



LEBEN IM UNIVERSUM

Grafiken: S. Hanssen

ZPG Astronomie

LEBEN AUßERHALB DES SONNENSYSTEMS

Extrasolare Planeten (Exoplaneten)

Indikatoren für biologische Prozesse:

Infrarotspektrum

H₂O 8 µm

O₂ 0,76 µm im sichtbaren! aus Photosynthese

O₃ 9,6 µm photochemisch aus O₂

(CH₄) 7,6 µm aus Bakterien, Kuhmägen, oxidiert schnell!

(N₂O) aus Bakterien im Boden und im Ozean

LEBEN AUßERHALB DES SONNENSYSTEMS

Komet Wild 2 (Stardust):

Aminosäuren COOH-Gruppe und NH₂-Gruppe

Sagittarius A (Sgr A)

(Riesenmolekülwolke):

Methylalkohol (CH₃OH)

Ameisensäure (HCOOH)

Essigsäure (C₂H₄O₂)

Azeton (C₃H₆O)

Glykolaldehyd (C₂H₄O₂)
(der einfachste Zucker)

Ethylenglykol (C₂H₆O₂)



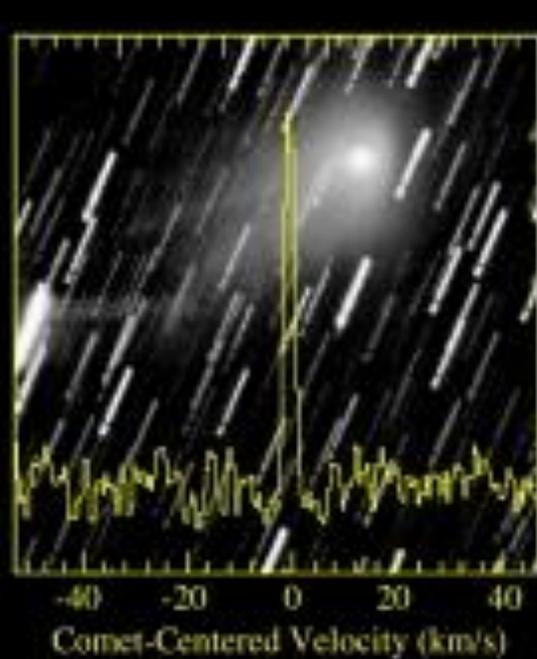
Bild oben: „NASA Spacecraft's Pinch of Comet Dust Reveals 'Cosmic Zoo' “ von NASA via https://www.nasa.gov/mission_pages/stardust/news/stardust_cosmiczoo.html [Public Domain (PD-USGov)]



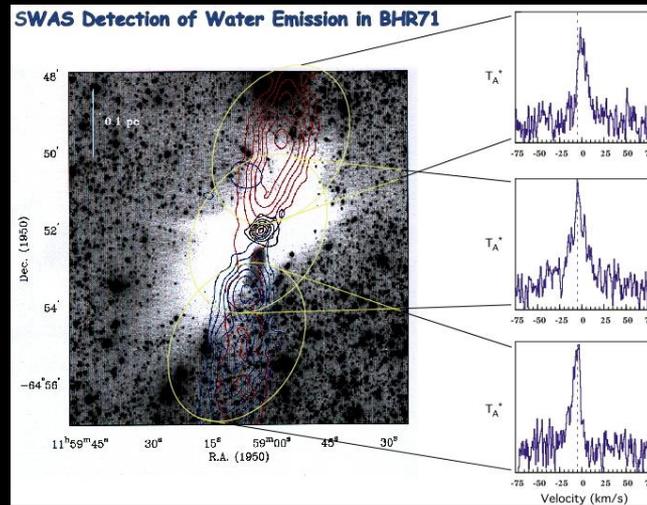
Bild links: „Chandra image of Sgr A“ von NASA/CXC/MIT/F. Baganoff, R. Shcherbakov et al. via https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chandra_image_of_Sgr_A.jpg [Public Domain (PD-USGov)]

LEBEN AUßERHALB DES SONNENSYSTEMS

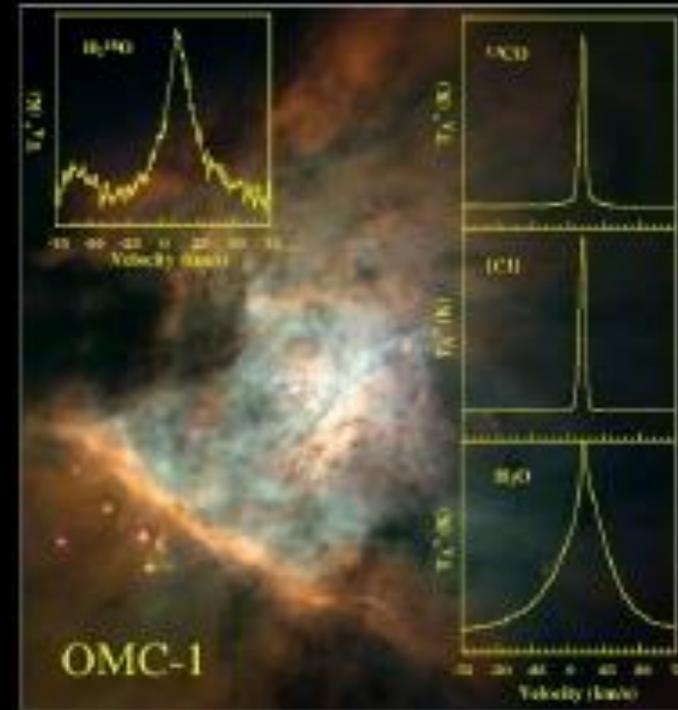
Wasser im Universum



H₂O in Kometen



BHR71
Dunkler Nebel Sternbild Fliege



Orion Molecular Cloud 1
OMC-1

Bilder: NASA

DIE STELLARE HABITABLE ZONE

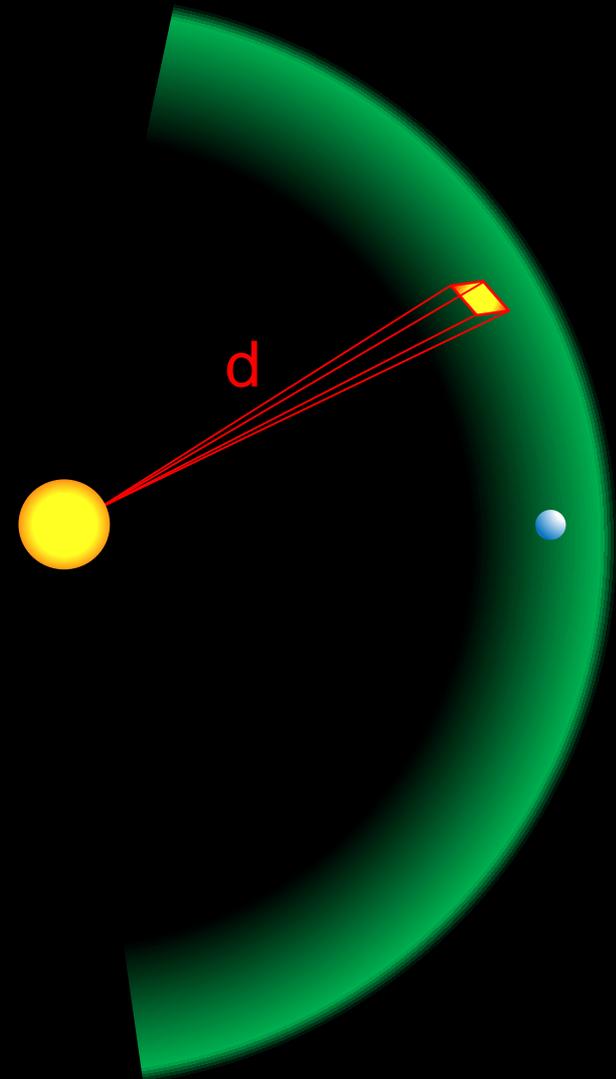
Unter dem Strahlungsstrom S versteht man die Strahlungsleistung L pro Fläche.

Der Strahlungsstrom $S(d)$ im Abstand d eines Sterns bestimmt sich demnach zu:

$$S(d) = \frac{L_{\text{Stern}}}{4 \pi d^2}$$

Im Abstand der Erde ist auf der gedachten Kugel mit Radius 1 AE:

$$S(1 \text{ AE}) = \frac{L_{\text{Sonne}}}{4 \pi (1 \text{ AE})^2}$$



Grafiken: S. Hanssen

DIE STELLARE HABITABLE ZONE

Für den Abstand d der habitablen Zone sollte (vereinfacht) gelten:

$$S(d) = S(1 \text{ AE})$$

$$\frac{L_{\text{Stern}}}{4 \pi d^2} = \frac{L_{\text{Sonne}}}{4 \pi (1 \text{ AE})^2}$$

also:

$$d = \sqrt{\frac{L_{\text{Stern}}}{L_{\text{Sonne}}} \cdot 1 \text{ AE}}$$

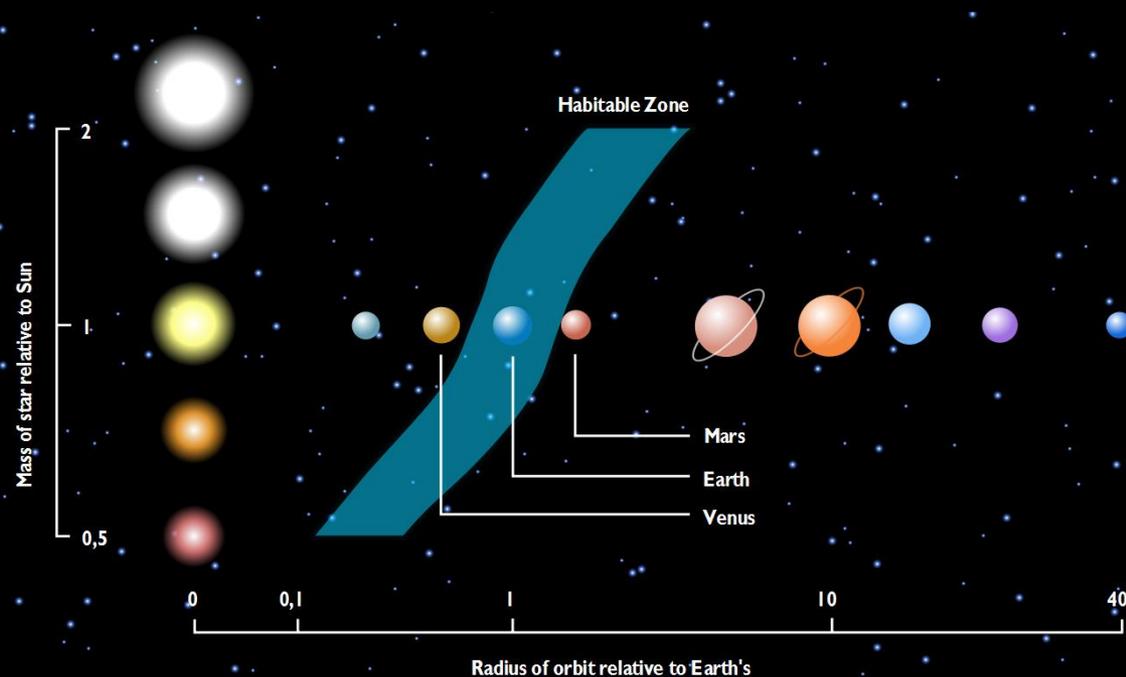


Bild: „Habitable Zone“ von DLR via <https://scienceblogs.de/astrodicticum-simplex/2013/04/04/die-wunderbare-welt-der-exoplaneten-vi-wo-ist-die-zweite-erde/?all=1> [GFDL]

<http://astro.unl.edu/naap/habitablezones/animations/stellarHabitableZone.html>

Astronomy Education at the University of Nebraska-Lincoln

Home ClassAction NAAP Labs Interactives Video Mobile Downloads Local More Contact

Home > NAAP Labs > Habitable Zones > Circumstellar Habitable Zone Simulator

Circumstellar Habitable Zone Simulator

reset about



Mercury Venus Earth Mars

0.1 AU

General Settings

diagram options:

- show scale grid
- show solar system orbits

Star and Planet Settings and Properties

(none selected)

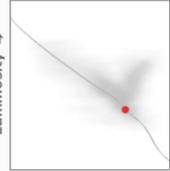
select a star system above to investigate its planets, or choose "none" to experiment with the full range of star masses and planet distances

initial star mass: 1.0

star properties now: mass: 1.00 Msun
luminosity: 0.739 Lsun
temperature: 5700 K
radius: 0.890 Rsun

initial planet distance: 1.00

planet distance now: 1.00 AU



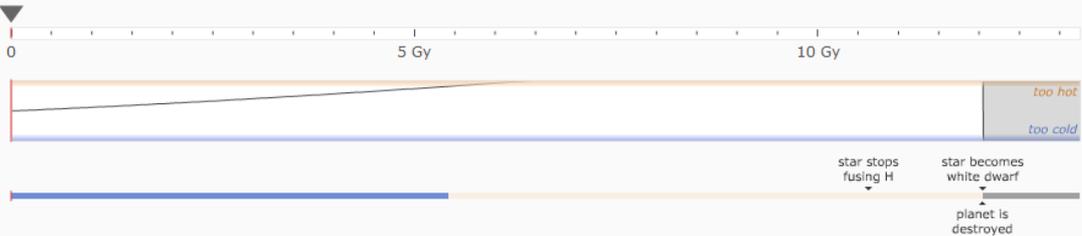
Luminosity

Temperature

Timeline and Simulation Controls

time since star system formation: 0 My

run rate:



0 5 Gy 10 Gy

too hot

too cold

star stops fusing H

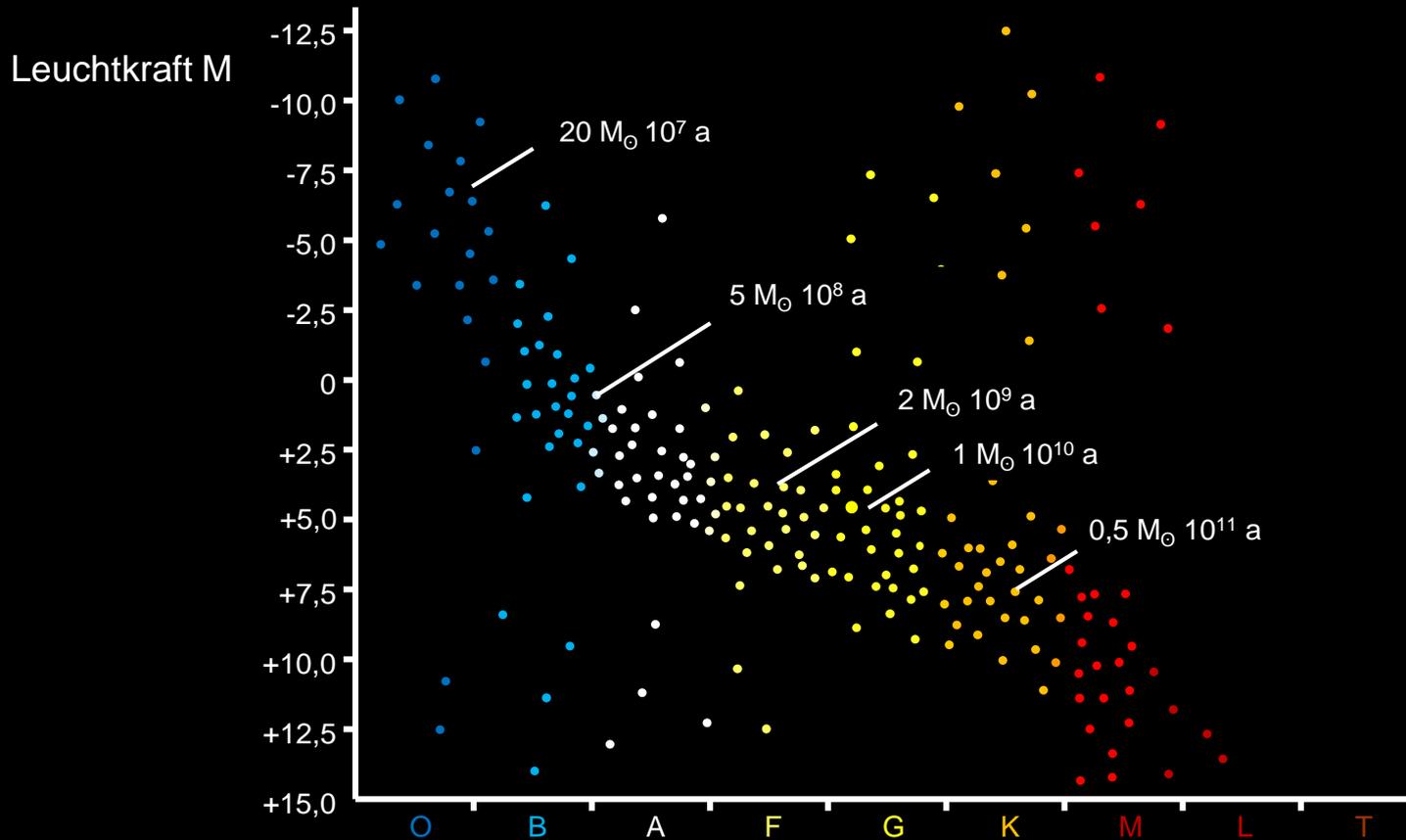
star becomes white dwarf

planet is destroyed

Screenshot:
CHZ-Simulator

LEBENSDAUER DER STERNE

Zeit auf der Hauptreihe:



Grafiken: S. Hanssen

LEBENSDAUER DER STERNE

Entscheidend ist die Zeit auf der Hauptreihe.

Leben auf der Erde seit 4 Ga.

Intelligentes Leben seit etwa 2,5 Ma.

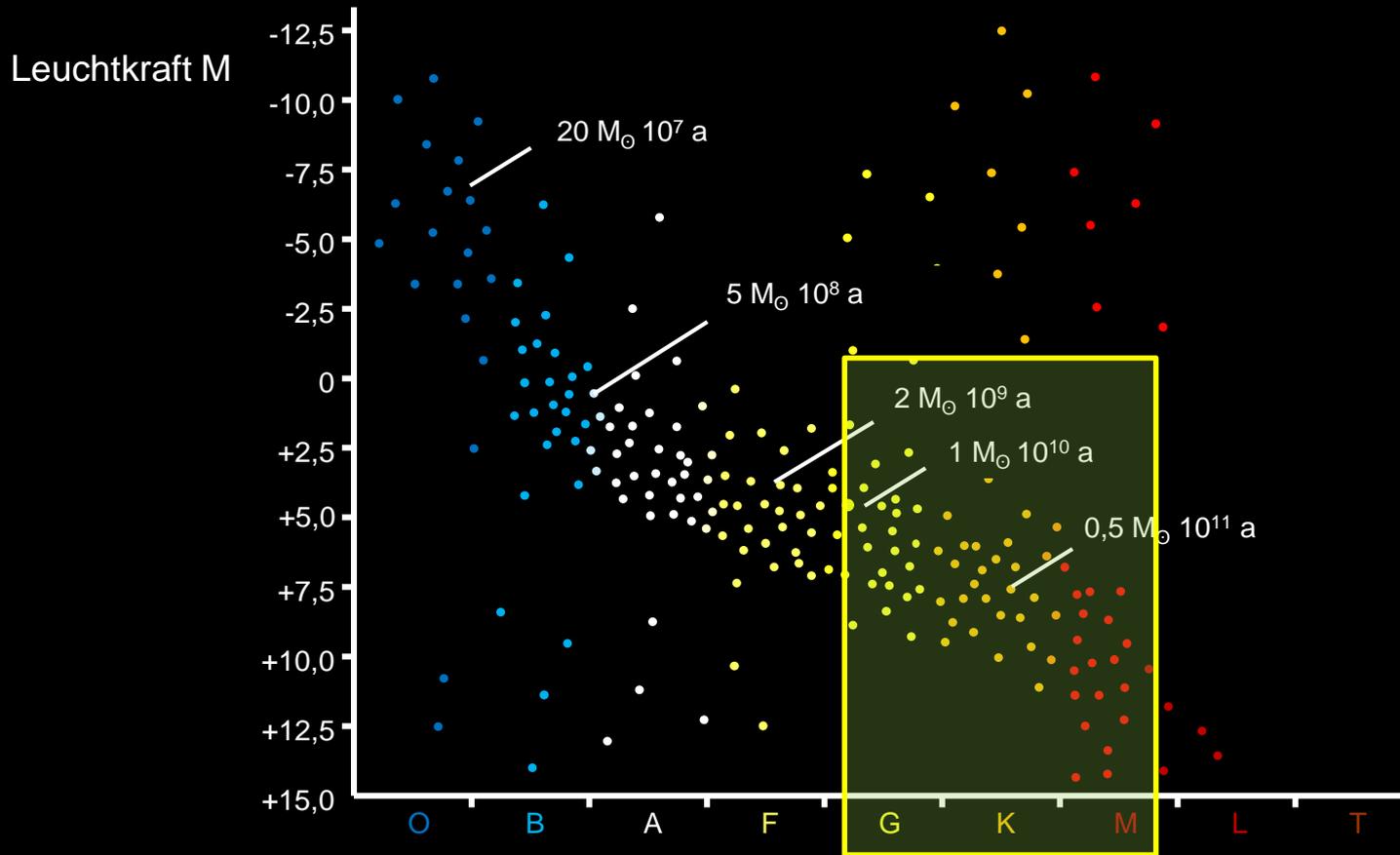
Stern muss 5 Ga auf der Hauptreihe bleiben, damit intelligentes Leben entstehen kann.

→ Nur G -, K -, und M - Sterne

(Sonne: G2: 12 Ga auf der Hauptreihe)

LEBENSDAUER DER STERNE

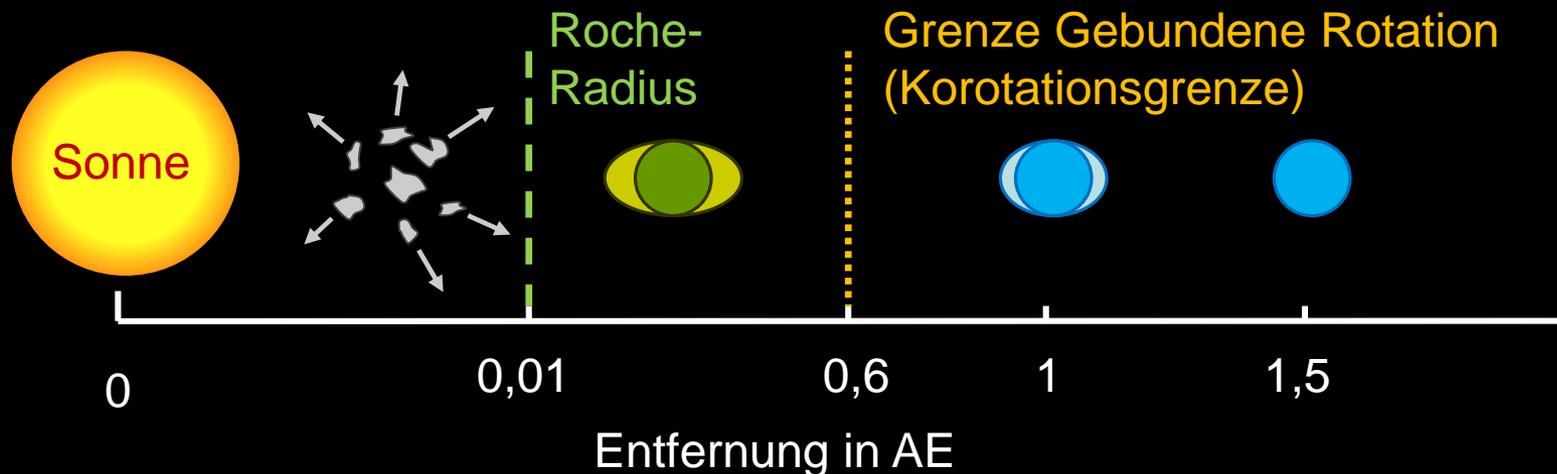
G- , K- , und M- Sterne:



Grafiken: S. Hanssen

WEITERE BEDINGUNGEN

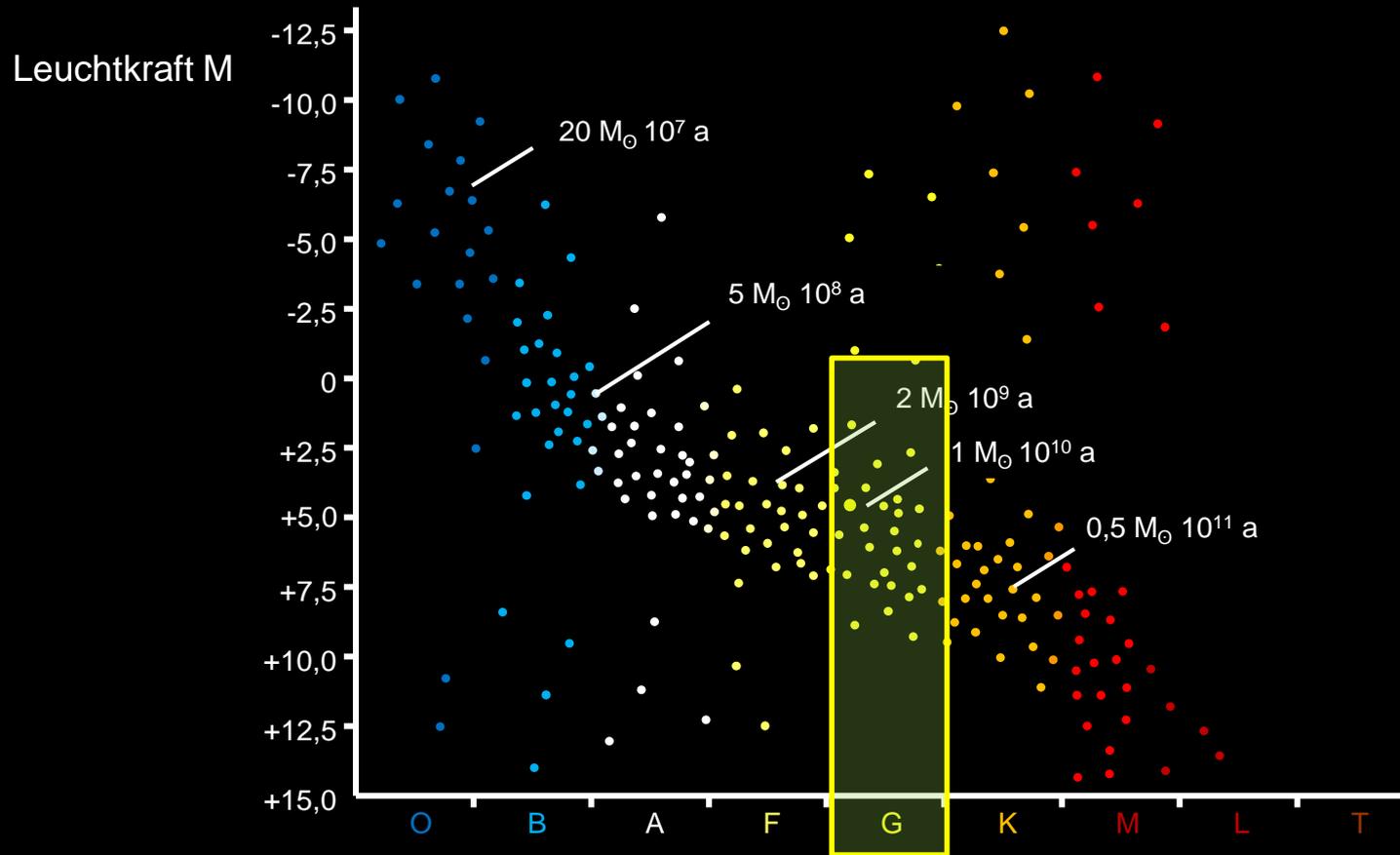
- Jupiterartige / zu kleine Planeten (Merkur, Mars) sind lebensfeindlich
→ Nur terrestrische Planeten
- Keine gebundene Rotation (Abkühlung bzw. Aufheizung)
- Abstand größer als „Roche-Radius r_R “
($r < r_R$: Gezeitenkräfte zu groß für Planetenbildung)
→ Keine K - und M - Sterne



Grafiken: S. Hanssen

WEITERE BEDINGUNGEN

Keine K- und M- Sterne (90% aller Sterne)



Grafiken: S. Hanssen

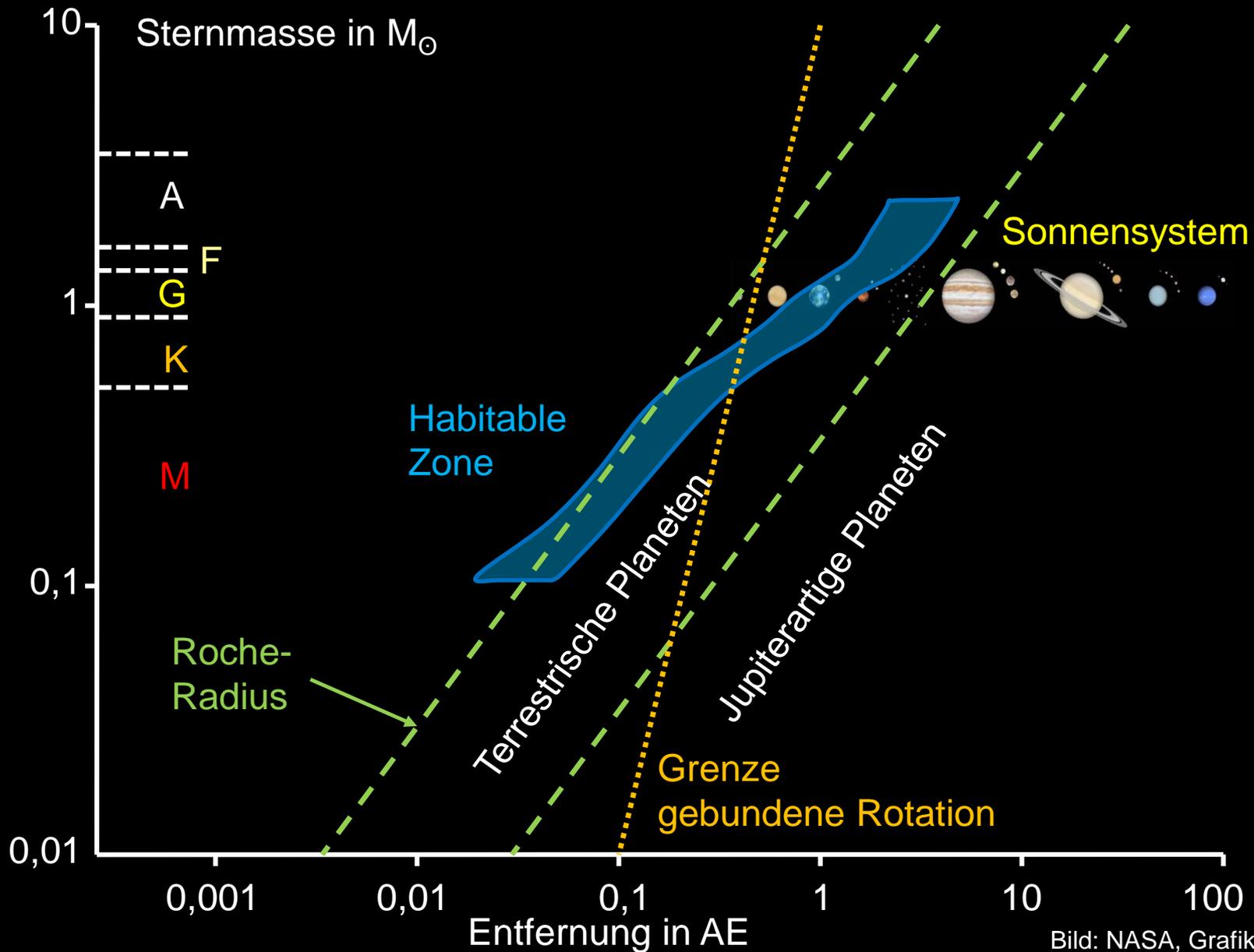


Bild: NASA, Grafiken: S. Hanssen

DIE GALAKTISCHE HABITABLE ZONE

Problem der Sternbildungsrate:

Zu groß: Nähe zu Supernovae – starke kosmische Strahlung.

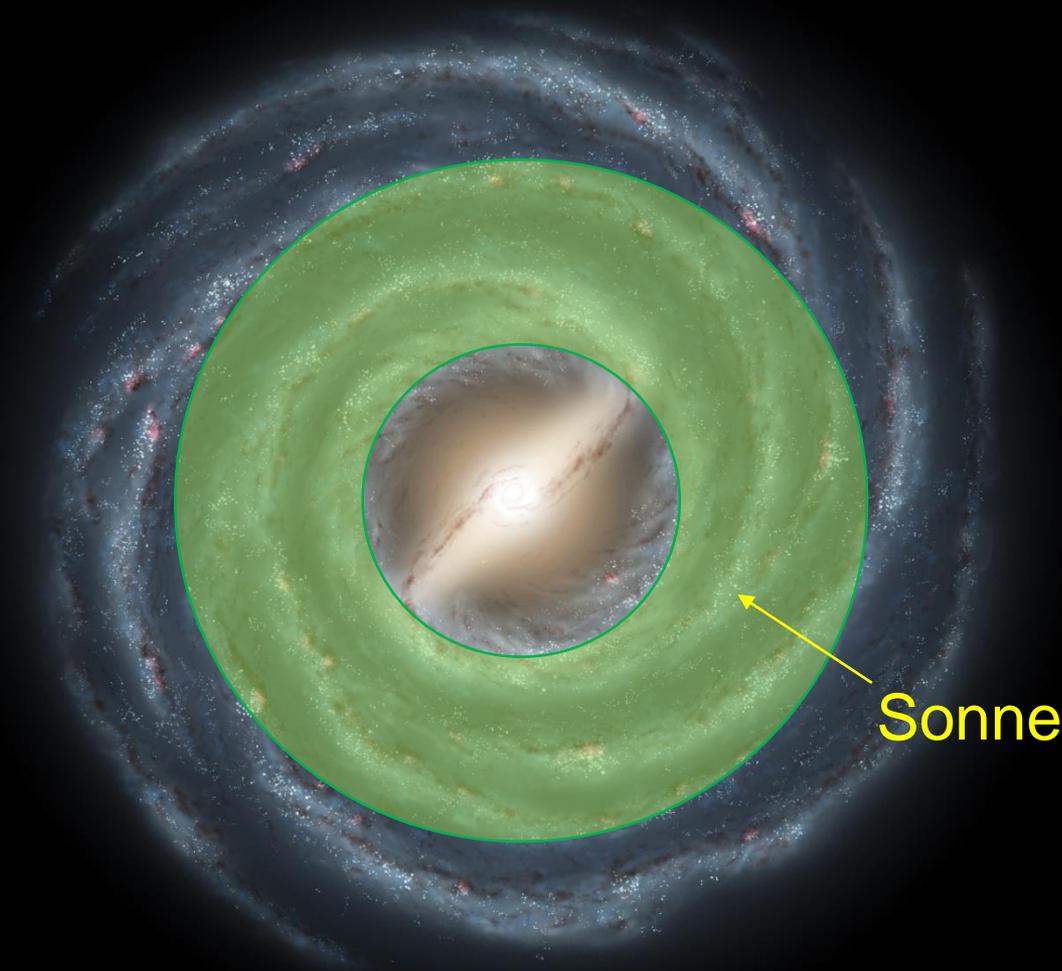
(Innerer Bereich der Galaxis)

Zu klein: Zu wenige Sterne haben genug schwere Elemente gebildet.

(Äußerer Bereich der Galaxis)

→ Ringförmige habitable Zone

DIE GALAKTISCHE HABITABLE ZONE



Sonne

Bild: „Milky Way 2005“ von Robert Hurt/SSC/Caltech/JPL/NASA via https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Milky_Way_2005.jpg [Public Domain (PD-US-Gov)]

EXTRATERRESTRISCHE INTELLIGENZ

DRAKE - GLEICHUNG

- Frank Drake, US Astrophysiker
- Vorgestellt 1961 in Green-Bank, SETI-Konferenz
- Auch als Green-Bank-Gleichung oder SETI-Gleichung bekannt.
- Drake-Gleichung schätzt die Anzahl extraterrestrischer intelligenter Zivilisationen in der Galaxis, die durch Radiowellen kommunizieren

EXTRATERRESTRISCHE INTELLIGENZ

DRAKE - GLEICHUNG

$$N = N_S f_P n_E f_L f_I f_C L / L_S$$

- N Anzahl intelligenter kommunizierender Zivilisationen in der Galaxis
- N_S Anzahl geeigneter Sterne in der Galaxis
- f_P Anteil der Sterne, die Planeten haben
- n_E Anzahl habitabler Planeten in CHZ pro Stern
(CHZ: Kontinuierliche habitable Zone; Entwicklung von Leben über Mrd. a möglich)
- f_L Wahrscheinlichkeit, dass sich Leben auf habitablem Planet entwickelt
- f_I Wahrscheinlichkeit, dass sich aus Leben Intelligenz entwickelt
- f_C Wahrscheinlichkeit, dass intelligente Zivilisation kommuniziert
- L Durchschnittliche Lebenszeit einer technologischen Zivilisation
- L_S Zeitspanne, während der habitable Planeten existiert haben

EXTRATERRESTRISCHE INTELLIGENZ

DRAKE - GLEICHUNG

$$N = N_S f_P n_E f_L f_I f_C L / L_S$$

⏟
⏟

N_{HP}
 f_{IC}

astronomischer Teil

biologischer Teil

N_{HP} Anzahl habitabler Planeten in Galaxis

f_{IC} Anteil habitabler Planeten, die kommunizierende Intelligenz entwickeln

EXTRATERRESTRISCHE INTELLIGENZ

Author	N_{HP}	f_L	f_I	f_C	L_S	L	N
Cameron (1963)	1×10^{10}	1	1	0.5	3×10^9	10^6	2×10^6
Sagan (1963)	1×11^{11}	1	0.1	0.1	1×10^{10}	10^7	1×10^6
Rood & Trefil (1981)	2×10^6	0.01	0.5	0.25	1×10^{10}	10^4	0.003
Goldsmith & Owen (1993)	2×10^{10}	0.5	0.75	1	8×10^9	10^6	1×10^6
The present author (2002)	4×10^6	1	1	1	1×10^{10}	10^7	4×10^3

Werte in der Drake-Formel bei verschiedenen Autoren (Ulmschneider 2006)

EXTRATERRESTRISCHE INTELLIGENZ

Wo sind die anderen?

- Alter Universum: 13,8 Mrd. Jahre
- Population erster Sterne vor 10 Mrd. Jahren
(erste Lebensbildung möglich - uns 5,4 Mrd. Jahre voraus)
- Erde existiert seit 4,6 Mrd. Jahren
- Leben seit 3,46 Mrd. Jahren
- Intelligentes Leben seit 2,5 Mio Jahren - wie lange?
- Fähigkeit zu funken seit ca. 100 Jahren

→ Zeitfenster sehr eng!

EXTRATERRESTRISCHE INTELLIGENZ

Wo sind die anderen?

Zur Zeit (Ulmschneider):

- ca. 4 Millionen habitable (terrestrische Planeten) in unserer Galaxis.

$$N_{\text{HP}} = N_{\text{S}} \cdot f_{\text{P}} \cdot n_{\text{E}} = 1,4 \cdot 10^9 \cdot 1,0 \cdot 0,003$$

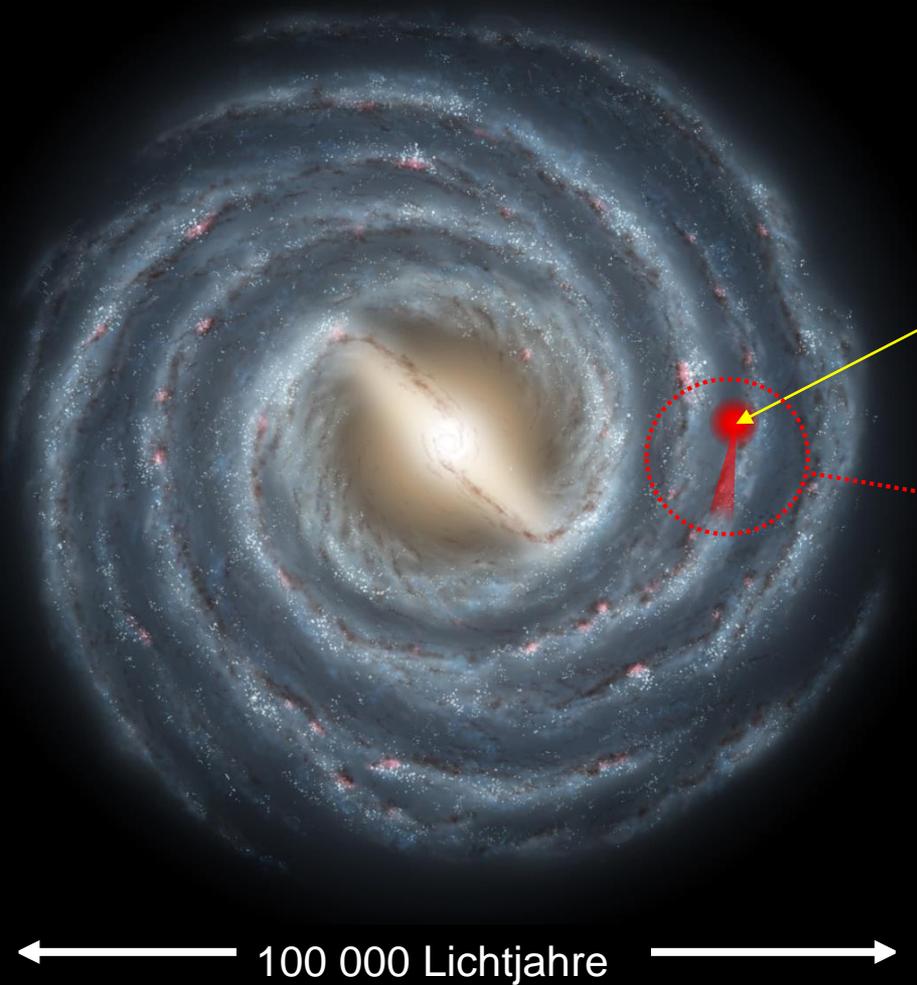
- 170 Lj durchschnittlicher Abstand zweier habitabler Planeten.
- 4000 intelligente Zivilisationen.

$$N = N_{\text{HP}} \cdot f_{\text{L}} \cdot f_{\text{I}} \cdot f_{\text{C}} \cdot L / L_{\text{S}} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 10^7 / 10^{10}$$

- 1700 Lj durchschnittlicher Abstand zweier intelligenter Zivilisationen.

Zwischen 1995 und 2005 wurden 97 Planetensysteme mit 144 Planeten entdeckt.

14 Herculis b, 16 Cygni b, 47 Ursa Majoris b, 47 Ursa Majoris c, 51 Pegasi b, 55 Cancri b, 55 Cancri c, 55 Cancri d, 55 Cancri e, 70 Virginis b, BD-10_3166 b, Epsilon Eridani b, Epsilon Eridani c, Gamma Cephei b, GJ 3021 b, GJ 436, Gliese 777A b, Gliese 86 b, Gliese 876 b, Gliese 876 c, TrES-1, HD 102117, HD 102117 b, HD 104985 b, HD 106252 b, HD 10647 b, HD 10697 b, HD 108147 b, HD 108874 b, HD 111232 b, HD 114386 b, HD 114729 b, HD 114783 b, HD 117207 b, HD 11768 b, HD 121504 b, HD 12661 b, HD 12661 c, HD 128311 b, HD 130322 b, HD 134987 b, HD 136118 b, HD 141937 b, HD 142 b, HD 142022A b, HD 142415 b, HD 147513 b, HD 150706 b, HD 154857 b, HD 160691 b, HD 160691 c, HD 160691 d, HD 16141 b, HD 162020 b, HD 168443 b, HD 168443 c, HD 168746 b, HD 169830 b, HD 169830 c, HD 177830 b, HD 178911 b, HD 179949 b, HD 183263 b, HD 187123 b, HD 188015 b, HD 190228 b, HD 192263 b, HD 195019 b, HD 196050 b, HD 19994 b, HD 202206 b, HD 20367 b, HD 2039 b, HD 208487 b, HD 209458 b, HD 210277 b, HD 213240 b, HD 216437 b, HD 216770 b, HD 217107 b, HD 219449 b, HD 222582 b, HD 23079 b, HD 23596 b, HD 2638 b, HD 27442 b, HD 27894 b, HD 28185 b, HD 30177 b, HD 330075 b, HD 33636 b, HD 3651 b, HD 37124 b, HD 37124 c, HD 37605 b, HD 38529 b, HD 38529 c, HD 39091 b, HD 40979 b, HD 41004A b, HD 4203 b, HD 4208 b, HD 45350 b, HD 46375 b, HD 47536 b, HD 49674 b, HD 50554 b, HD 52265 b, HD 59686 b, HD 63454 b, HD 6434 b, HD 65216 b, HD 68988 b, HD 70642 b, HD 72659 b, HD 73256 b, HD 73526 b, HD 74156 b, HD 74156 c, HD 75289 b, HD 76700 b, HD 80606 b, HD 82943 b, HD 82943 c, HD 83443 b, HD 8574 b, HD 88133 b, HD 89744 b, HD 92788 b, HD 93083 b, HD 99492 b, HR 810 b, Iota Draconis b, OGLE-TR-111 b, OGLE-TR-113 b, OGLE-TR-132 b, OGLE-TR-56 b, PSR 1257 a, PSR 1257 b, PSR 1257 c, PSR 1257 d, Rho CrB, Tau 1 Gruis b, Tau Boo, Upsilon Andromedae b, Upsilon Andromedae c, Upsilon Andromedae d



Unser Sonnensystem

Die meisten der seit 1996 entdeckten 4043 Exoplaneten in 3004 Sonnensystemen (Stand: 27.08.2019) befinden sich in diesem („kleinen“) Bereich: Entfernungen bis ca. 10 000 Lj

100 000 Lichtjahre

Bild: „Milky Way 2005“ von Robert Hurt/SSC/Caltech/JPL/NASA via https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Milky_Way_2005.jpg [Public Domain (PD-US-Gov)]

Planetquest (NASA): <https://exoplanets.nasa.gov/>