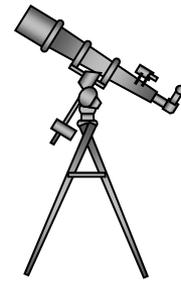




ASTRONOMIE WAHLFACH



DAS HRD

Grafiken: S. Hanssen

ZPG Astronomie

DAS
HERTZSPRUNG
RUSSEL
DIAGRAMM
(HRD)

HRD

- Entwickelt von dem dänischen Astronomen Ejnar Hertzsprung.
- 1913 von dem amerikanischen Astronomen Henry Norris Russell weiterentwickelt und publiziert.
- Das HRD ist ein Zustandsdiagramm der Sterne, aus dem man die Zusammenhänge zwischen verschiedenen Zustandsgrößen entnehmen kann:
Spektralklasse, Temperatur, Radius, Masse,
Leuchtkraft,...

HRD

- Ordinate: Leuchtkraft (Stefan Boltzmann-Gesetz)

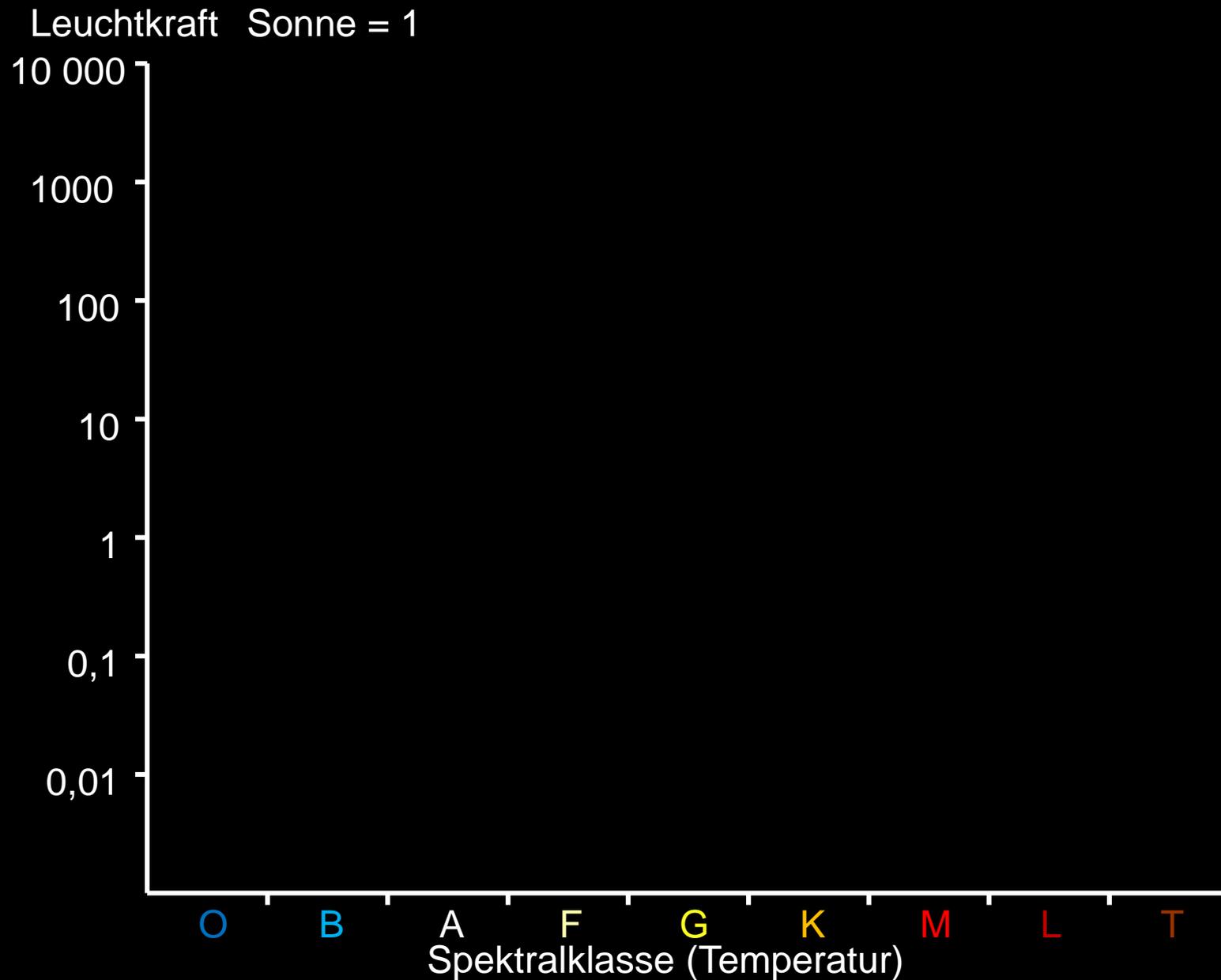
$$L = A \cdot \sigma \cdot T^4 =$$

- Abszisse: Temperatur bzw.
Spektralklasse

O	Ohne
B	Bier
A	Aller
F	Finsternen
G	Gibt's
K	Kennzeichnende
M	Maßmale
L	Lips
T	Tonight

SPEKTRALKLASSE - TEMPERATUR

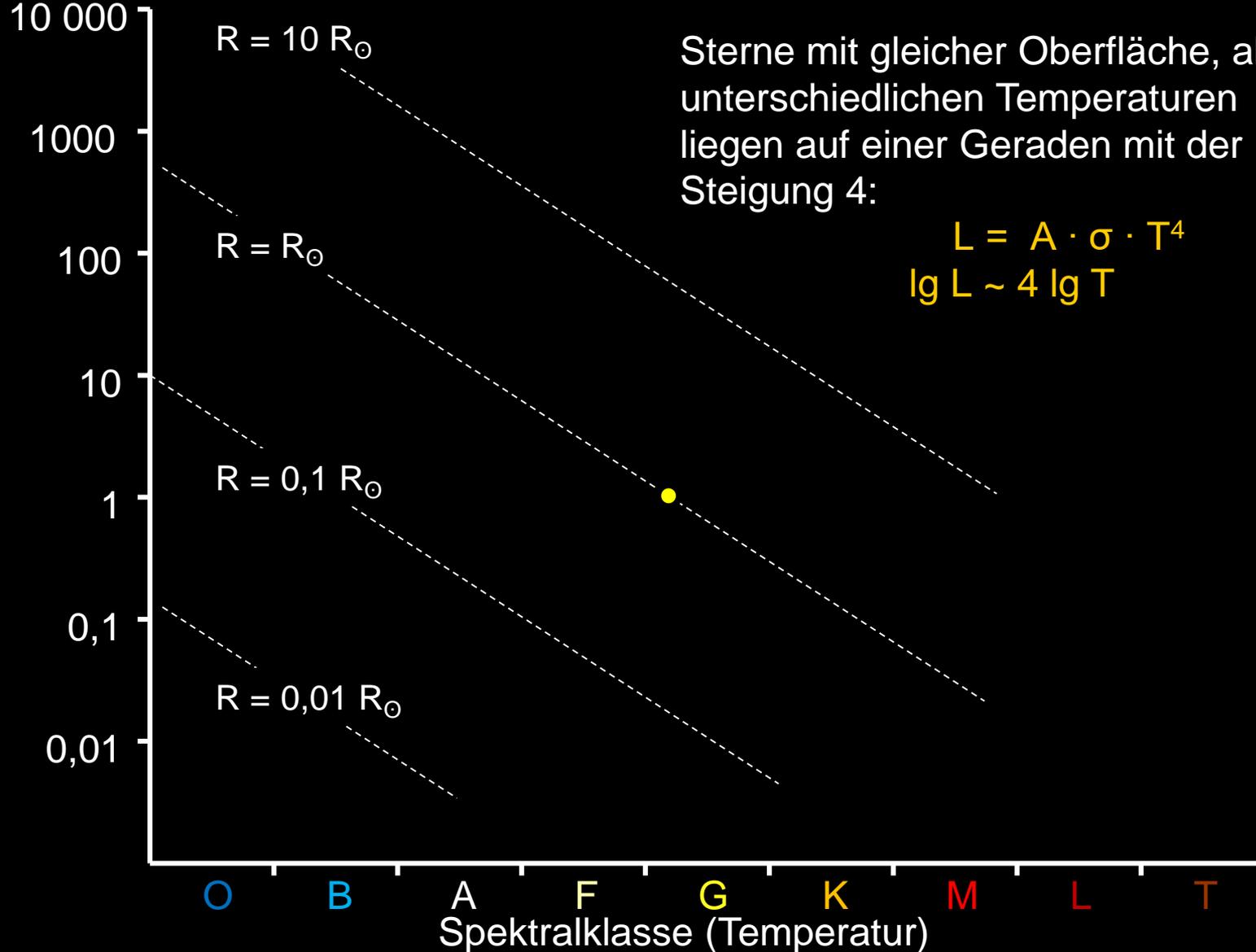
- O9 Anilam 25 000K
- B2 Spica 22 400K
- B2 Bellatrix 19 000K
- A1 Sirius 9940K
- A7 Atair 7800K
- F5 Procyon 6650K
- G2 α Centauri 5810K
- G2 Sonne 5778K
- K2 Eridani 5100K
- M6 Proxima Centauri 3040K



Grafiken: S. Hanssen



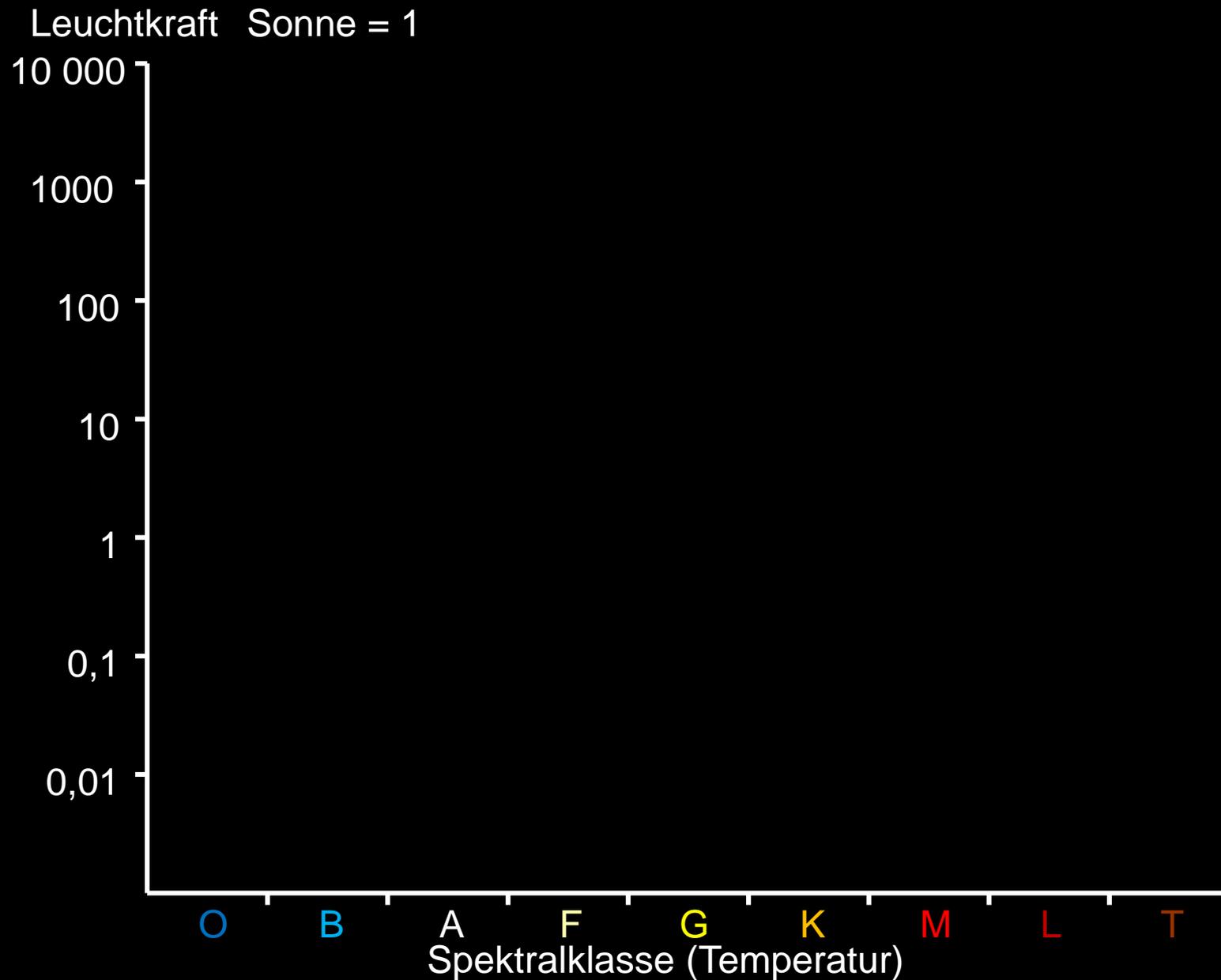
Leuchtkraft Sonne = 1



Grafiken: S. Hanssen

HRD

- Leuchtkraft eines Sterns lässt sich auch als absolute Helligkeit M angeben.
(Stern in einer Entfernung von 10 Parsec
(= 32,6 Lichtjahre)).

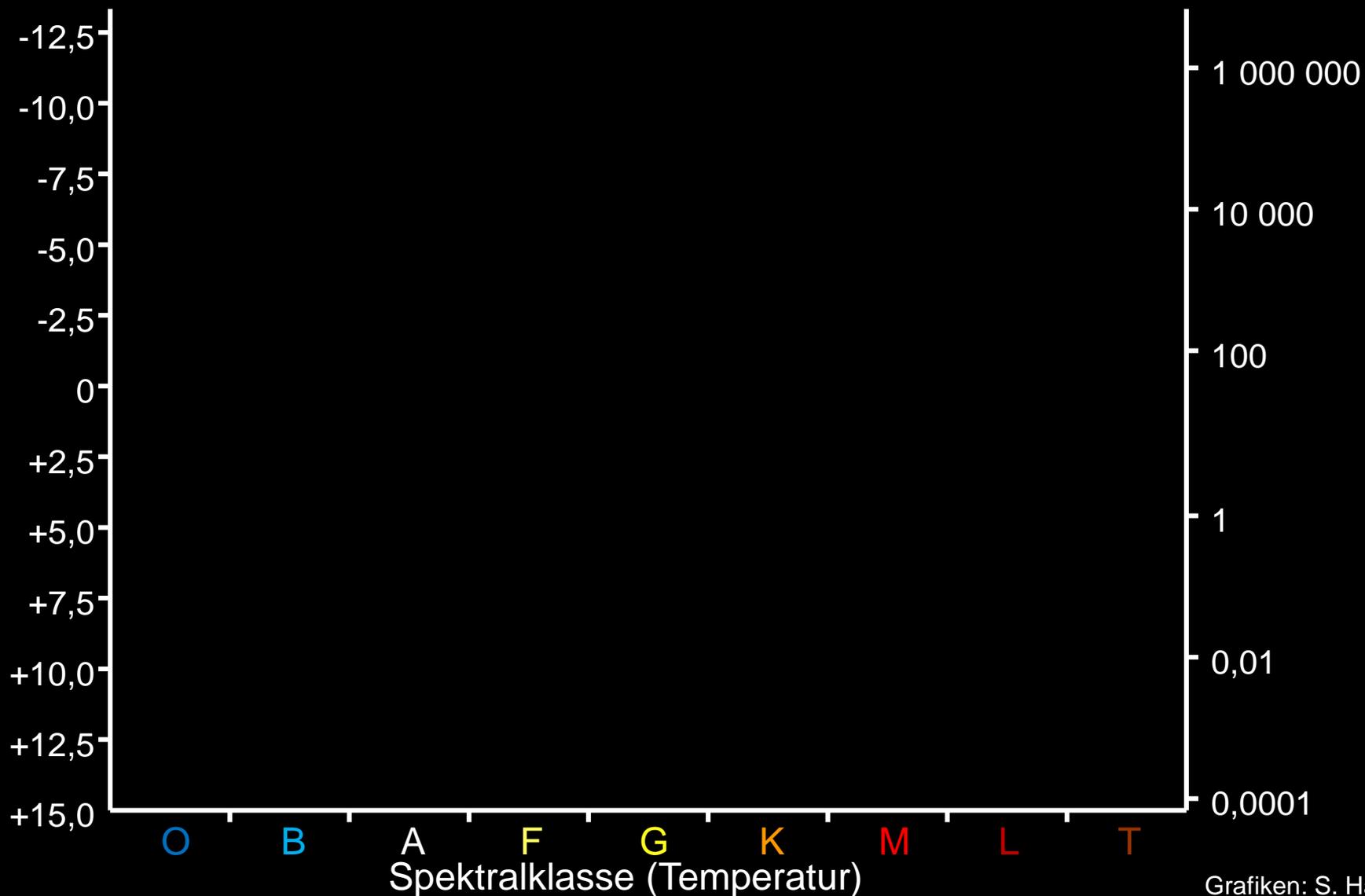


Grafiken: S. Hanssen



Leuchtkraft M

Sonnenleuchtkraft

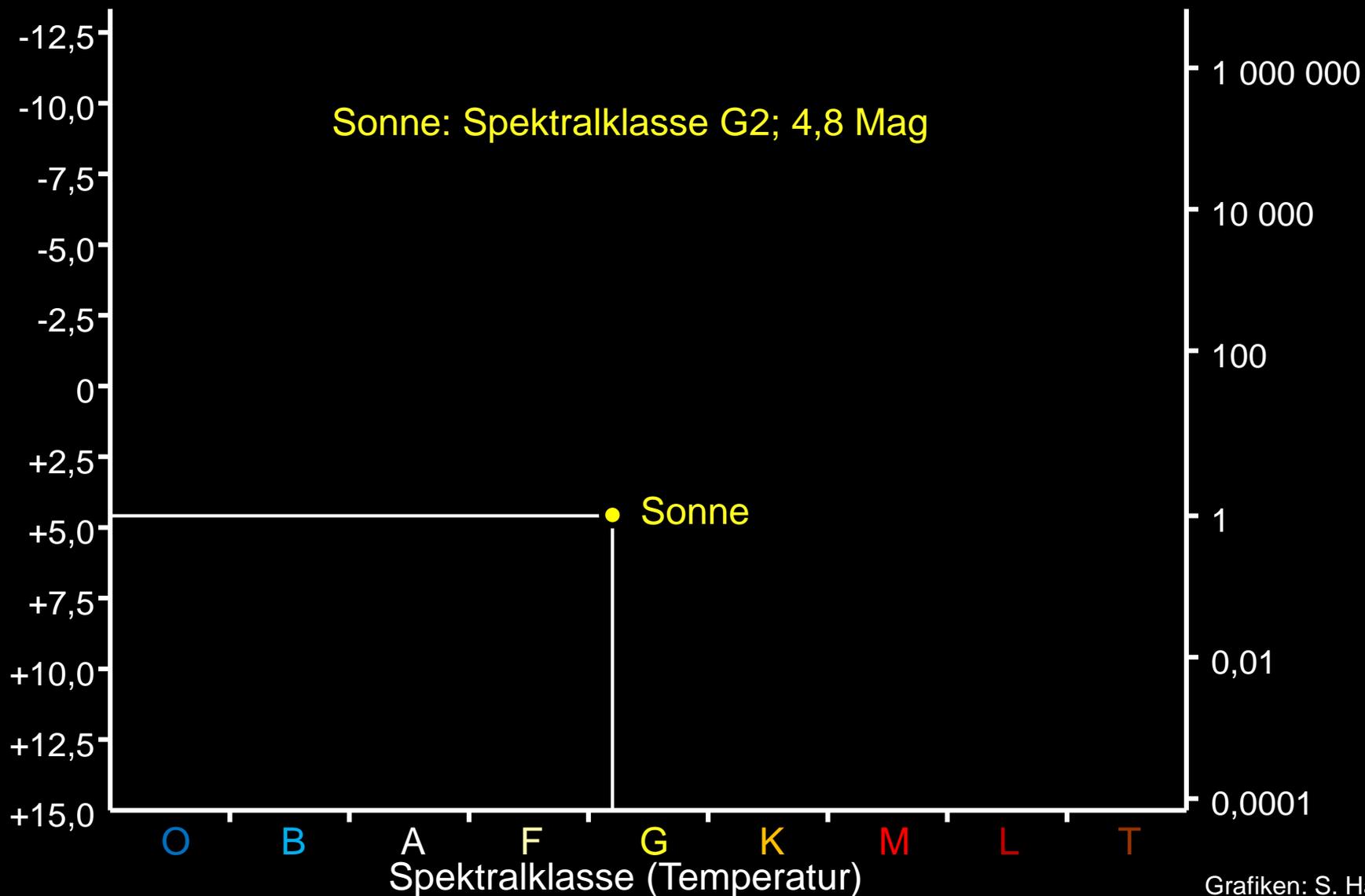


Grafiken: S. Hanssen



Leuchtkraft M

Sonnenleuchtkraft

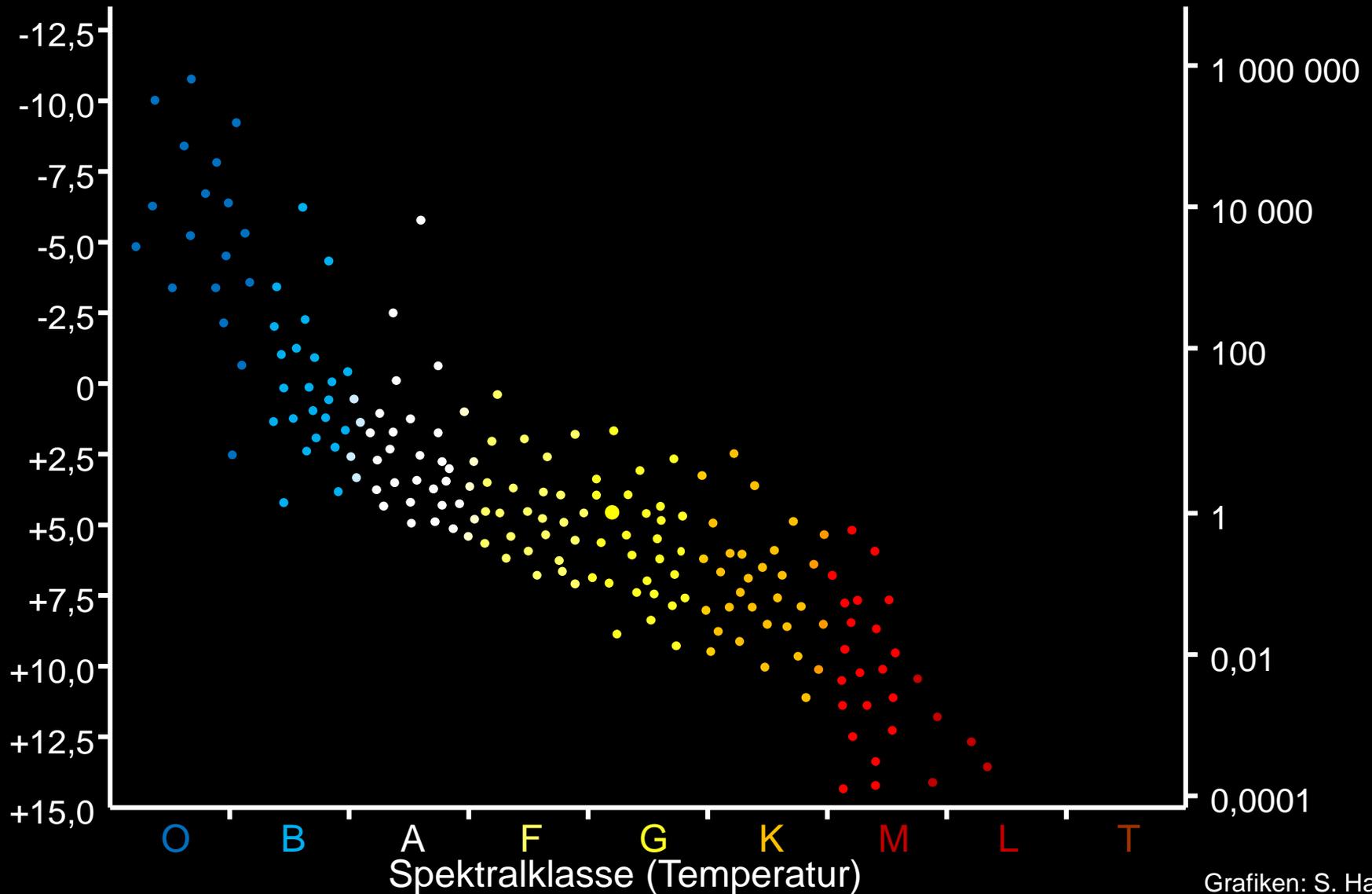


Grafiken: S. Hanssen



Leuchtkraft M

Sonnenleuchtkraft

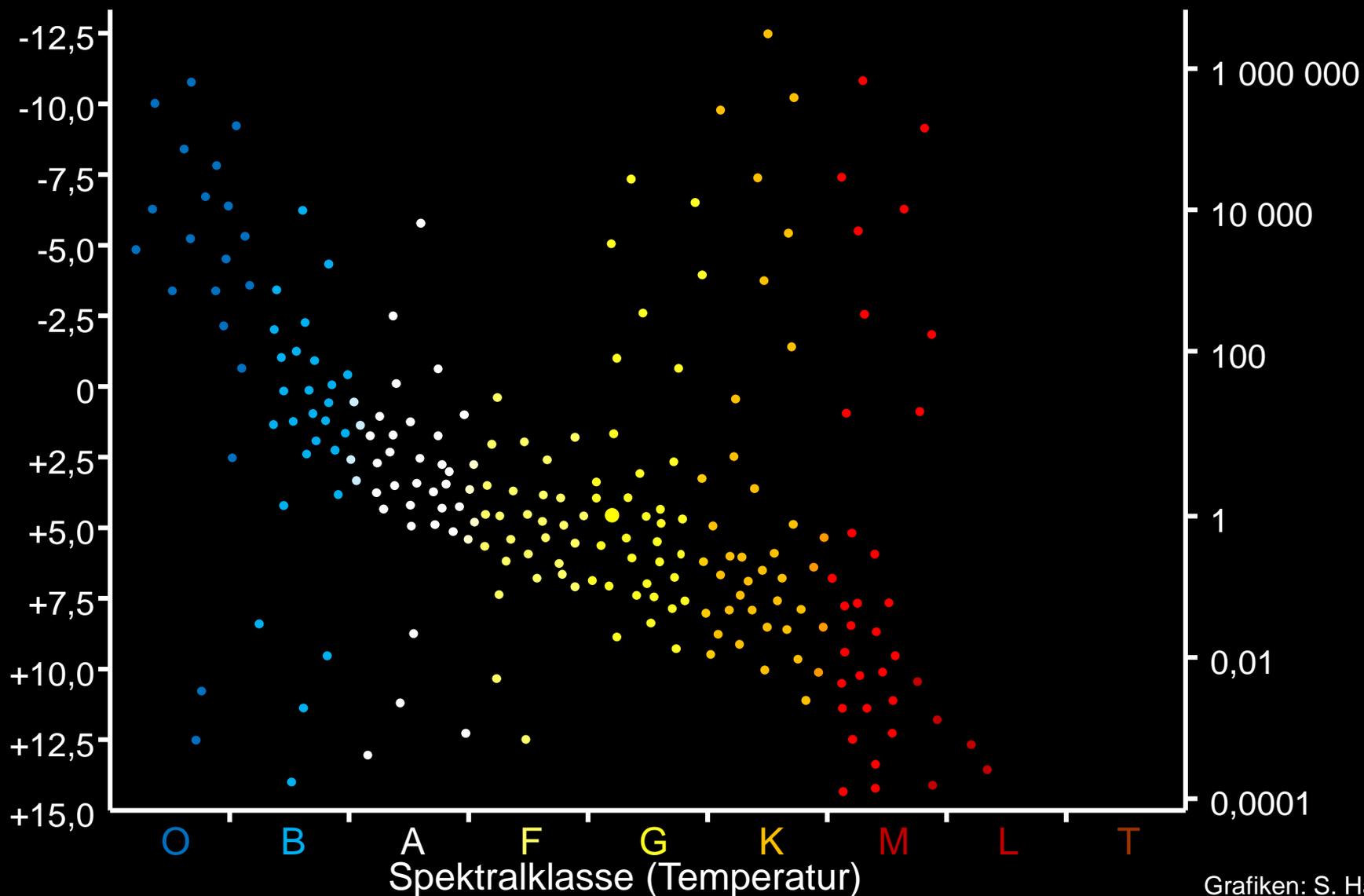


Grafiken: S. Hanssen



Leuchtkraft M

Sonnenleuchtkraft

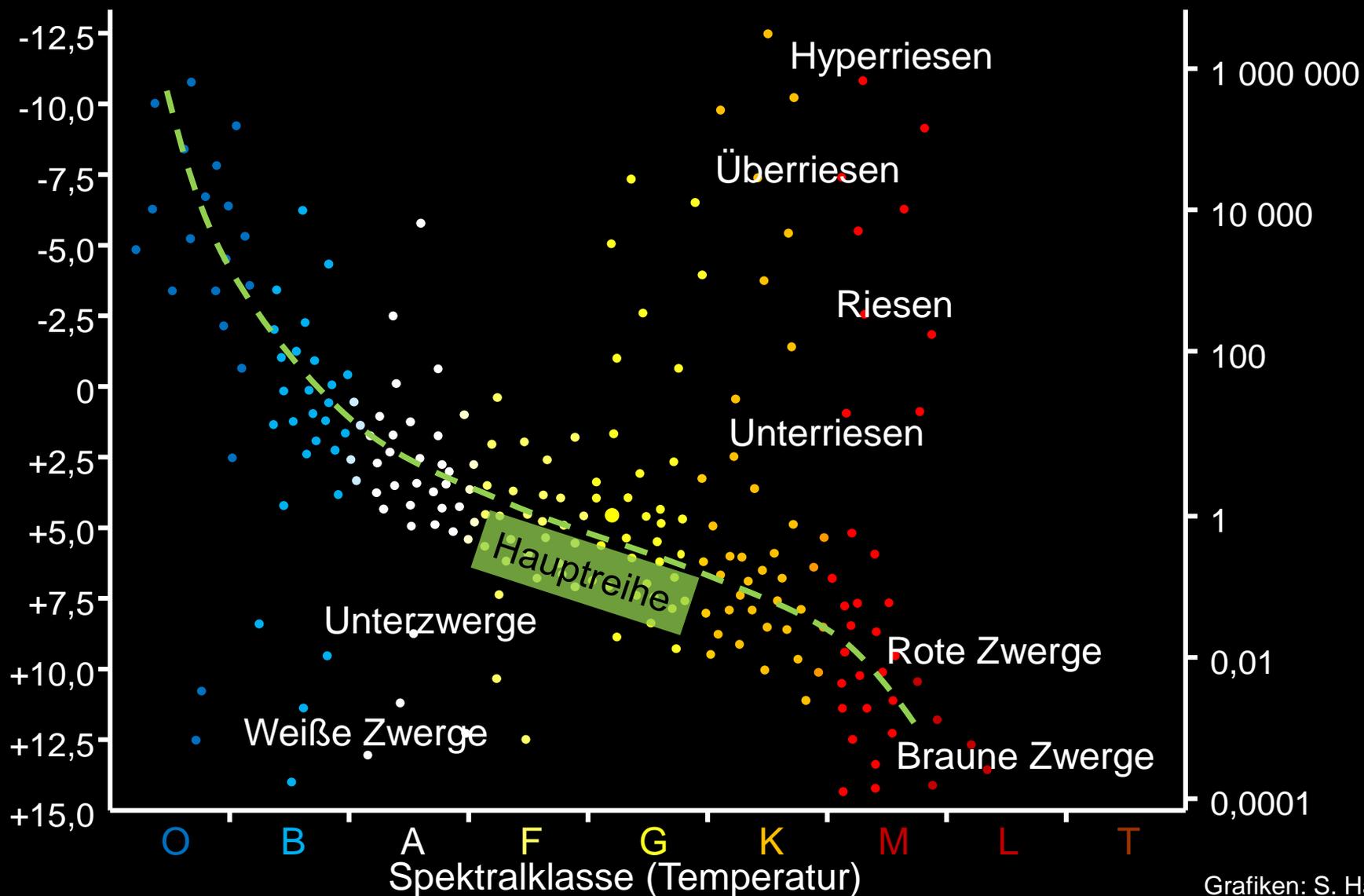


Grafiken: S. Hanssen



Leuchtkraft M

Sonnenleuchtkraft



Grafiken: S. Hanssen



- **Hauptreihensterne:**
Sterne in ihrem besten Lebensalter, die (wie unsere Sonne) im Kern Wasserstoff zu Helium fusionieren.
- **Riesen:**
Sterne im Endstadium mit sehr großen Radien und daher kühlen Oberflächen und enormen Leuchtkräften, die das Hauptreihenstadium beendet haben.
- **Weißer Zwerge:**
Sehr heiße „Überbleibsel“ nach Sternexplosionen (Novae) mit sehr kleinen Radien und daher nur sehr kleinen Leuchtkräften.



LEUCHTKRAFT - RADIUS - BEZIEHUNG

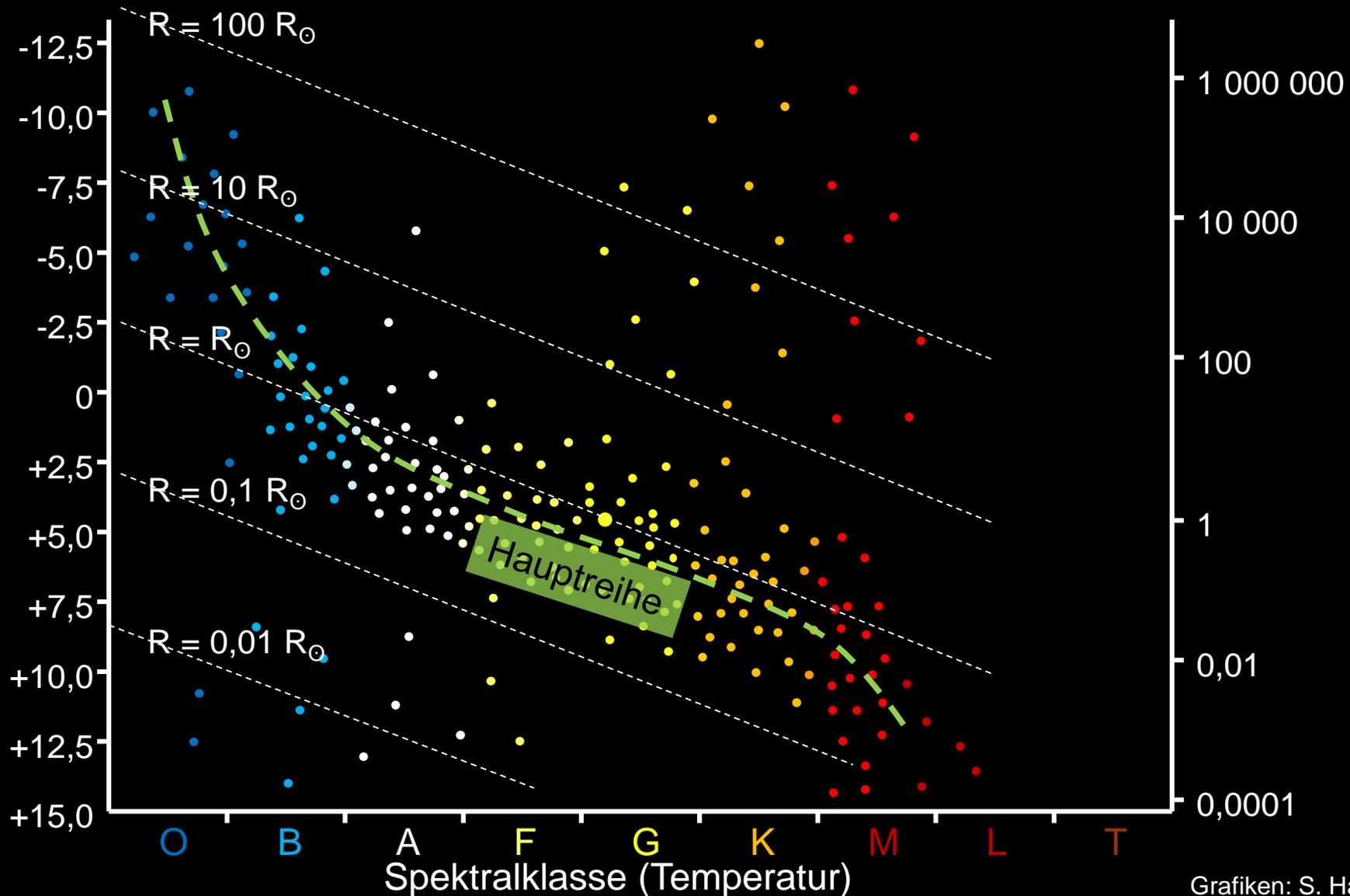
Grafiken: S. Hanssen

ZPG Astronomie

S. Hanssen

Leuchtkraft M

Sonnenleuchtkraft



Grafiken: S. Hanssen



LEUCHTKRAFT - RADIUS - BEZIEHUNG

- Hauptreihe wird von den Geraden der Steigung 4 geschnitten.
 - Nur möglich, wenn mit wachsender Leuchtkraft auch die Radien (Oberflächen) größer werden.
 - L



MASSE - LEUCHTKRAFT - BEZIEHUNG

Grafiken: S. Hanssen

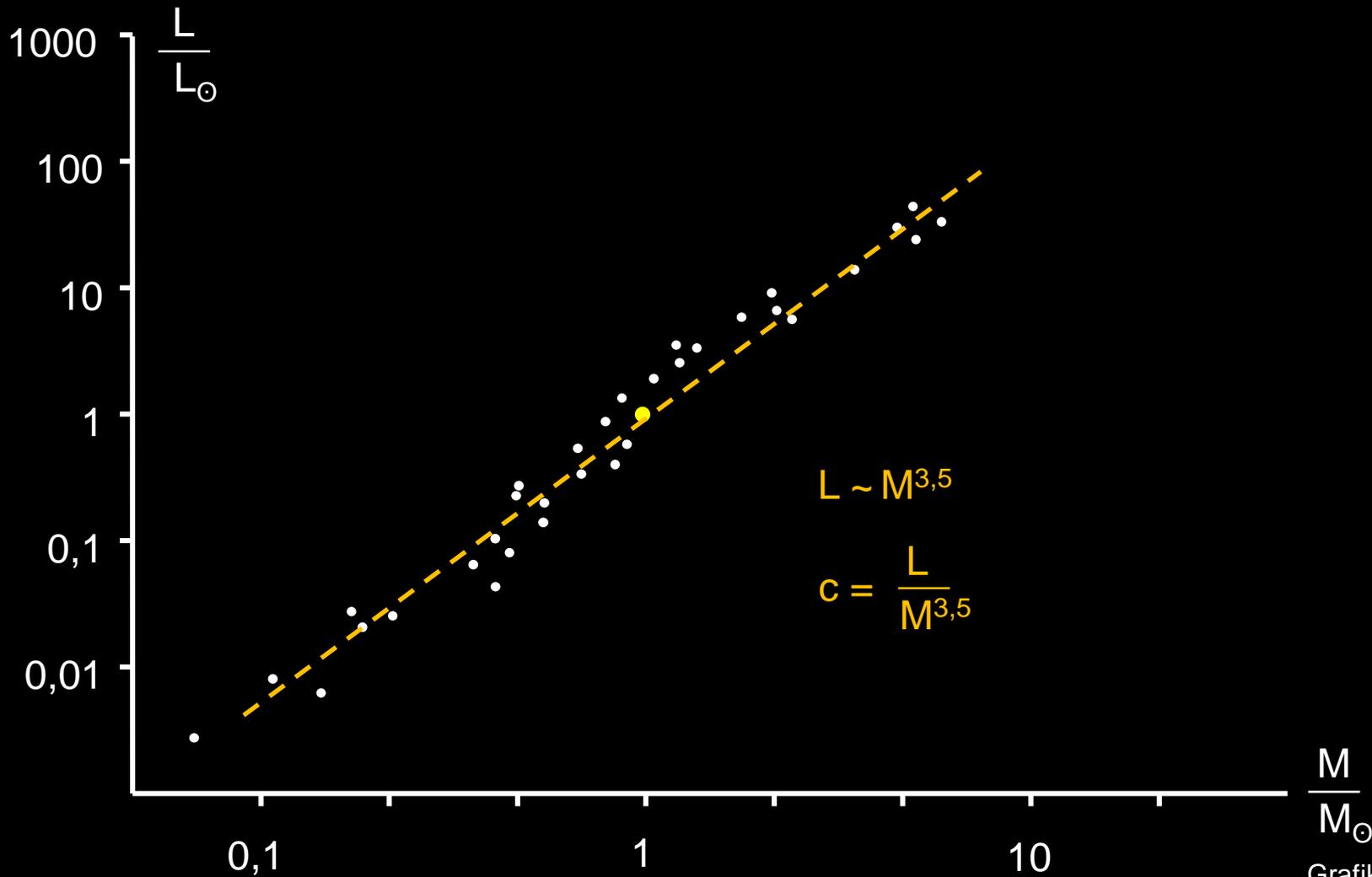
ZPG Astronomie

S. Hanssen

MASSE - LEUCHTKRAFT - BEZIEHUNG

- Gilt nur für Hauptreihe

MASSE - LEUCHTKRAFT - BEZIEHUNG

 $\frac{M}{M_{\odot}}$

Grafiken: S. Hanssen

MASSE - LEUCHTKRAFT - BEZIEHUNG

- Gilt nur für Hauptreihe
- Leuchtkraft \sim Masse^{3,5} (Näherung!)
- Da die Sonne selbst der Gleichung genügt gilt:

$$c = \frac{L_{\odot}}{M_{\odot}^{3,5}}$$

- und damit:

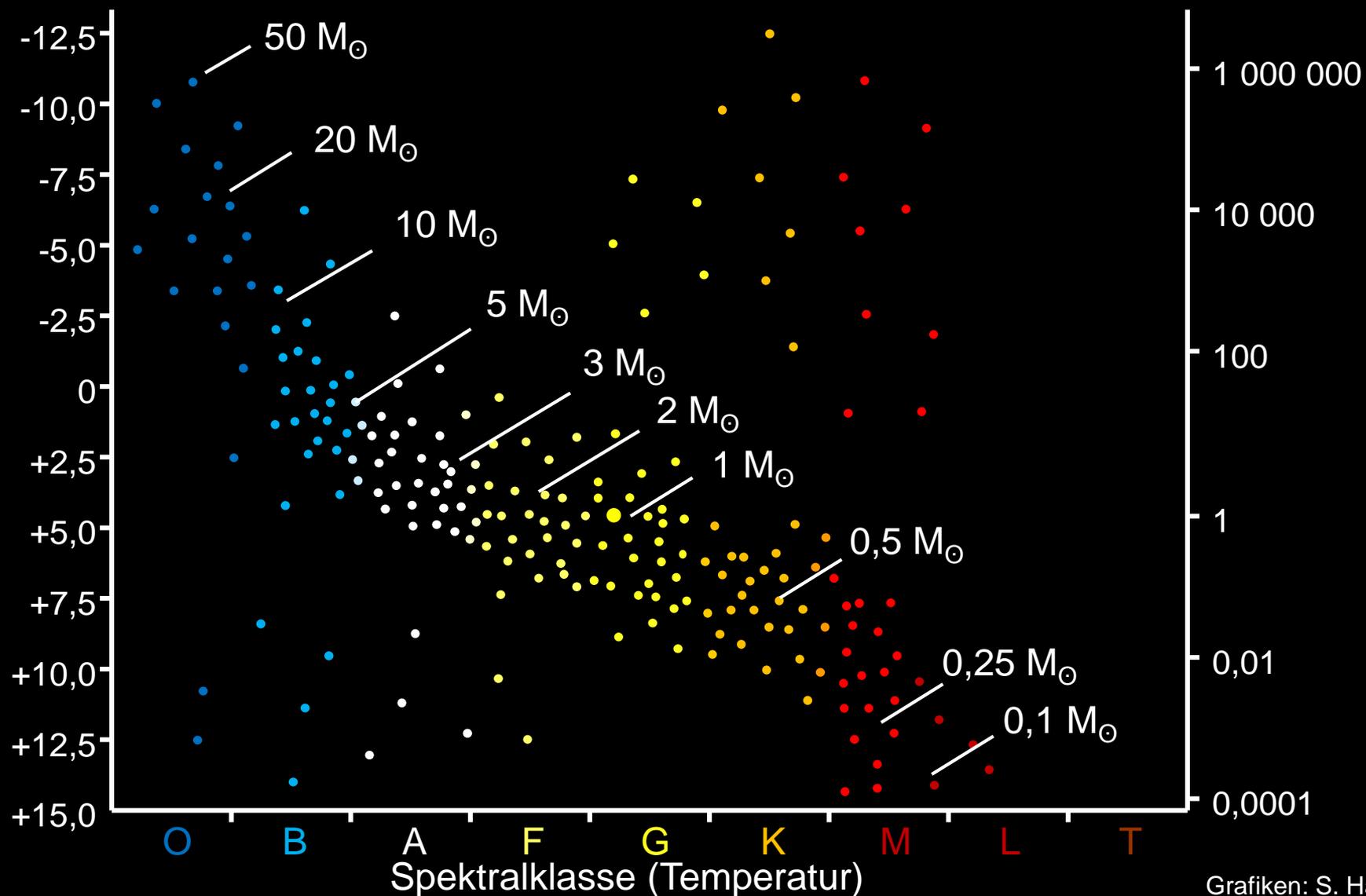
$$\frac{L}{L_{\odot}} = \left[\frac{M}{M_{\odot}} \right]^{3,5}$$

MASSE - LEUCHTKRAFT - BEZIEHUNG

O9	Alnilam	25 000K
B2	Spica	22 400K
B2	Bellatrix	19 000K
A1	Sirius	9940K
A7	Atair	7800K
F5	Procyon	6650K
G2	α Centauri	5810K
G2	Sonne	5778K
K2	Eridani	5100K
M6	Prox. Cent.	3040K

Leuchtkraft M

Sonnenleuchtkraft

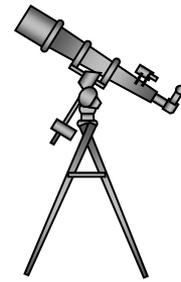


Grafiken: S. Hanssen





ASTRONOMIE WAHLFACH



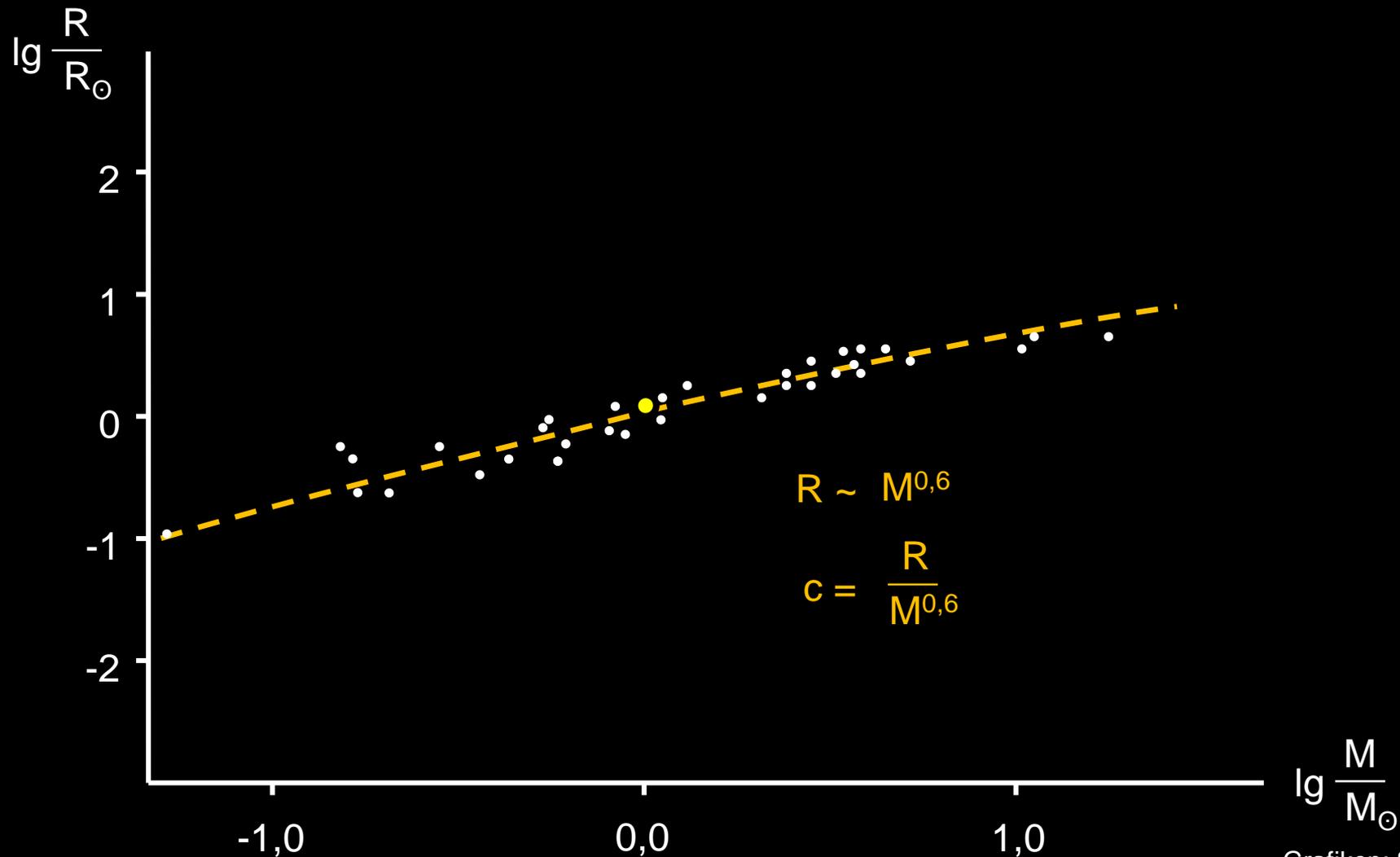
MASSE - RADIUS - BEZIEHUNG

Grafiken: S. Hanssen

ZPG Astronomie

S. Hanssen

MASSE - RADIUS - BEZIEHUNG



Grafiken: S. Hanssen

MASSE - RADIUS - BEZIEHUNG

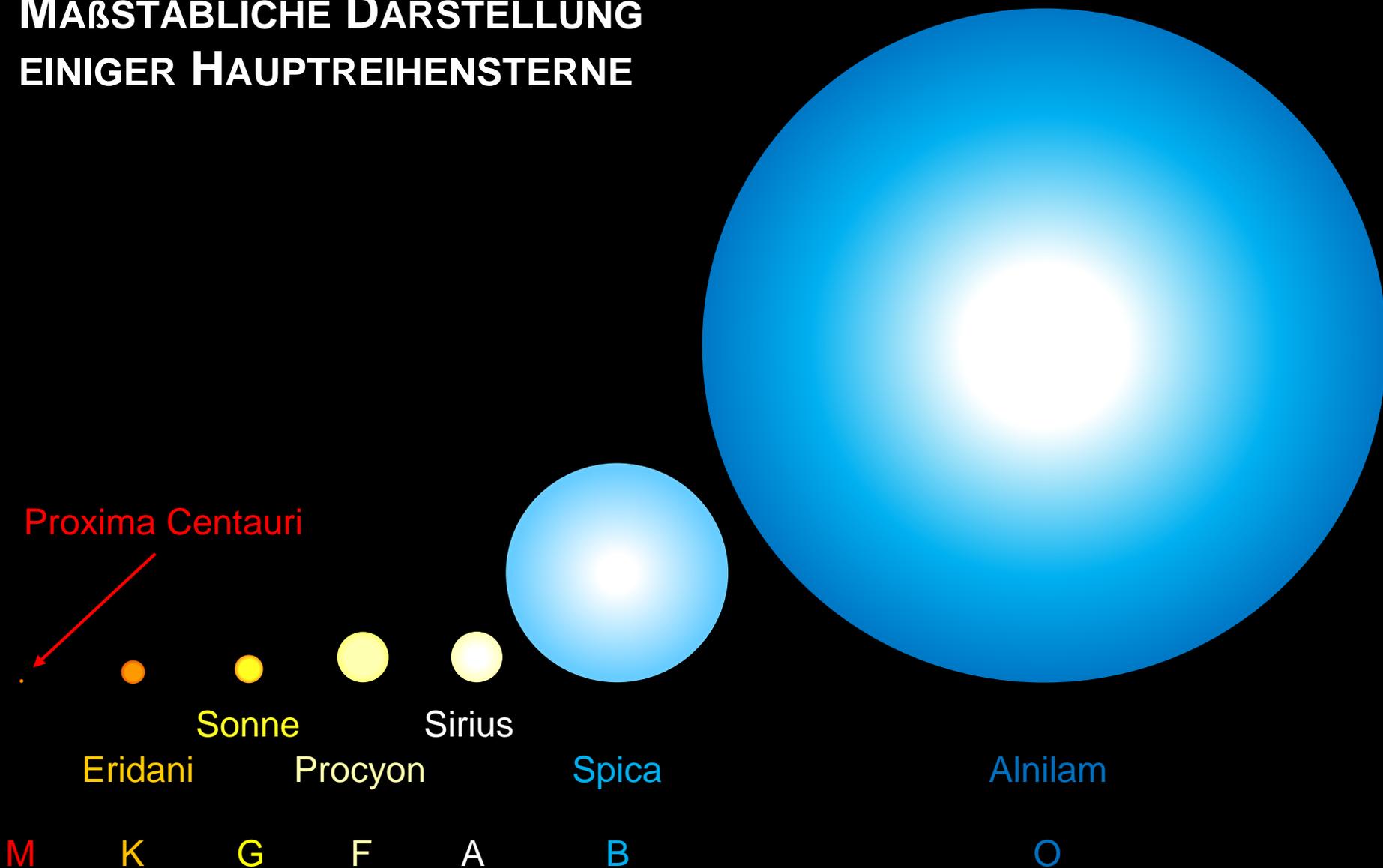
- Gilt nur für Hauptreihe
- $M < M_{\odot}$: Radius \sim Masse
- $M > M_{\odot}$: Radius \sim Masse^{0,6}

$$\frac{R}{R_{\odot}} = \left[\frac{M}{M_{\odot}} \right]^{0,6}$$

MASSE - RADIUS - BEZIEHUNG

O9	Alnilam	25 000K
B2	Spica	22 400K
B2	Bellatrix	19 000K
A1	Sirius	9940K
A7	Atair	7800K
F5	Procyon	6650K
G2	α Centauri	5810K
G2	Sonne	5778K
K2	Eridani	5100K
M6	Prox. Cent.	3040K

MAßSTÄBLICHE DARSTELLUNG EINIGER HAUPTREIHENSTERNE



MASSE - LEUCHTKRAFT - RADIUS

O9	Alnilam	25 000K
B2	Spica	22 400K
B2	Bellatrix	19 000K
A1	Sirius	9940K
A7	Atair	7800K
F5	Procyon	6650K
G2	α Centauri	5810K
G2	Sonne	5778K
K2	Eridani	5100K
M6	Prox. Cent.	3040K

DER ZUSAMMENHANG VON MASSE UND LEUCHTKRAFT

- Menschliche Sinnesempfindungen haben logarithmische Filter:

Helligkeit M ist proportional zum Logarithmus der Leuchtkraft L :

$$M \sim \lg L$$

Für die Differenz zweier Helligkeiten gilt dann:

$$M_1 - M_2 \sim \lg L_1/L_2$$

Für die Belange der Astronomie ist der Proportionalitätsfaktor $-2,5$ notwendig, daraus folgt:

$$M_1 - M_2 = -2,5 \cdot \lg L_1/L_2$$



ALTER VON HAUPTREIHENSTERNEN

Grafiken: S. Hanssen

ZPG Astronomie

S. Hanssen

DAS ALTER VON HAUPTREIHENSTERNEN

- Verweilzeit auf der Hauptreihe:

Abschätzung:

Abhängig von Wasserstoffvorrat (\approx Sternmasse M) und Energieabgabe (Leuchtkraft L), also:

$$\tau_H \sim M/L$$

mit $L \sim M^{3,5}$ bzw. $M \sim L^{2/7}$

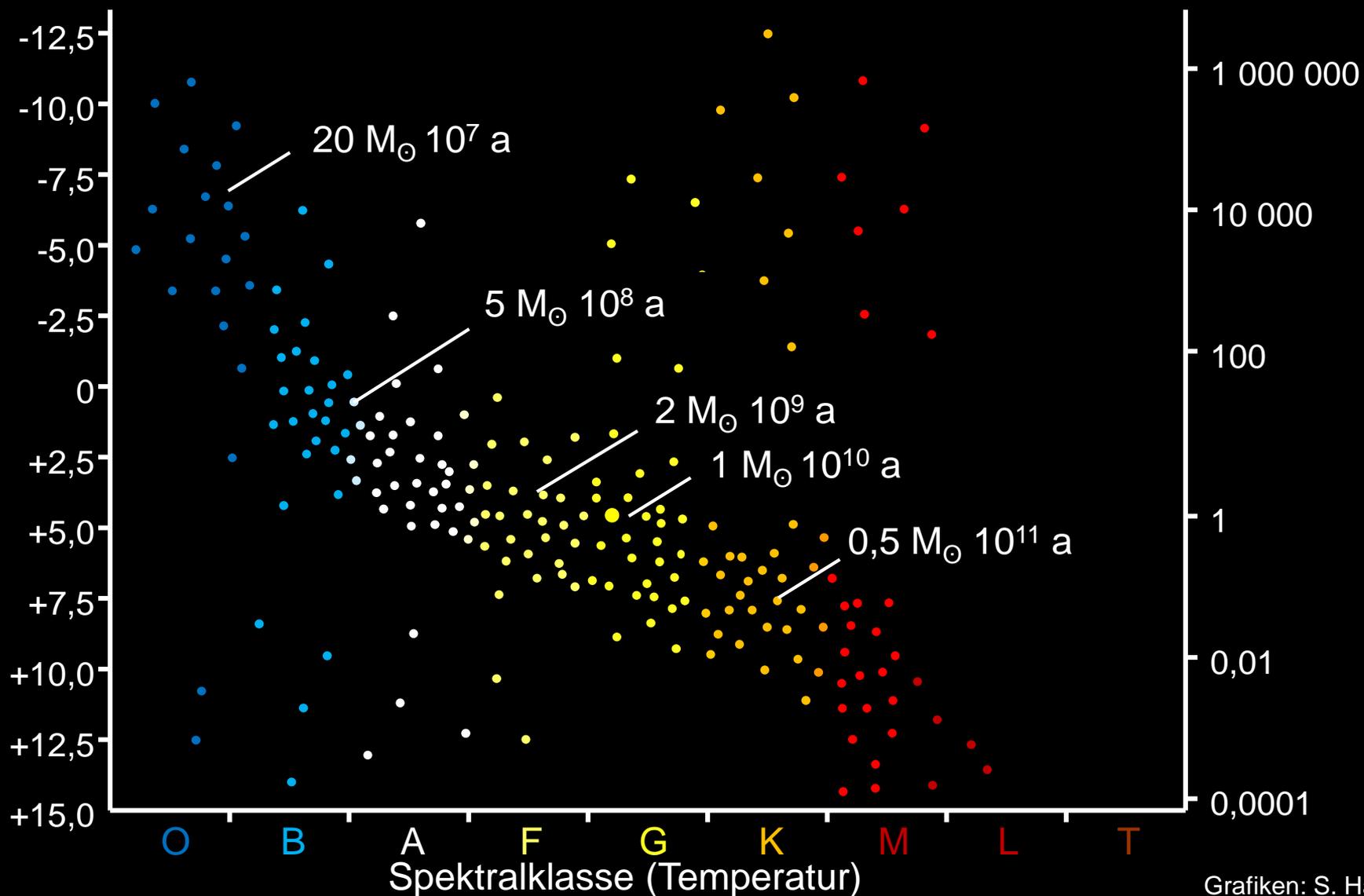
folgt:

$$\tau_H \sim L^{-5/7}$$

→ Je größer die Leuchtkraft, desto kürzer die Lebensdauer des Sterns.

Leuchtkraft M

Sonnenleuchtkraft



Grafiken: S. Hanssen





DAS HRD VON KUGELSTERNHAUFEN

Grafiken: S. Hanssen

ZPG Astronomie

S. Hanssen

DAS HRD VON KUGELSTERNHAUFEN

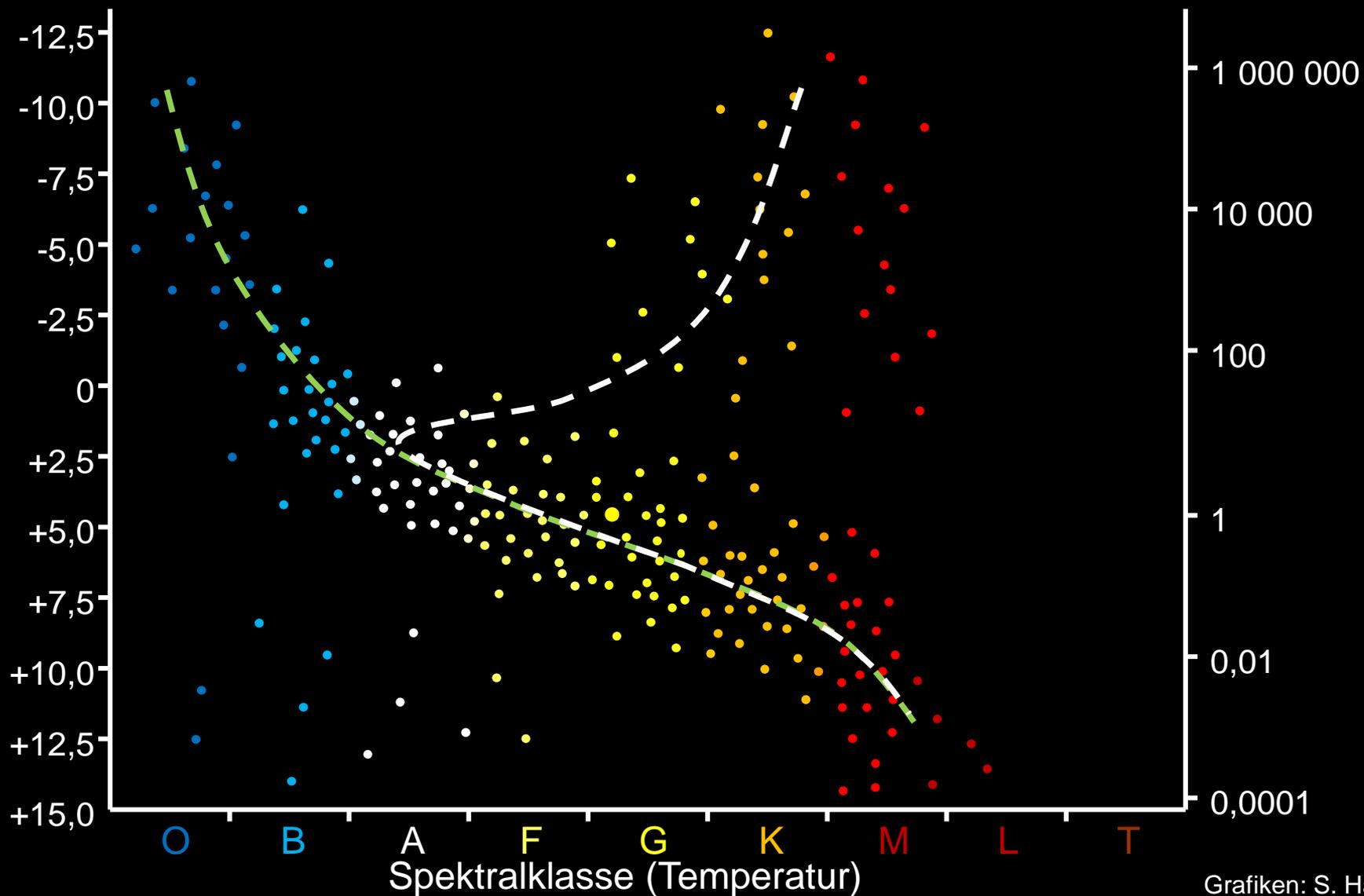
- Gruppen von Sternen, die zusammen entstanden sind.
- oberer Teil der Hauptreihe nicht mehr von Sternen besetzt.



Bild: „Omega Centauri by ESO“ von European Southern Observatory (ESO: <https://www.eso.org/public/images/eso0844a/>) via https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Omega_Centauri_by_ESO.jpg [CC BY 4.0]

Leuchtkraft M

Sonnenleuchtkraft



Grafiken: S. Hanssen



DAS HRD VON KUGELSTERNHAUFEN

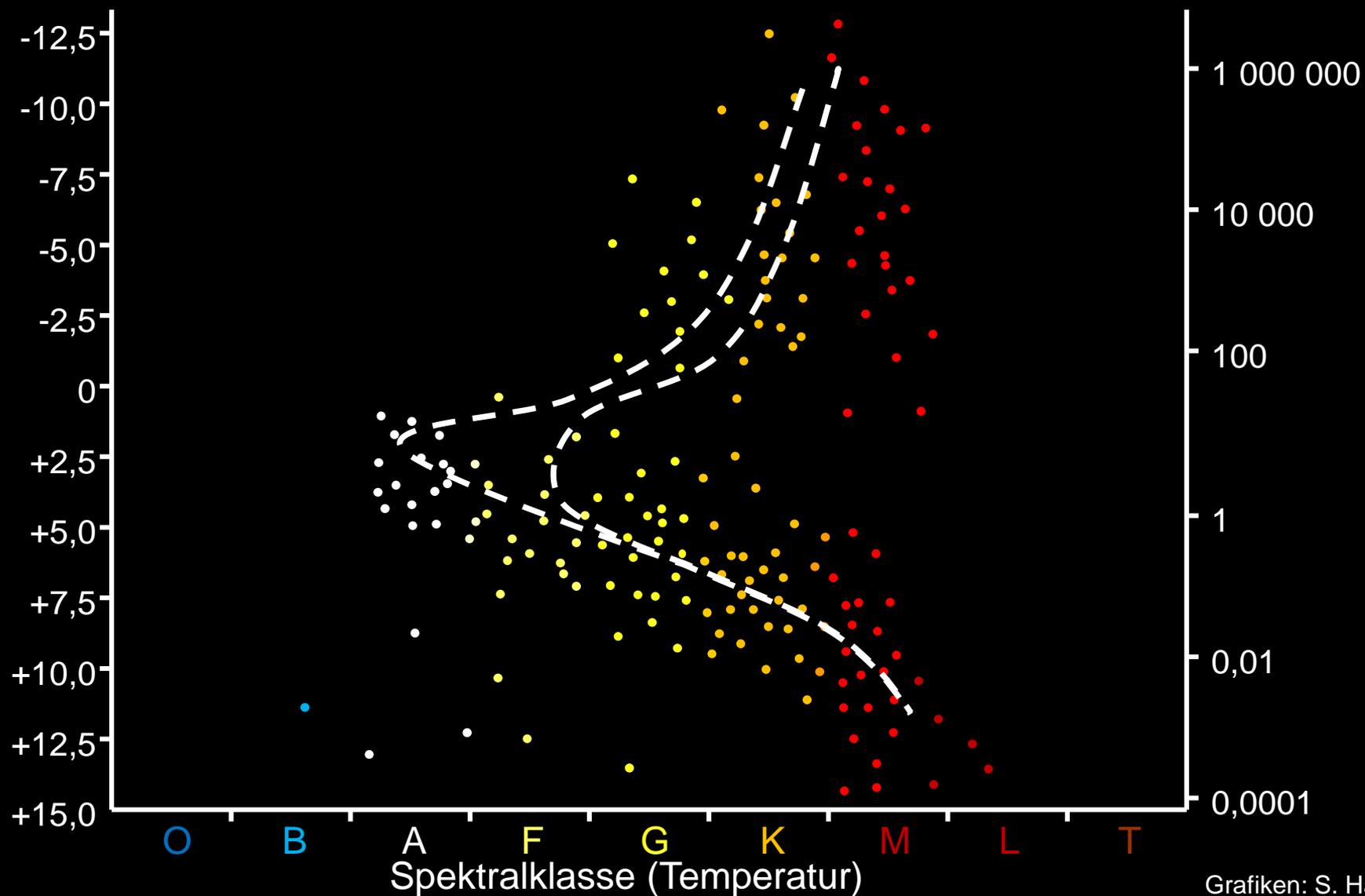
- Gruppen von Sternen, die zusammen entstanden sind.
- oberer Teil der Hauptreihe nicht mehr von Sternen besetzt.
- Hauptreihenast knickt zum Ast der Roten Riesen ab.
Kugelsternhaufen besitzen in der Hauptreihe nur Sterne mit langer Lebensdauer → sehr alt (~ 10 Mrd a)



Bild: „Omega Centauri by ESO“ von European Southern Observatory
(ESO: <https://www.eso.org/public/images/eso0844a/>) via
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Omega_Centauri_by_ESO.jpg [CC BY 4.0]

Leuchtkraft M

Sonnenleuchtkraft



Grafiken: S. Hanssen



DAS HRD VON KUGELSTERNHAUFEN

- Gruppen von Sternen, die zusammen entstanden sind.
- oberer Teil der Hauptreihe nicht mehr von Sternen besetzt.
- Hauptreihenast knickt zum Ast der Roten Riesen ab. Kugelsternhaufen besitzen in der Hauptreihe nur Sterne mit langer Lebensdauer → sehr alt (~ 10 Mrd a)
- Abknickpunkt tiefer: Hauptreihensterne mit geringerer Masse (mit deutlich längerer Lebensdauer) haben Rotes-Riesen-Stadium erreicht → älterer Sternhaufen!



Bild: „Omega Centauri by ESO“ von European Southern Observatory (ESO: <https://www.eso.org/public/images/eso0844a/>) via https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Omega_Centauri_by_ESO.jpg [CC BY 4.0]



M2
(Wassermann)
12 Mrd a (HST)

Bild links: „Messier 2 -HST-L
hlsp acsggct hst acs-wfc
ngc7089 f606w-AB
R814GB606“ von HST /
Fabian RRRR (talk) - Based
on observations made with
the NASA/ESA Hubble Space
Telescope, and obtained from
the Hubble Legacy Archive,
which is a collaboration
between the Space
Telescope Science Institute
(STScI/NASA), the Space
Telescope European
Coordinating Facility (ST-
ECF/ESA) and the Canadian
Astronomy Data Centre
(CADC/NRC/CSA) via
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Omega_Centauri_by_ESO.jpg [CC BY-SA 3.0]



Omega Centauri
(Zentaur Südhimmel)
10 Mrd a (ESO)

Bild oben: „Omega Centauri by ESO“ von European Southern Observatory (ESO: <https://www.eso.org/public/images/eso0844a/>) via https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Omega_Centauri_by_ESO.jpg [CC BY 4.0]



M13
(Herkules)
10 Mrd a
(Adam Block/Mount Lemmon
SkyCenter/University of Arizona)

Bild links: „M13s“ von Adam Block/Mount Lemmon SkyCenter/University of Arizona via https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Omega_Centauri_by_ESO.jpg [CC BY-SA 3.0 US]