

# **„A Two-Tiered Approach to Assessing the Habitability of Exoplanets“**

**Nach dem gleichnamigen Artikel  
von Dirk Schulze-Makuch et al. , (2011)**

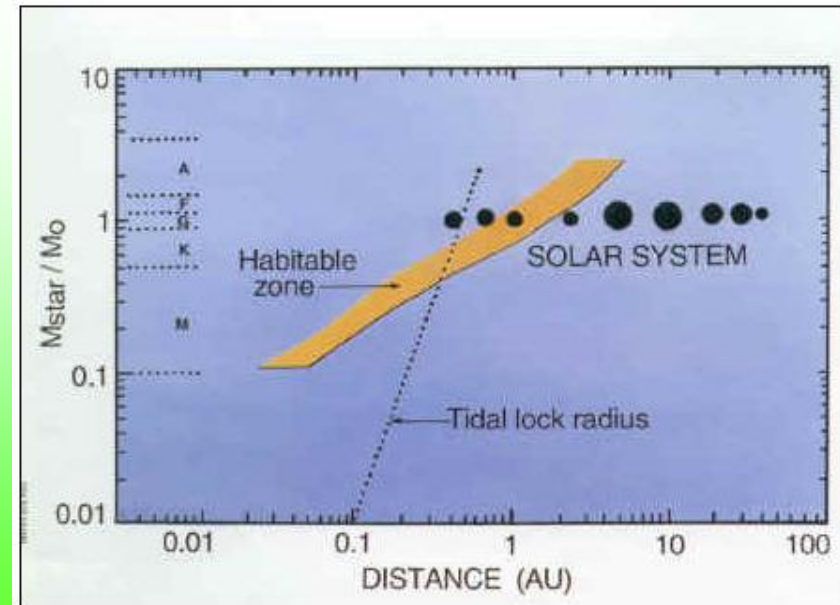
Dirk Schulze-Makuch, Abel Mendez, Alberto G. Fairen, Philip von Paris, Carol Turse,1 Grayson Boyer, Alfonso F. Davila, Marina Resendes de Sousa Antonio, David Catling, and Louis N. Irwin, (2011) A Two-Tiered Approach to Assessing the Habitability of Exoplanets. ASTROBIOLOGY Volume 11, Number 10, 2011

# Übersicht

- **Klassifizierung von Exoplaneten**
- **Earth Similarity Index (ESI)**
  - **Kriterien**
  - **Ergebnisse**
- **Planet Habitability Index (PHI)**
  - **Kriterien**
  - **Ergebnisse**
- **Schlussfolgerungen**
- **Referenzen**

# Klassifizierung von Exoplaneten

- Die klassische habitable Zone flüssigen Wassers
- Vorschlag : 2-stufiges Schema zur Erkennung der Habitabilität von Exoplaneten
  - ESI Earth Similarity Index
  - PSI Planet Habitability Index



# Parameter der Klassifikation

<i>Parameter</i>	<i>Variable</i>	<i>Astrobiological relevance</i>
Semimajor axis	$A$	Surface temperature
Eccentricity	$\varepsilon$	Seasonal variations
Orbital inclination	$I$	Seasonal variations
Orbital period (= semimajor axis)	$T_{\text{orb}}$	Surface pressure
Mass	$M$	Surface pressure and temperature
Radius	$R$	Composition
Density	$\rho$	Seasonal variations
Mean surface temperature	$T_{\text{surf}}$	Stability of liquid water
Ocean areas	—	Stability of liquid water
Atmospheric composition	—	Bioelements
Vegetation red edge	—	Habitat distribution and water cycle

# ESI Earth Similarity Index

- **Terrestrische Planeten werden so definiert:**
  - **Masse** 0.1-10 Erdmassen
  - **Dichte** 0.7-1.5 Erddichten
  - **Radius** 0.5-1.9 Erdradien \*)
  - **Gravitation kann eine eine N-Atmosphäre halten**
  - **Fluchtgeschwindigkeit** 0.4-1.4 Erd-Fluchtgeschw.
  - **Oberflächentemp** 0-50° C \*\*)

\*) nach Masse-Radius-Beziehung  
(Sotin et al. ,2007)

$$\frac{R}{R_E} = \left( \frac{M}{M_E} \right)^{0.27}$$

\*\*) für komplexes Leben

# ESI als Formel

**ESI<sub>I</sub> (Interior) , ESI<sub>S</sub> (Surface)**

$$ESI_x = \left( 1 - \left| \frac{x - x_0}{x + x_0} \right| \right)^w$$

**x** Eigenschaft eines Exoplaneten  
**x<sub>0</sub>** Eigenschaft der Erde.  
**w** Gewichtung, damit ESI  
zwischen 0 und 1

$$ESI_I = (ESI_r * ESI_\rho)^{1/2}$$

**R** Radius

**ρ** Dichte

$$ESI_S = (ESI_{v_e} * ESI_{T_s})^{1/2}$$

**v<sub>e</sub>** Fluchtgeschwindigkeit

**T<sub>s</sub>** Oberflächentemperatur

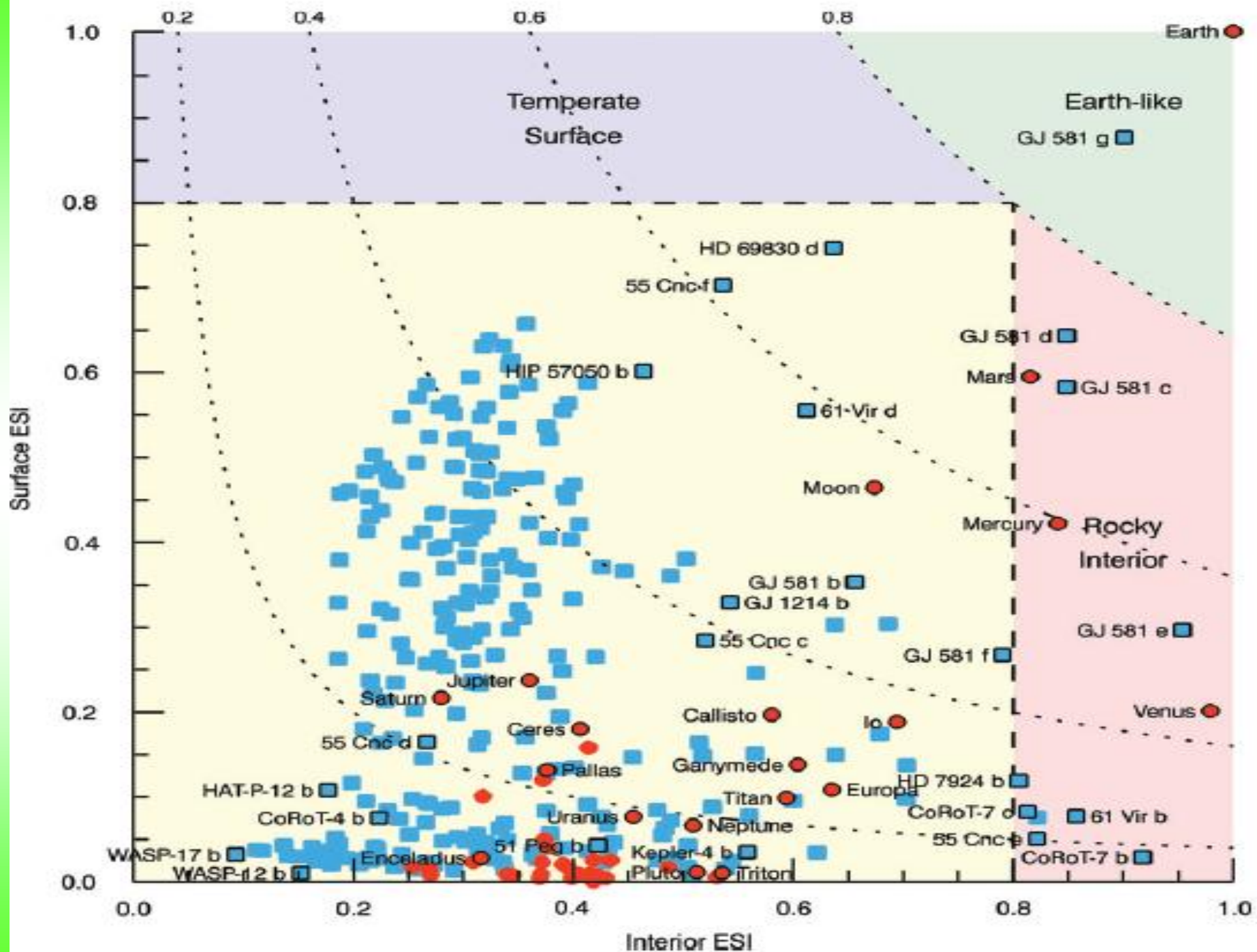
$$ESI = (ESI_I * ESI_S)^{1/2}$$

Innere und Oberflächen-  
Ähnlichkeit  
kombiniert.

# ESI Resultate

<i>Planet</i>	<i>Radius (EU)</i>	<i>Density (EU)</i>	<i>Escape velocity (EU)</i>	<i>Surface temperature (K)</i>	<i>Interior ESI</i>	<i>Surface ESI</i>	<i>Global ESI</i>
Earth	1.00	1.00	1.00	288	1.00	1.00	1.00
Mars	0.53	0.71	0.45	227	0.82	0.60	0.70
Mercury	0.38	0.98	0.38	440	0.84	0.42	0.60
Moon	0.27	0.60	0.21	220	0.67	0.46	0.56
Venus	0.95	0.95	0.93	730	0.98	0.20	0.44
Io	0.29	0.64	0.23	130	0.69	0.19	0.36
Callisto	0.38	0.33	0.22	134	0.58	0.20	0.34
Jupiter	10.97	0.24	5.38	152	0.36	0.24	0.29
Ganymede	0.41	0.35	0.25	110	0.60	0.14	0.29
Ceres	0.08	0.36	0.05	167	0.41	0.18	0.27
Europa	0.25	0.55	0.18	102	0.64	0.11	0.26
Saturn	9.14	0.12	3.23	134	0.28	0.22	0.25
Titan	0.40	0.34	0.24	94	0.59	0.10	0.24
Uranus	3.98	0.23	1.91	76	0.46	0.077	0.19
Neptune	3.87	0.30	2.11	72	0.51	0.067	0.18
Titania	0.12	0.31	0.07	60	0.43	0.025	0.10
Enceladus	0.04	0.31	0.02	75	0.32	0.028	0.094
Pluto	0.18	0.37	0.11	40	0.51	0.011	0.075
Triton	0.21	0.38	0.13	38	0.54	0.010	0.074
GJ 581 g	≥ 1.36	1.22	1.51	277	0.90	0.88	0.89
GJ 581 b	≥ 3.97	0.25	1.98	499	0.47	0.36	0.41
GJ 581 c	≥ 1.60	1.36	1.87	380	0.85	0.58	0.70
GJ 581 d	≥ 1.60	1.36	1.87	232	0.85	0.64	0.74
GJ 581 e	≥ 1.16	1.10	1.21	591	0.95	0.30	0.53
GJ 581 f	≥ 2.16	0.70	1.80	139	0.79	0.27	0.46
HD 69830 d	4.19	0.25	2.10	312	0.47	0.77	0.60
55 Cnc c	5.68	0.25	2.84	310	0.43	0.72	0.56

EU = Earth Units, where Earth's radius is 6371 km, density is 5.51 g/cm<sup>3</sup>, and escape velocity is 11.19 km/s.





# PHI Planetary Habitability Index

- **PHI...Index für die Möglichkeit/Voraussetzung von Leben**

$$PHI = (S * E * C * L)^{1/4}$$

- **S...Stabiler Untergrund (Substrate)**
- **E...ausreichend Energie**
- **C...angemessene Chemie**
- **L...flüssiges Lösungsmittel**
  
- **Maßstab für die Gewichtung der Variablen ist die Messbarkeit von der Erde aus**

# **PHI Planetary Habitability Index**

- **S...Stabiler Untergrund (Substrate)**
  - **Feste Oberfläche, Felsen oder Eis.**
  - **Feste Kerne, die Wärme radioaktiv produzieren.**
  - **Plattentektonik.**
  - **CO<sub>2</sub> - Kreislauf , stabilisiert das Klima.**
  - **Atmosphäre, mit Treibhauseffekt und als Schutz vor Strahlung,**
  - **Magnetosphäre als Schutz vor Strahlung.**

# PHI Planetary Habitability Index

- **E...ausreichend Energie**
  - **Licht, Photosynthese bis 2.5 AU (Sonne)**
  - **Wärme, Oberflächentemperatur 200 - 400K**
  - **Chem. Reaktionen zur Energiegewinnung**
  - **Gezeiten Verformung**

# PHI Planetary Habitability Index

- **C...angemessene Chemie**
  - **Erforderlichen Elemente C, H, O, N, S, P**
  - **Polymerbildung**
  
- **L...flüssiges Lösungsmittel**
  - **Liquids in Atmosphäre, an der Oberfläche oder nahe der Oberfläche**

# PHI Ergebnis

TABLE 3. FACTORS THAT AFFECT THE PROBABILITY THAT LIFE COULD EXIST ON ANY PLANETARY BODY, AS APPLIED TO PLANETARY BODIES AND SATELLITES IN OUR SOLAR SYSTEM AND TO SELECTED EXOPLANETS

Body	Substrates			Energy				Chemistry				Liquids			PHI	PHI <sub>rel</sub>
	Solid or Frozen	Atmosphere	Magnetosphere	Light	Heat	Redox chemistry	Tidal flexing	C <sub>org</sub>	N	S	P	Atmospheric	Surface	Sub-surface		
Mercury	1	0	0.1	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0.00	<b>0.00</b>
Venus	1	1	0	2	0	1	0	0.5	1	1	0	0.5	0	0	1.65	<b>0.37</b>
Earth	1	1	1	2	1	2	0.2	2	1	1	1	0.5	2	1	4.37	<b>0.96</b>
Moon	1	0	0	2	0	0	0.2	0	0	1	0	0	0	0	0.00	<b>0.00</b>
Mars	1	0.5	0	2	1	1	0	0.5	0	1	1	0	1	1	2.66	<b>0.59</b>
Ceres	1	0	0.1	1	0	0.5	0	0.5	1	0	0	0	0	0.5	1.05	<b>0.23</b>
Jupiter	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0.5	0	0	1.68	<b>0.37</b>
Io	1	0.1	0.5	1	0	1	1	0.5	0	1	0	0	0.5	0	1.38	<b>0.30</b>
Europa	1	0.1	0.5	1	0	0.5	1	0.5	1	1	0	0	0.5	1	2.22	<b>0.49</b>
Saturn	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0.5	0	0	1.68	<b>0.37</b>
Titan	1	1	1	1	0	1	0	1.5	1	0	0	0.5	2	1	2.89	<b>0.64</b>
Enceladus	1	0.1	0	1	0	0.5	0.5	0.5	1	0	0	0	1	1	1.60	<b>0.35</b>
Uranus	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0.5	0	0	1.19	<b>0.26</b>
Titania	1	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	1	0	0	0	0	0.5	0.93	<b>0.21</b>
Neptune	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0.5	0	0	1.19	<b>0.26</b>
Triton	1	0.1	0.1	0	0	0.5	0	1	1	0	0	0	0.5	0.5	1.05	<b>0.23</b>
Pluto	1	0	0	0	0	0.5	0	1	1	0	0	0	0	0.5	1.00	<b>0.22</b>
GJ 581 b	0	1	1	2	0	?	1	?	1	?	?	0.5	0	?	1.19	<b>0.29</b>
GJ 581 c	1	1	1	2	1	?	1	?	1	?	?	0.5	0.5	?	1.73	<b>0.41</b>
GJ 581 d	1	1	1	2	1	?	0.5	?	1	?	?	0.5	0.5	?	1.57	<b>0.43</b>
GJ 581 g	1	1	1	2	1	?	1	?	1	?	?	0.5	1	?	1.73	<b>0.45</b>
HD69830 d	0	1	1	2	1	?	0	?	1	?	?	0.5	0	?	1.32	<b>0.29</b>
55 Cnc c	0	1	1	1	0	?	1	?	1	?	?	0.5	0	?	1.32	<b>0.26</b>
MAX	1	1	1	2	1	2	1	2	1	1	1	0.5	2	1	4.53	<b>1.00</b>

The PHI is calculated from Eq. 5 and divided by the theoretically maximum PHI (derived from values in the bottom line) to give a relative PHI (PHI<sub>rel</sub>, Eq. 6), shown in the rightmost column in bold.

Substrate: solid (rocky) or frozen; present=1, absent=0.

Atmosphere: dense=1, thin=0.5, trace=0.1.

Magnetosphere: strong=1, moderate=0.5, little or none=0.

Light: based on equivalent AU (adjusted to luminosity of central star); equivalent AU of 0-2.5=2, equivalent AU of 2.5-10=1, equivalent AU >10=0.

Heat: average surface temperature of 200-400 K=1.

Redox chemistry: presence of oxidant and reducer=1, suspected presence=0.5, clear abundance of both=2

Tidal flexing: severe=1, substantial=0.5, small effect=0.2

Organics: presence of complex organic molecules (biomarkers)=2, presence of organic compounds in abundance=1.5, detectable=1, or in trace or suspected amounts=0.5.

Compounds of N, S, P: known to be present=1.

Liquids, atmospheric: liquids possible at known temperatures in atmosphere=0.5.

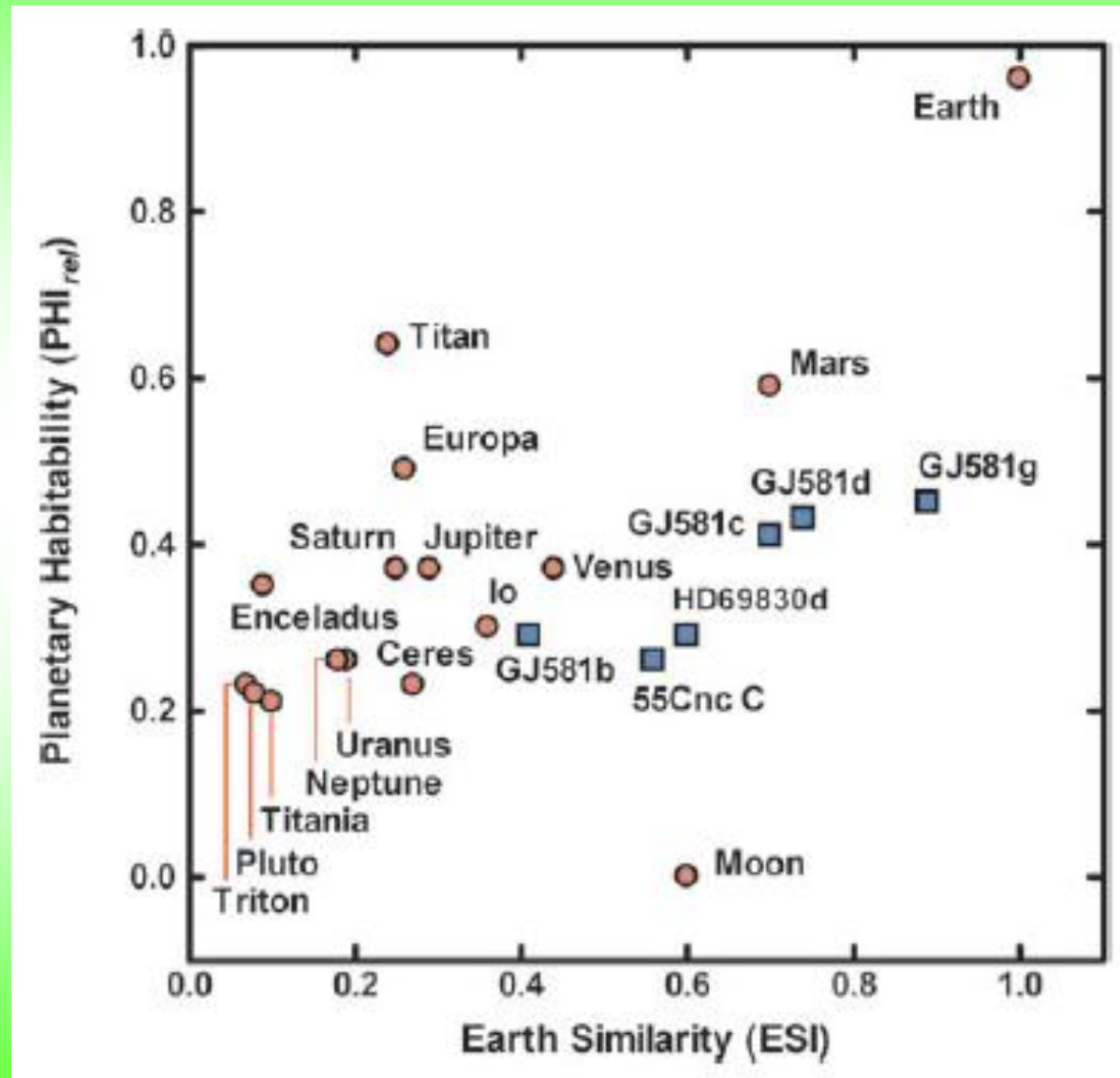
Liquids, surface: known to be present=2, known to be emitted or transiently present=1, possibly present=0.5.

Liquids, subsurface: liquid solvents beneath the surface; known or likely to be present=1, possibly present=0.5.

# PHI Ergebnis

<i>Body</i>	<i>PHI</i>	<i>PHI<sub>rel</sub></i>
Mercury	0.00	0.00
Venus	1.65	0.37
Earth	4.37	0.96
Moon	0.00	0.00
Mars	2.66	0.59
Ceres	1.05	0.23
Jupiter	1.68	0.37
Io	1.38	0.30
Europa	2.22	0.49
Saturn	1.68	0.37
Titan	2.89	0.64
Enceladus	1.60	0.35
Uranus	1.19	0.26
Titania	0.93	0.21
Neptune	1.19	0.26
Triton	1.05	0.23
Pluto	1.00	0.22
GJ 581 b	1.19	0.29
GJ 581 c	1.73	0.41
GJ 581 d	1.57	0.43
GJ 581 g	1.73	0.45
HD69830 d	1.32	0.29
55 Cnc c	1.32	0.26
MAX	4.53	1.00

# ESI-PHI Ergebnis



# Schlussfolgerungen

- ESI gibt Hinweis auf Erd-Ähnlichkeit.
- Auswahl der Parameter (Radius, Dichte, Fluchtgeschwindigkeit, Oberflächentemperatur) ermöglichen einen schnellen Überblick.
- PHI zeigt die Möglichkeit von Erd-ähnlichem Leben an.
- Andere Lebensformen sind (derzeit) nicht erfassbar.
  
- ESI, PHI als Versuch, die Exoplaneten to kategorisieren.
- Die Ergebnisse sind tw. überraschend und werden durch techn. Entwicklung sicher besser.



# Referenzen

Kasting, J.F. and Catling, D. (2003) Evolution of a habitable planet. *Annu Rev Astron Astrophys* 41:429–463.

Sotin, C., Grasset, O., and Mocquet, A. (2007) Mass-radius curve for extrasolar Earth-like planets and ocean planets. *Icarus* 191:337–351.

An aerial view of a Mars landing site. Several parachutes are visible in the sky, some fully deployed and some partially. The ground is a reddish-brown desert landscape with rocky terrain. A rover is visible on the ground in the foreground, and a lander is visible in the distance. The text "Danke für die Aufmerksamkeit" is overlaid in the center of the image.

Danke für die  
Aufmerksamkeit

**Backup**

# Klassifizierung von Exoplaneten

Auf Basis von bekannte und messbare Eigenschaften der (Exo)Planeten:

- Halbachse
- Exzentrizität
- Inklination
- Periode
- Masse
- Radius
- Dichte
- Oberflächentemperatur
- Bereiche der Ozeane
- Zusammensetzung der Atmosphäre
- „rote Kante“ der Vegetation