^2} \quad (7)$$

$$\Rightarrow T_{\text{Planet}} = T_{\text{Sonne}} \cdot \sqrt{\frac{R_{\text{Sonne}}}{r_{\text{Planetenbahn}}}} \quad (8)$$

Wenn die Oberfläche des Planeten kein Schwarzer Strahler ist, dann wird der Anteil der Strahlung η reflektiert. Damit gilt für den Anteil der Strahlung, die den Planeten erreicht und zu seiner Erwärmung beiträgt:

$$I_{\text{Planet}_{\text{verwertet}}} = (1 - \eta) \cdot I_{\text{Planetenbahn}} \quad (9)$$

Das ergibt dann für die Planetentemperatur in einem Punkt mit der Sonne im Zenit:

$$T_{\text{Planet,ohneAthmosphäre}} = (1 - \eta) \cdot T_{\text{Sonne}} \cdot \sqrt{\frac{R_{\text{Sonne}}}{r_{\text{Planetenbahn}}}} \quad (10)$$

Im Weigert/Wendker (Gleichung 2-10 im Buch) wird über diese Gleichung geschrieben: "Diese Abschätzung für den subsolaren Punkt nimmt an, daß kein merklicher Wärmetransport von hier zu weniger bestrahlten, kühleren Gebieten stattfindet. "Wenn der Planet schnell genug rotiert und über eine genügend dichte Atmosphäre zum Wärmeaustausch verfügt, dann gilt folgende Gleichung:

$$T_{\text{Planet}} = \frac{T_{\text{Planet,ohneAthmosphäre}}}{\sqrt{2}} = \frac{(1 - \eta) \cdot T_{\text{Sonne}} \cdot \sqrt{\frac{R_{\text{Sonne}}}{r_{\text{Planetenbahn}}}}}{\sqrt{2}} \quad (11)$$

Im Weigert/Wendker (unter Gleichung 2-11) finden wir: "Man kann auch einen weiteren Grenzfall behandeln. Findet durch schnelle Rotation des Planeten oder Wärmeaustausch in seiner Atmosphäre eine gleichmäßige Erwärmung (und eine gleichmäßige Abkühlung) der ganzen Oberfläche statt, so sollte man von der bisherigen Bilanz pro Flächeneinheit zu der für den ganzen Planeten übergehen. Das bedeutet, die Einstrahlung auf den Planeten ist mit seinem Querschnitt, die Ausstrahlung mit seiner Oberfläche zu multiplizieren. "**Beide Zitate mit freundlicher Genehmigung des Wiley-Verlags aus dem empfehlenswerten Buch "Weigert/Wendker, Astronomie und Astrophysik - ein Grundkurs "Seiten 38 und 39, 1. korrigierte Auflage 1983, Copyright Wiley-VCH GmbH. Reproduced with permission.**

Das Programm "planetentemperaturen" rechnet mit Gleichung (11), sie findet sich in der Datei rechner.py in Zeile 40 innerhalb einer for-Schleife:

```
self.T[i] = math.pow((1.0 - sphär_albedo[i]), 1./4.)*T_Sonne*math.sqrt(R_Sonne/a[i])/math.sqrt(2.0)
```

4 Mathematischer Hintergrund

Die mathematische Bearbeitung der der Rechnung zugrundeliegende Formel verlangt keinen besonderen Algorithmus.

5 Ergebnisdiskussion

Es fällt zuerst auf, daß nur bei den Planeten Merkur, Mars und Pluto die berechnete und die angegebene Temperatur übereinstimmen. Das ist um so seltsamer, da Merkur aufgrund seiner langsamen Rotation und der Abwesenheit einer Atmosphäre Bedingung 4 überhaupt nicht erfüllt. Hier könnte man vermuten, daß die angegebene Temperatur eine auf Grundlage der oben angegebenen Formel berechnete Temperatur ist. Bei anderen Planeten wie Venus und Erde wird i. allg. ein Treibhauseffekt herangezogen, bei den Gasplaneten (diese rotieren schnell und "bestehen nur aus Atmosphäre ") wird eine innere Energiequelle postuliert. Wir können also nicht mit diesem Rechenweg zufrieden sein.