Das Leben der Sterne

**Dr. Markus Nielbock**

**Version vom 16.04.2020**

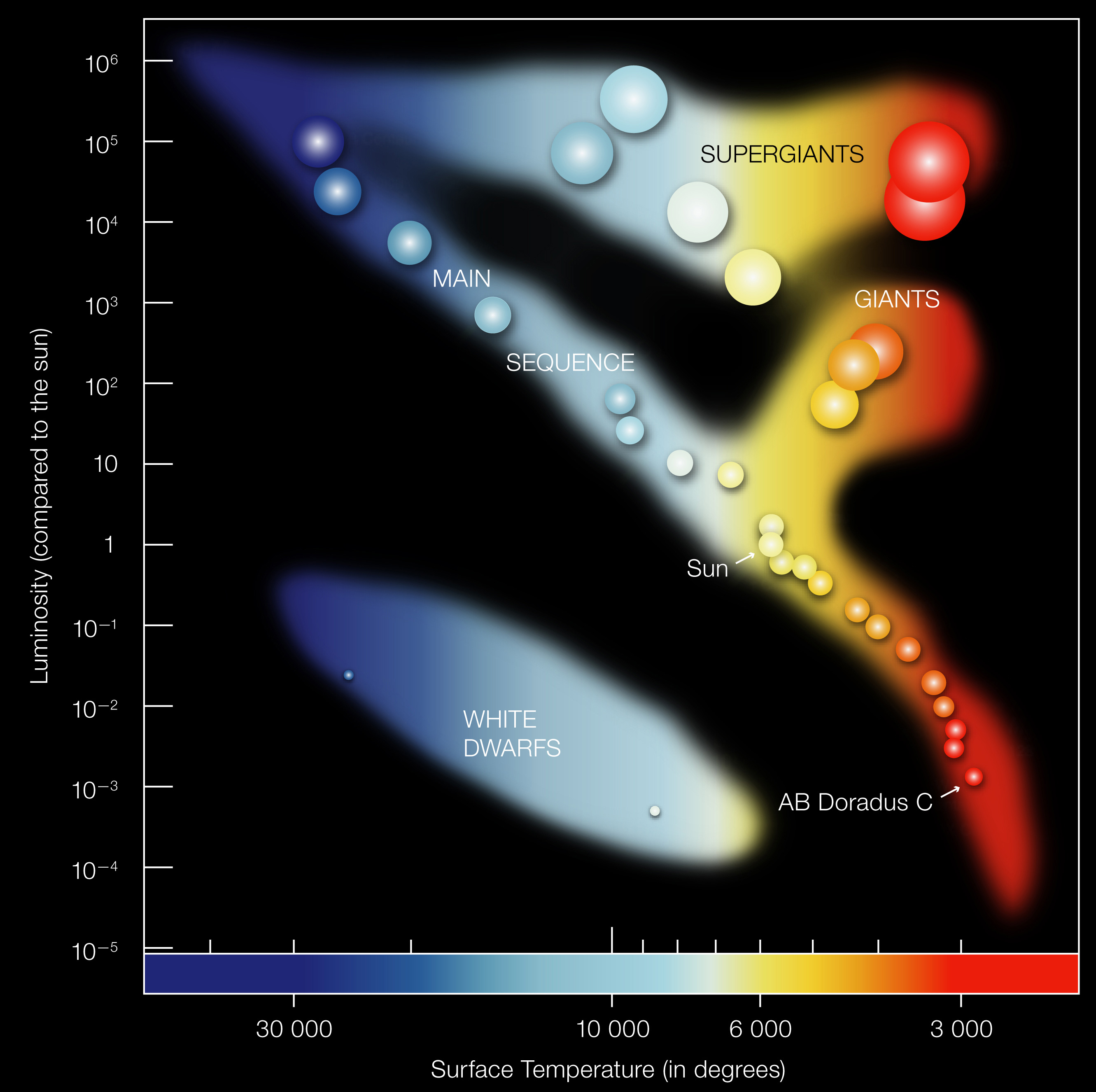


Abbildung 1: Hertzsprung-Russell-Diagramm (Bild: ESO).

# Altersspanne

14 – 19 Jahre

# Zusammenfassung

Lernen Sie das Hertzsprung-Russell-Diagramm näher kennen. Entdecken Sie, wie es die Veränderlichkeit von Sternen darstellt und dokumentiert. Tragen Sie dazu die Kenngrößen von verschiedenen Phasen während der Entwicklung von drei unterschiedlichen Sternen in ein vorgefertigtes Diagramm ein. Erläutern Sie dabei, welche Veränderungen diese Sterne dabei durchlaufen.

# Lernziele

Die Schülerinnen und Schüler vertiefen das Verständnis für das Herzsprung-Russell-Diagramm. Sie machen sich mit der Darstellung von zeitlich veränderlichen Eigenschaften von Sternen vertraut. Dabei erkennen Sie, wie die Zustandsgrößen der Sterne voneinander abhängen und wie sie sich im Laufe der Entwicklung von Sternen unterschiedlicher Masse ändern.

# Vorbemerkungen

Die Entstehung eines Sterns gilt als abgeschlossen, wenn in seinem Kern die Kernfusion von Wasserstoff zu Helium zündet. Daran schließt sich die die stabilste Phase eines Sterns an. Diese bildet für die unterschiedlichen Massen der Sterne die Hauptreihe im Hertzsprung-Russell-Diagramm (HRD).

Die Bereiche jenseits der Hauptreihe im HRD werden durch die Entwicklung der Sterne am Ende ihres Lebens bevölkert. Da der Wasserstoff zur Aufrechterhaltung der Kernfusion in den Zentren der Sterne begrenzt ist, verändern sich die Prozesse. Die Fusion verlagert sich von den Zentren in umgebende Schalen. Später übernimmt die Fusion von Helium die Stabilisierung der Sterne. All dies hat einen Einfluss auf die fundamentalen Kenngrößen der Sterne und spiegelt sich in der Position im HRD wieder.

# Die Entwicklung dreier Sterne

Innerhalb dieser Übung werden Sie anhand von drei Beispielen nachvollziehen, wie Sterne verschiedener Masse sich im Laufe ihres Lebens verändern und wie sie enden. Tragen Sie hierzu die Parameter der verschiedenen Phasen in das beigefügte leere HRD ein. Diese beruhen auf physikalischen Modellrechnungen, die mit Beobachtungen abgeglichen werden.

Berechnen Sie zusätzlich die Radien der Sterne während der aufgeführten Phasen. Der Sternradius steht in einer einfachen Beziehung zur Leuchtkraft und zur Effektivtemperatur des Sterns.

Hierbei ist die Stefan-Boltzmann-Konstante. Die anderen Größen haben SI-Einheiten. Einfacher wird die Berechnung, wenn man die Leuchtkraft und den Radius auf die Sonne bezieht.

Daraus folgt:

Mit:

## Ein sonnenähnlicher Stern

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| T [K] | L [Lʘ] | Phase | R [Rʘ] |
| 5620 | 0,7 | Beginn des Wasserstoffbrennens im Kern Null-Alter-Hauptreihe |  |
| 5800 | 1 | Aktueller Zustand der Sonne |  |
| 5500 | 2,1 | Ende des Wasserstoffbrennens um Kern Schalenbrennen |  |
| 4920 | 2,5 | Wasserstoff-Schalenbrennen dehnt sich aus Beginn der Stadiums des Roten Riesen |  |
| 3230 | 1920 | Heliumbrennen zündet (Helium-Flash) |  |
| 4775 | 51 | Stabiles Heliumbrennen im Kern |  |
| 4870 | 59 | Stabiles Heliumbrennen im Kern |  |
| 3335 | 4050 | Ende des Heliumbrennens im Kern Helium-Schalenbrennen Roter Riese auf dem Asymptotischen Riesenast |  |
| 40100 | 3470 | Ende der Kernfusion Kern kollabiert, Hülle des Stern wird abgestoßen Planetarer Nebel bildet sich |  |
| 48170 | 1 | Weißer Zwerg |  |
| 22100 | 0,05 | Weißer Zwerg |  |
| 10000 | 0,002 | Weißer Zwerg |  |

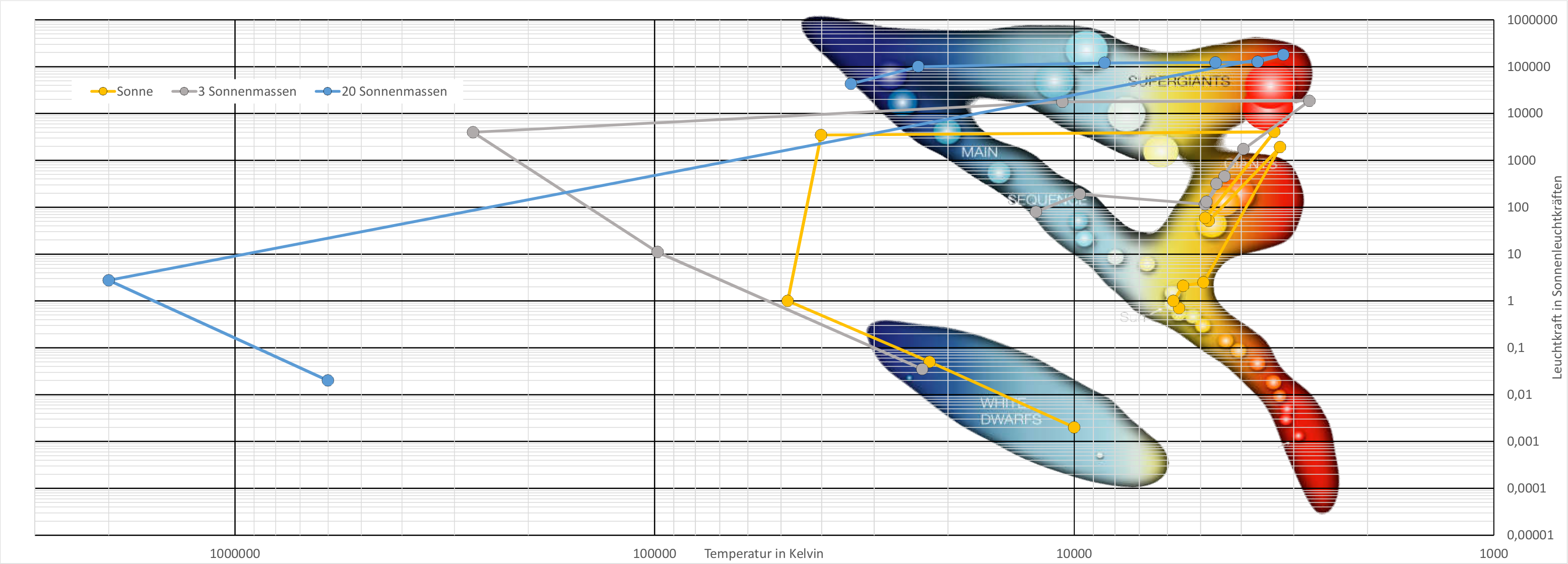
## Ein Stern von 3 Sonnenmassen

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| T [K] | L [Lʘ] | Phase | R [Rʘ] |
| 12325 | 80 | Beginn des Wasserstoffbrennens im Kern Null-Alter-Hauptreihe |  |
| 9700 | 190 | Ende des Wasserstoffbrennens um Kern Schalenbrennen |  |
| 4880 | 115 | Wasserstoff-Schalenbrennen dehnt sich aus Beginn der Stadiums des Roten Riesen |  |
| 4380 | 455 | Beginn des Heliumbrennens im Kern „Blue Loop“ |  |
| 4835 | 130 | Stabiles Heliumbrennen im Kern „Blue Loop“ |  |
| 4575 | 315 | Ende des Heliumbrennens im Kern Helium-Schalenbrennen Roter Riese auf dem Asymptotischen Riesenast |  |
| 3950 | 1730 | Helium-Schalenbrennen Roter Riese auf dem Asymptotischen Riesenast |  |
| 2750 | 18610 | Helium-Schalenbrennen Roter Riese auf dem Asymptotischen Riesenast |  |
| 10670 | 17710 | Ende der Kernfusion Kern kollabiert, Hülle des Stern wird abgestoßen Planetarer Nebel bildet sich |  |
| 270645 | 3970 | Weißer Zwerg |  |
| 98290 | 11 | Weißer Zwerg |  |
| 23020 | 0,035 | Weißer Zwerg |  |

## Ein Stern von 20 Sonnenmassen

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| T [K] | L [Lʘ] | Phase | R [Rʘ] |
| 34055 | 42850 | Beginn des Wasserstoffbrennens im Kern Null-Alter-Hauptreihe |  |
| 23510 | 99600 | Ende des Wasserstoffbrennens um Kern Schalenbrennen |  |
| 8465 | 120000 | Allmählicher Beginn des Heliumbrennens im Kern |  |
| 4600 | 122600 | Stabiles Heliumbrennen |  |
| 3650 | 126500 | Helium-Schalenbrennen Roter Überriese |  |
| 3175 | 180000 | Ende der Kernfusion Kern kollabiert, Supernova |  |
| 2000000 | 2,75 | Neutronenstern |  |
| 600000 | 0,02 | Neutronenstern |  |

# Lösungen



## Ein sonnenähnlicher Stern

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| T [K] | L [Lʘ] | Phase | R [Rʘ] |
| 5620 | 0,7 | Beginn des Wasserstoffbrennens im Kern Null-Alter-Hauptreihe | 0,88 |
| 5800 | 1 | Aktueller Zustand der Sonne | 0,99 |
| 5500 | 2,1 | Ende des Wasserstoffbrennens um Kern Schalenbrennen | 1,60 |
| 4920 | 2,5 | Wasserstoff-Schalenbrennen dehnt sich aus Beginn der Stadiums des Roten Riesen | 2,18 |
| 3230 | 1920 | Heliumbrennen zündet (Helium-Flash) | 140,11 |
| 4775 | 51 | Stabiles Heliumbrennen im Kern | 10,45 |
| 4870 | 59 | Stabiles Heliumbrennen im Kern | 10,80 |
| 3335 | 4050 | Ende des Heliumbrennens im Kern Helium-Schalenbrennen Roter Riese auf dem Asymptotischen Riesenast | 190,88 |
| 40100 | 3470 | Ende der Kernfusion Kern kollabiert, Hülle des Stern wird abgestoßen Planetarer Nebel bildet sich | 1,22 |
| 48170 | 1 | Weißer Zwerg | 0,01 |
| 22100 | 0,05 | Weißer Zwerg | 0,02 |
| 10000 | 0,002 | Weißer Zwerg | 0,01 |

## Ein Stern von 3 Sonnenmassen

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| T [K] | L [Lʘ] | Phase | R [Rʘ] |
| 12325 | 80 | Beginn des Wasserstoffbrennens im Kern Null-Alter-Hauptreihe | 2 |
| 9700 | 190 | Ende des Wasserstoffbrennens um Kern Schalenbrennen | 5 |
| 4880 | 115 | Wasserstoff-Schalenbrennen dehnt sich aus Beginn der Stadiums des Roten Riesen | 15 |
| 4380 | 455 | Beginn des Heliumbrennens im Kern „Blue Loop“ | 37 |
| 4835 | 130 | Stabiles Heliumbrennen im Kern „Blue Loop“ | 16 |
| 4575 | 315 | Ende des Heliumbrennens im Kern Helium-Schalenbrennen Roter Riese auf dem Asymptotischen Riesenast | 28 |
| 3950 | 1730 | Helium-Schalenbrennen Roter Riese auf dem Asymptotischen Riesenast | 89 |
| 2750 | 18610 | Helium-Schalenbrennen Roter Riese auf dem Asymptotischen Riesenast | 602 |
| 10670 | 17710 | Ende der Kernfusion Kern kollabiert, Hülle des Stern wird abgestoßen Planetarer Nebel bildet sich | 39 |
| 270645 | 3970 | Weißer Zwerg | 0,029 |
| 98290 | 11 | Weißer Zwerg | 0,011 |
| 23020 | 0,035 | Weißer Zwerg | 0,012 |

## Ein Stern von 20 Sonnenmassen

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| T [K] | L [Lʘ] | Phase | R [Rʘ] |
| 34055 | 42850 | Beginn des Wasserstoffbrennens im Kern Null-Alter-Hauptreihe | 6 |
| 23510 | 99600 | Ende des Wasserstoffbrennens um Kern Schalenbrennen | 19 |
| 8465 | 120000 | Allmählicher Beginn des Heliumbrennens im Kern | 161 |
| 4600 | 122600 | Stabiles Heliumbrennen | 552 |
| 3650 | 126500 | Helium-Schalenbrennen Roter Überriese | 891 |
| 3175 | 180000 | Ende der Kernfusion Kern kollabiert, Supernova | 1404 |
| 2000000 | 2,75 | Neutronenstern | 0,000014 |
| 600000 | 0,02 | Neutronenstern | 0,000013 |