

# Das Leben der Sterne

Dr. Markus Nielbock

Version vom 16.04.2020

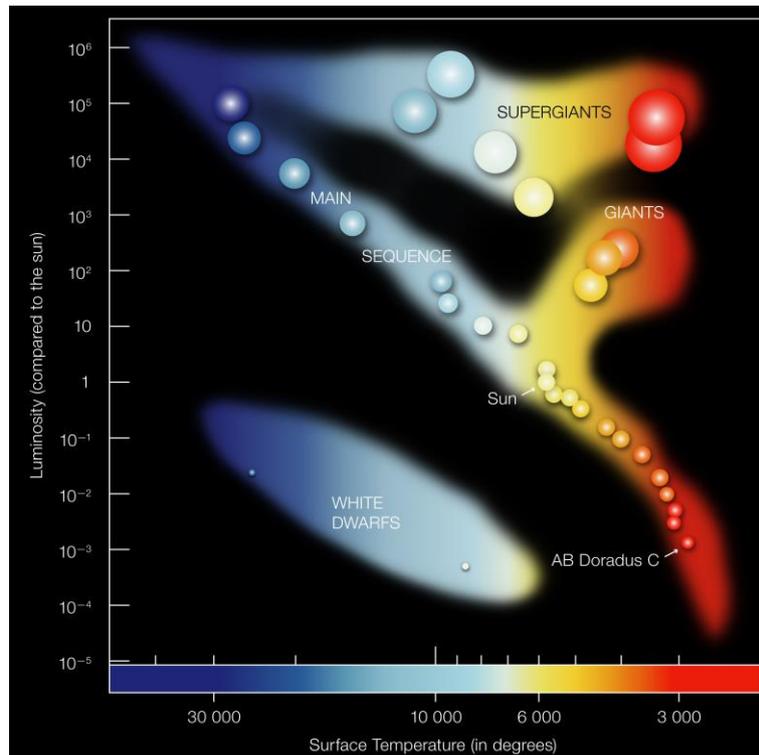


Abbildung 1: Hertzsprung-Russell-Diagramm (Bild: ESO).

## 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 Hertzsprung-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.

## 1 Vorbemerkungen

Die Entstehung eines Sterns gilt als abgeschlossen, wenn in seinem Kern die Kernfusion von Wasserstoff zu Helium zündet. Daran schließt sich 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.

## 2 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.

$$L = 4 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \sigma \cdot T^4$$

Hierbei ist  $\sigma$  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.

$$L_{\odot} = 3,845 \cdot 10^{24} \text{ W}$$

$$R_{\odot} = 1,989 \cdot 10^{30} \text{ kg}$$

Daraus folgt:

$$\frac{R}{R_{\odot}} = a \cdot \frac{\sqrt{L/L_{\odot}}}{(T/K)^2}$$

Mit:  $a = 3,336 \cdot 10^7$

## 2.1 Ein sonnenähnlicher Stern

T [K]	L [ $L_{\odot}$ ]	Phase	R [ $R_{\odot}$ ]
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	

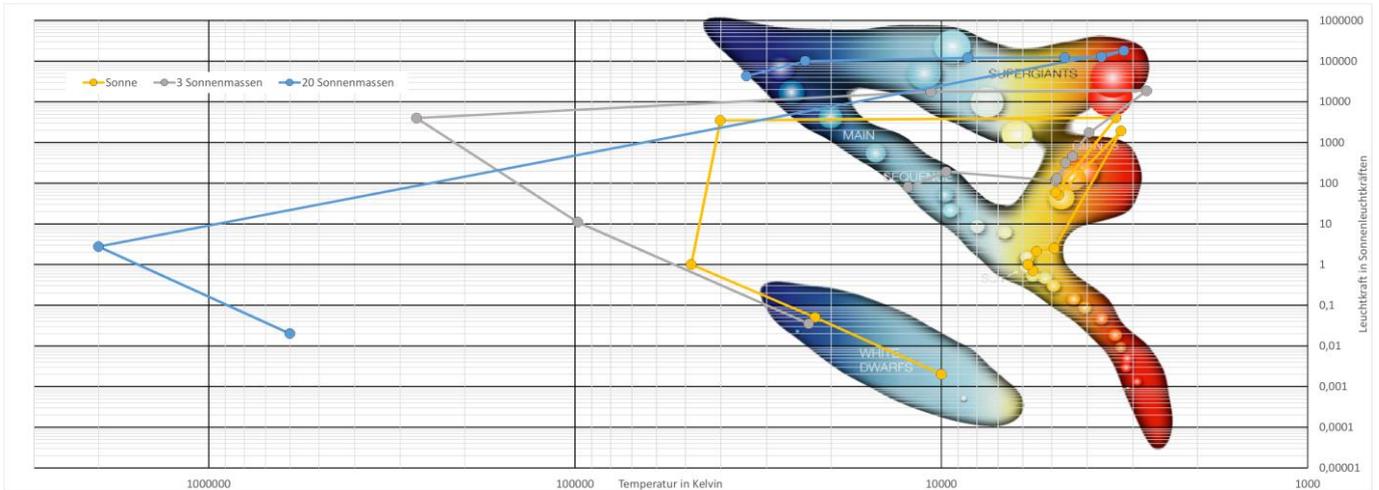
## 2.2 Ein Stern von 3 Sonnenmassen

T [K]	L [ $L_{\odot}$ ]	Phase	R [ $R_{\odot}$ ]
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	

## 2.3 Ein Stern von 20 Sonnenmassen

T [K]	L [ $L_{\odot}$ ]	Phase	R [ $R_{\odot}$ ]
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	

### 3 Lösungen



#### 3.1 Ein sonnenähnlicher Stern

T [K]	L [ $L_{\odot}$ ]	Phase	R [ $R_{\odot}$ ]
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

### 3.2 Ein Stern von 3 Sonnenmassen

T [K]	L [ $L_{\odot}$ ]	Phase	R [ $R_{\odot}$ ]
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

### 3.3 Ein Stern von 20 Sonnenmassen

T [K]	L [ $L_{\odot}$ ]	Phase	R [ $R_{\odot}$ ]
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