

# Suche nach Leben

(SETI und die Folgen)

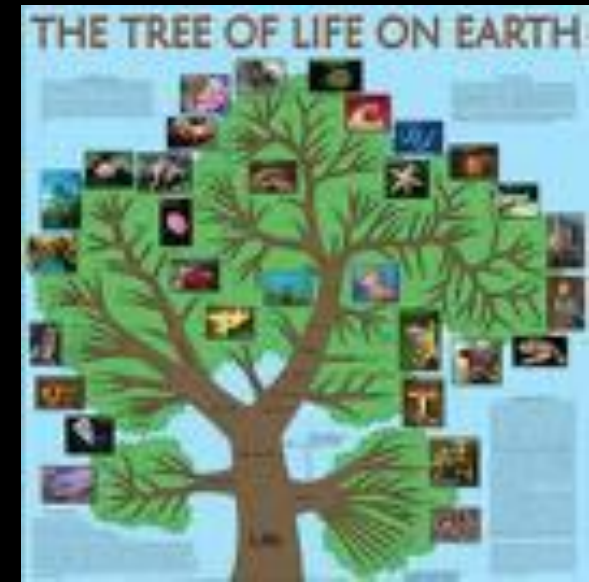


**Dirk Schulze-Makuch**

Zentrum für Astronomie und Astrophysik, Technische Universität Berlin

GFZ / IGB / School of the Environment, Washington State University

# Startpunkt: Erde



# Erste Station: Venus

Oberflächentemperatur: ~ 450°C,  
Druck: ~ 92 bar  
→ kein Leben möglich  
(zumindest nicht heute)

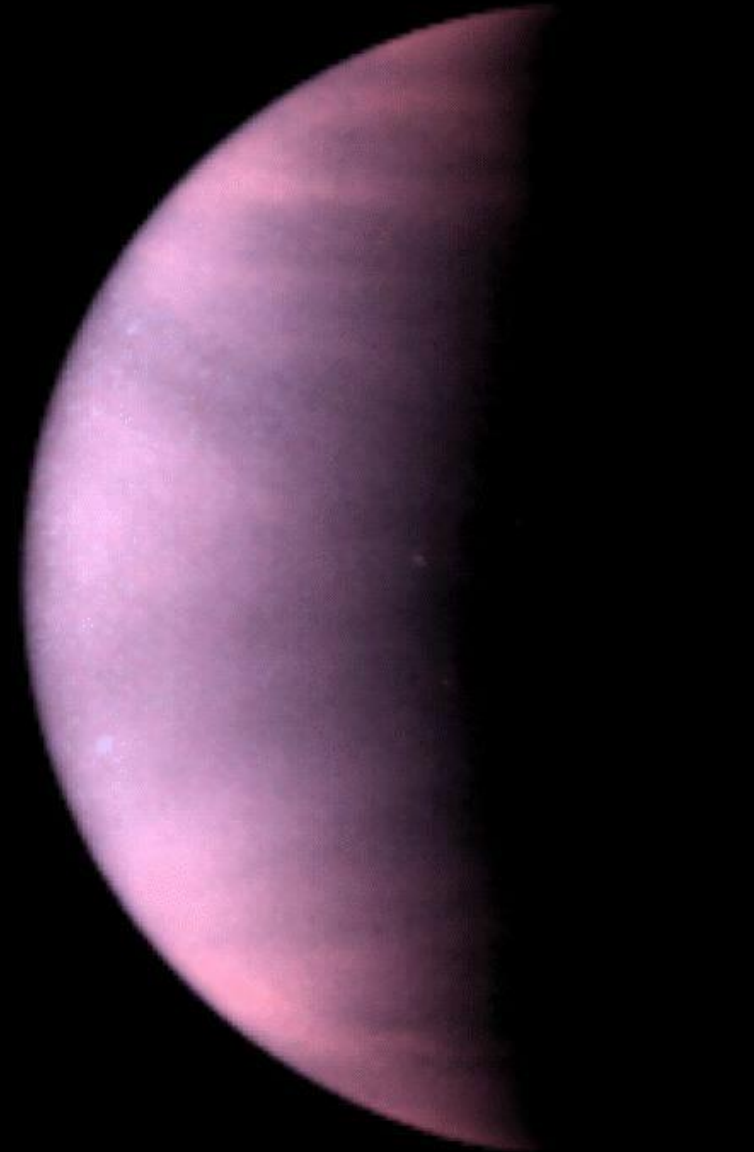
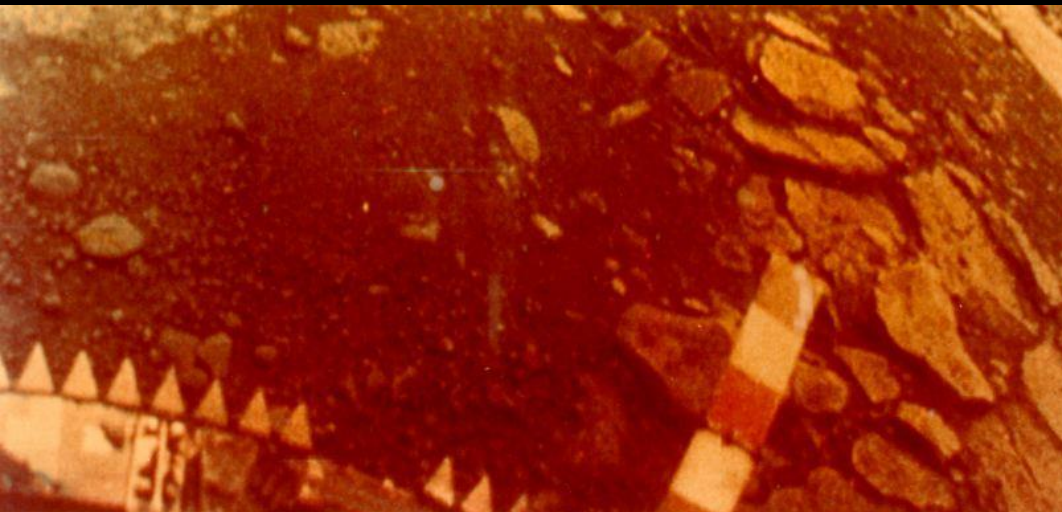


Bild von der Sowjetischen Sonde Venera 13

**Aber durchaus möglich vor etwa 4 Milliarden Jahren**

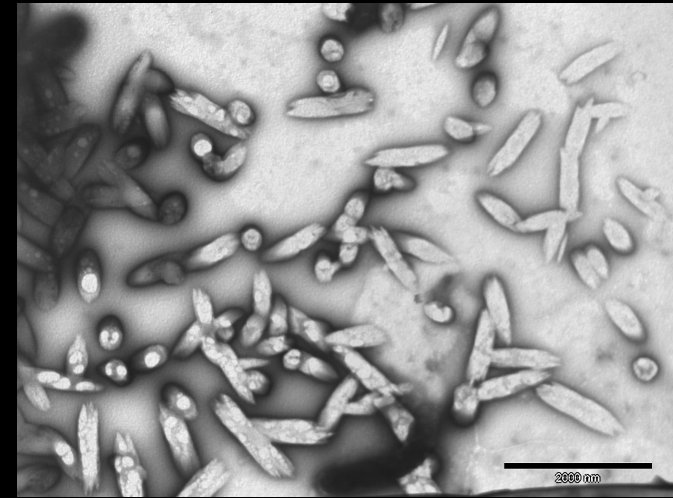
**Viele Indizien weisen auf einen frühen warmen Ozean hin,  
der für Hunderte von Millionen Jahren existiert hat -  
mit ähnlichen Bedingungen wie auf der frühen Erde**



# Könnte Leben auf der Venus sich an diese Bedingungen anpassen und noch heute dort leben?

## Bedingungen in der Venus Atmosphäre (50 km)

- a. Temperatur: 30 – 80°C
- b. Druck: ~ 1bar
- c. pH: ~ 0
- d. Wasser, etwa bis zu 0.05%



Toleranz von extremen pH und heißen Temperaturen ist durchaus möglich:

Der thermoacidophile *Acidianus infernus* wächst am Besten bei Temperaturen von 88°C and einem pH-Wert von 0.5 bis 5.5

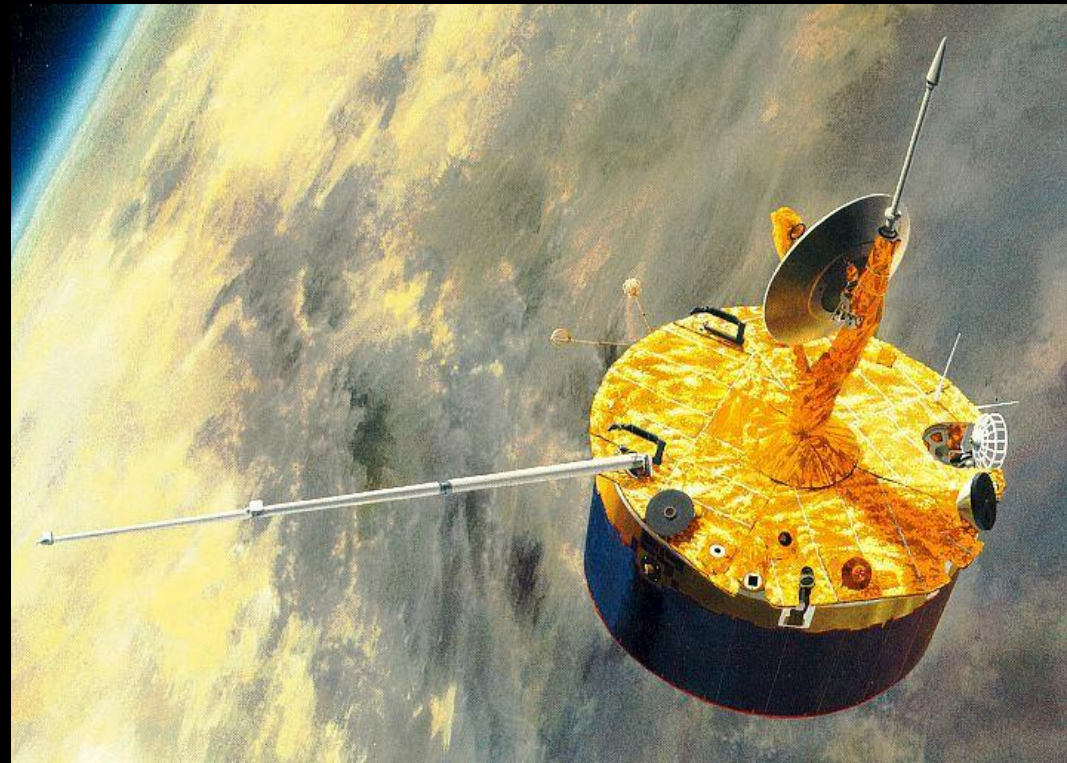
# Wie können wir die Hypothese von Leben in der Venusatmosphäre testen?

Phosphan in der Atmosphäre?

**Die direkteste Methode wäre es mit einer Sonde die Mode 3 Partikel zu knacken und zu analysieren - ob diese organisches Material enthalten**

**Pioneer Sonde**

Das Instrument welches dies machen sollte versagte leider in den 80er Jahren

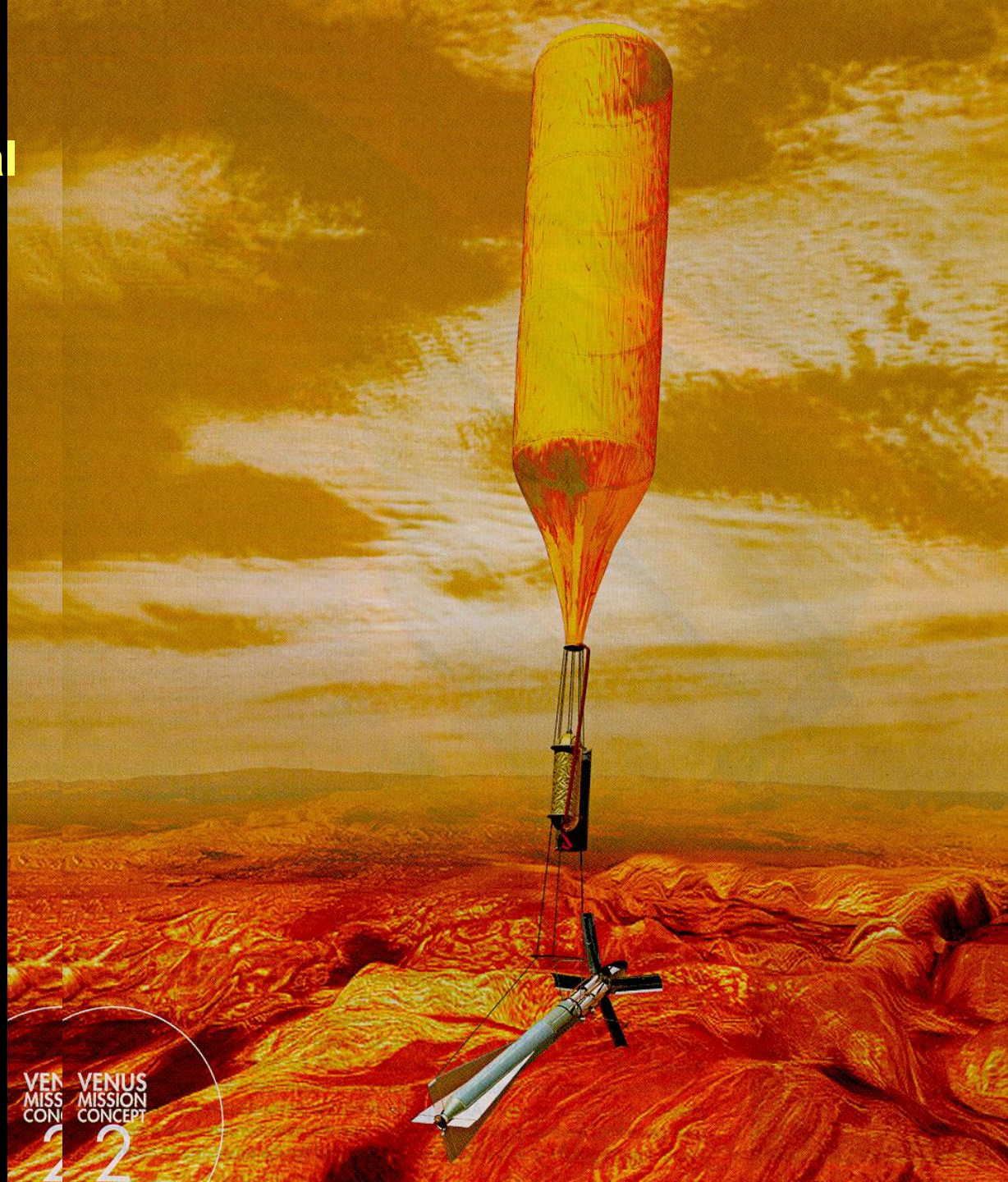


# Unser Vorschlag:

## Mode 3 Particle Retrieval Mission to Venus

Um diese offene Frage zu lösen

- Orbiter 150 km über dem Planeten
- Orbiter läßt Probenbehälter und Ballon frei
- Probenbehälter schwebt mit Ballon in der unteren Wolkendecke und sammelt Mode 3 Partikel via Aerogel ein
- Rakete am Probenbebehälter bringt Partikel zum Orbiter zurück
- Orbiter fliegt zurück zur Erde und dockt mit ISS um Proben zu analysieren

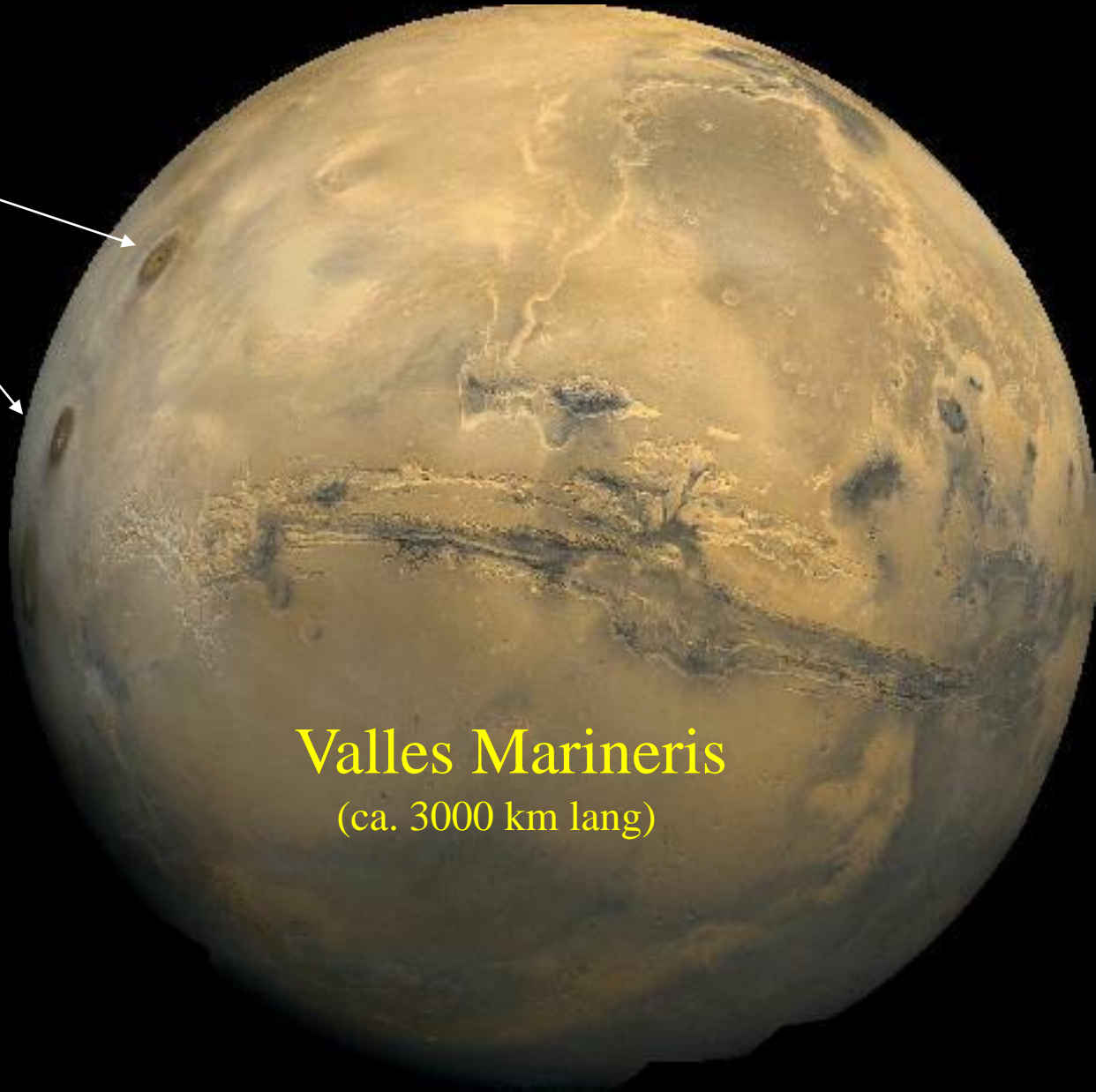


VENUS  
MISSION  
CONCEPT

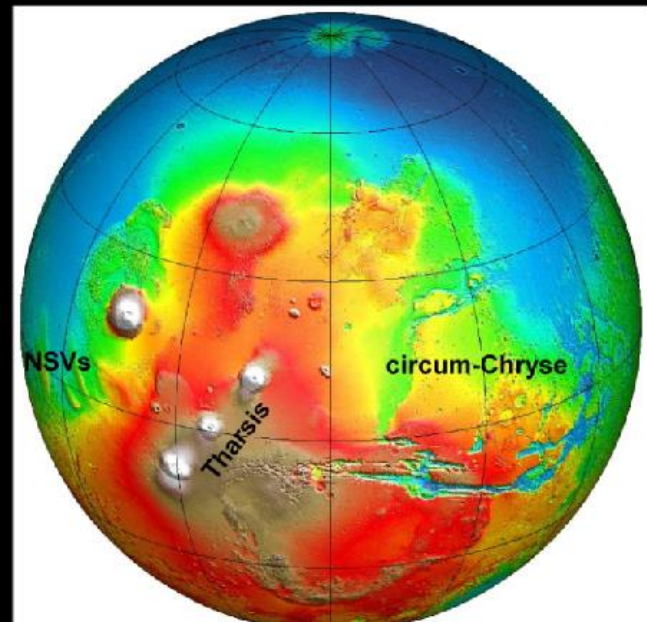
22

# Wasser und Leben auf dem Mars?

Tharsis Vulkane

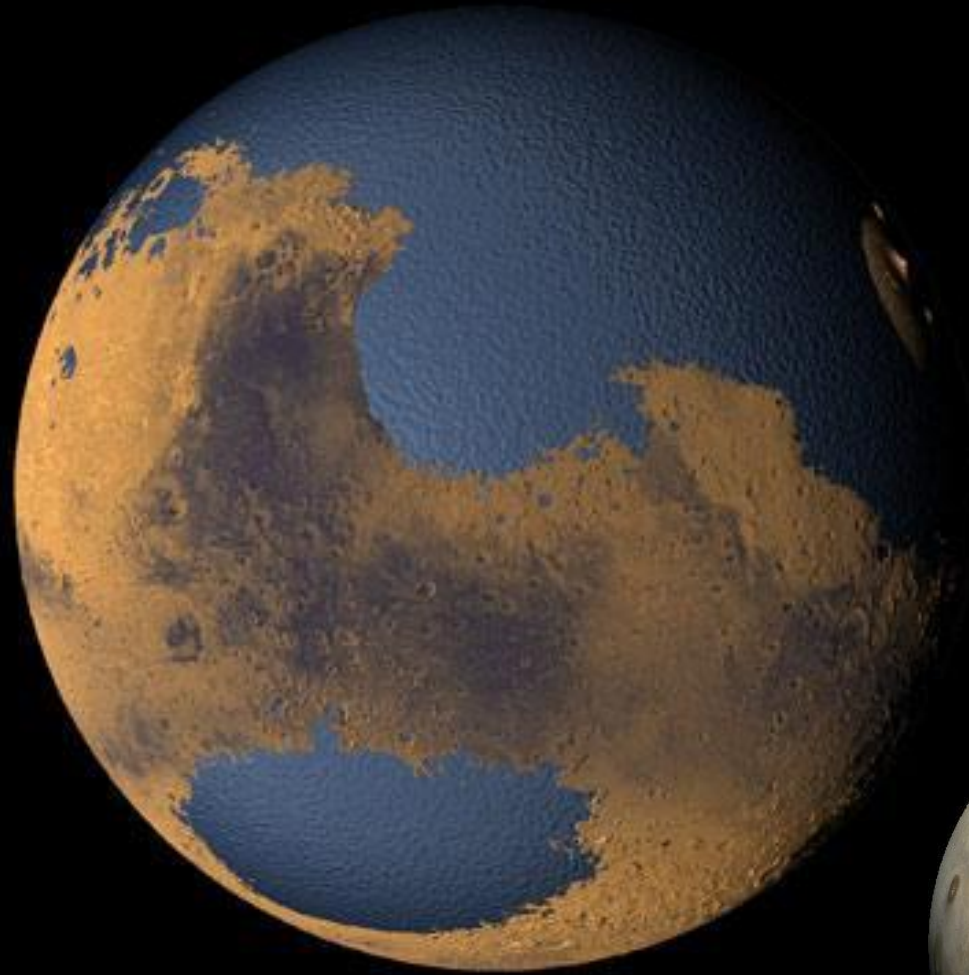


Valles Marineris  
(ca. 3000 km lang)

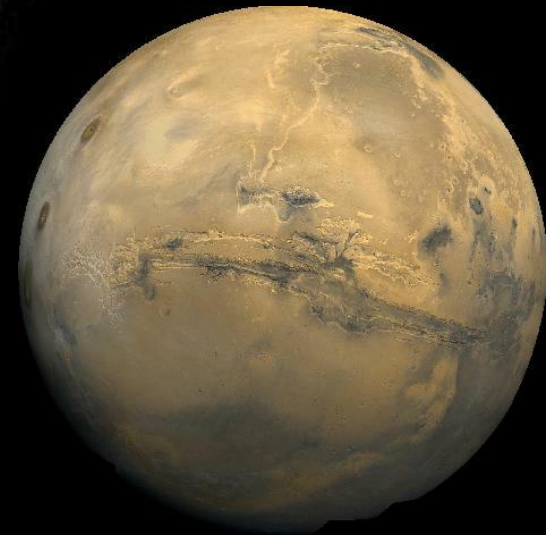




# Mars – vor 4 Milliarden Jahren



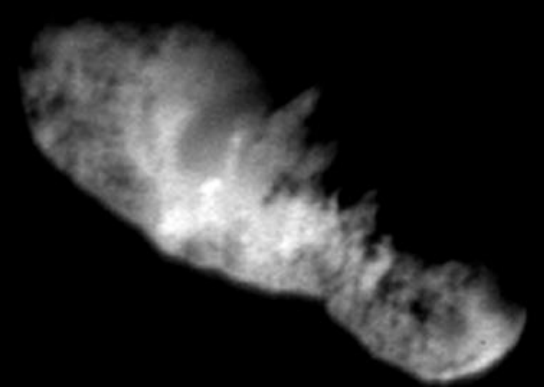
**Mars - heute**



# Leben auf der Mars vor 4 Milliarden Jahren?

**Und wieder können wir uns fragen:**

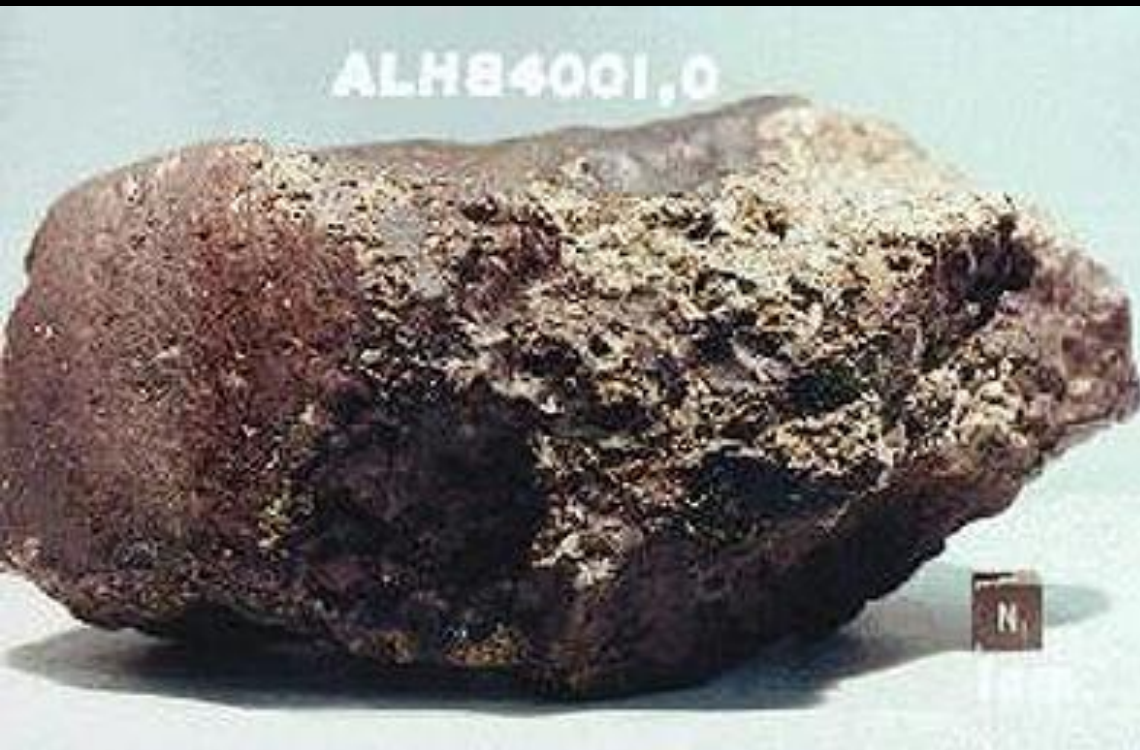
- Ist das Leben separat auf dem Mars entstanden (ähnliche Bedingungen auf der frühen Erde und Mars)
- Oder wurde das Leben von der frühen Erde zum frühen Mars mit Hilfe von Meteoriten transportiert (oder umgekehrt?!)



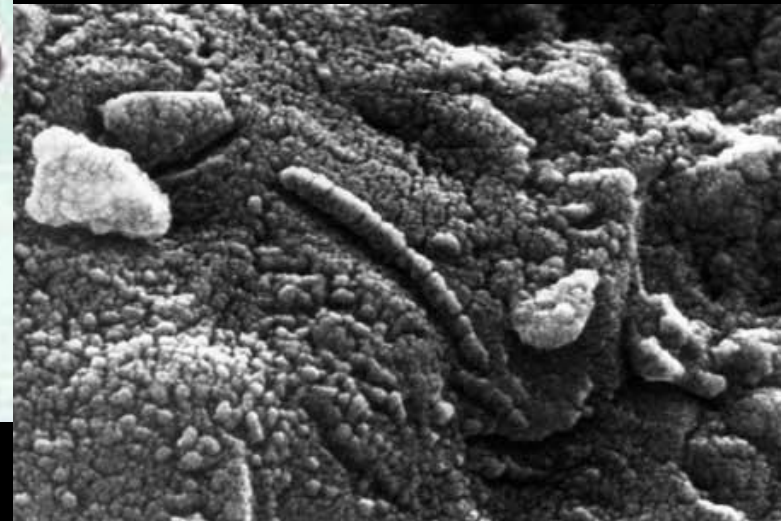
**Und wir wissen nun das Bakterien  
Transport im Weltall überleben können**

# Aber für Mars haben wir viel mehr Indizien:

## 1. Meteoriten von Mars: ALH84001, Nakhla, etc

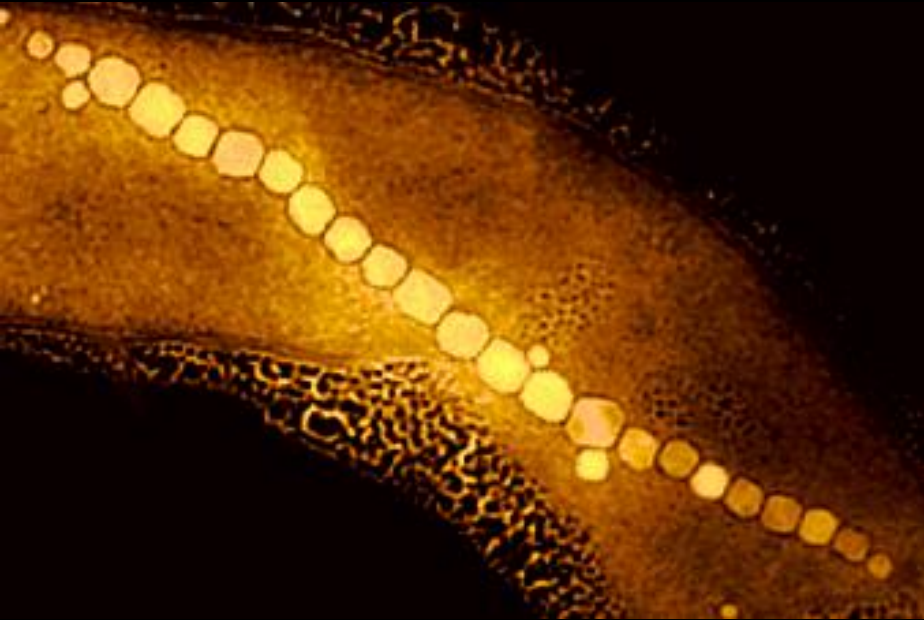


Dünnschliff, Vergrößerung:



Ein Gesteinsbrocken von Mars, ungefähr 4 Milliarden Jahre alt, der organische Stoffe enthält und vielleicht sogar Spuren von extraterrestrischen Leben

# Magnetite and Magenitketten in ALH84001 typisch für magnetotaktische Bakterien auf der Erde



Magnetitkette in ALH84001



Magnetitkette in Bakterium von Kelly Lake, Kanada

Image Credit: Alfonso Davila, NASA Ames

## 2. Leben in Analog-Wüsten auf der Erde

Atacamawüste

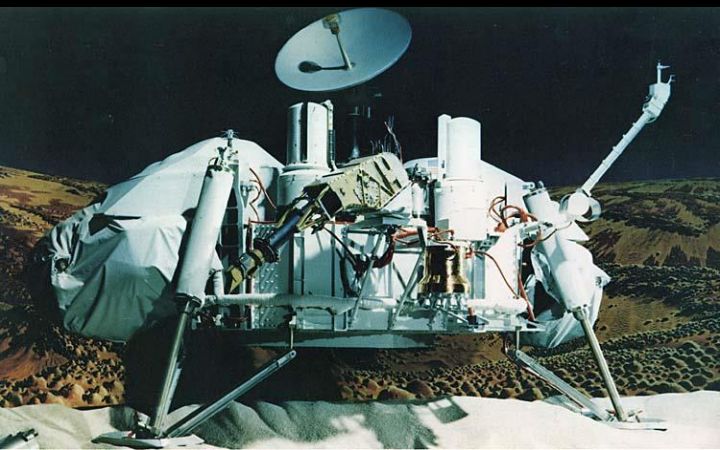
Such nach Mikrohabitaten



### 3. Re-Interpretation der Viking Mission Resultate

Hypothese von Extremophilen Bakterien auf dem Mars, welche eine Wasserstoffperoxid-Wasser Mischung als Zellplasma benutzen (Houtkooper and Schulze-Makuch, 2007)

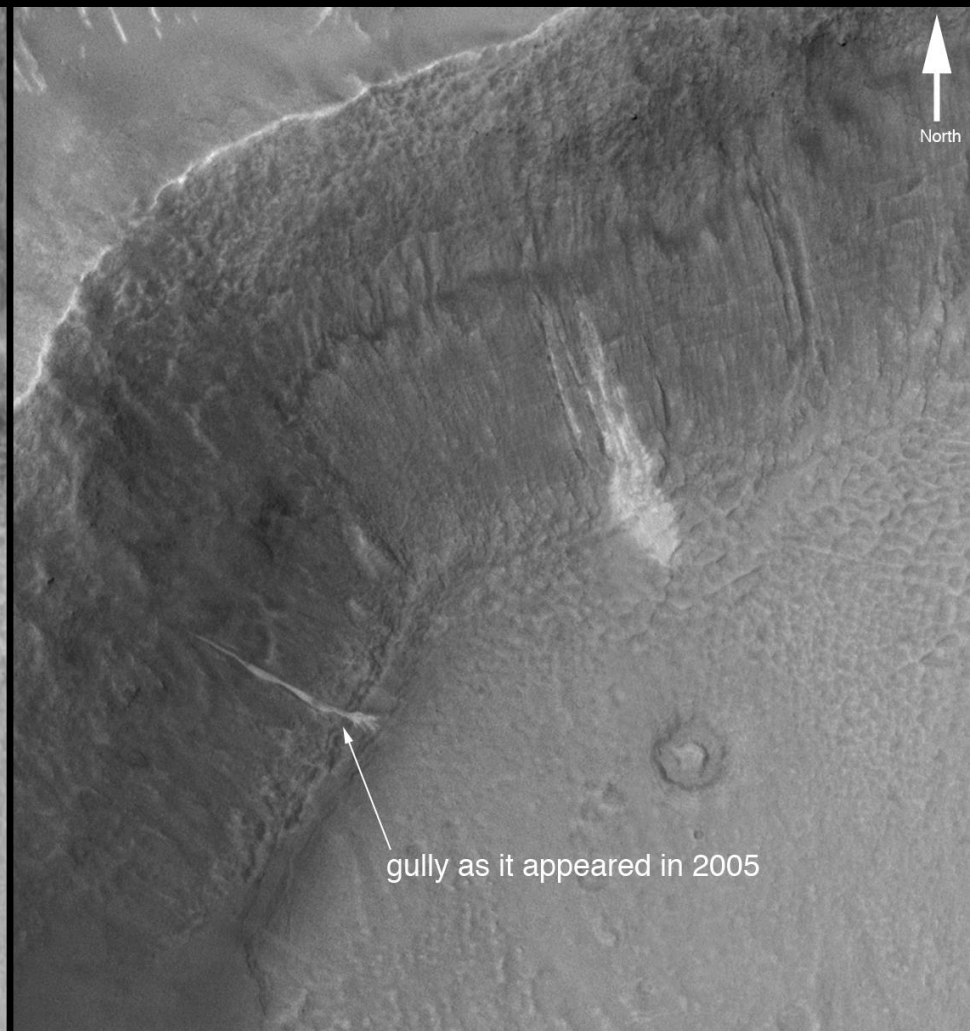
- Die Mischung erniedrigt den Gefrierpunkt von Wasser bis hinunter zu  $-56.5^{\circ}\text{C}$
- Die Mischung unterkühlt (supercools) und formt keine Eiskristalle
- Die Mischung ist hygroskopisch (wie Honig oder bestimmte Salze) und zieht Wasser aus der Atmosphäre an
- Die Mischung ist ein Reservoir von Sauerstoff



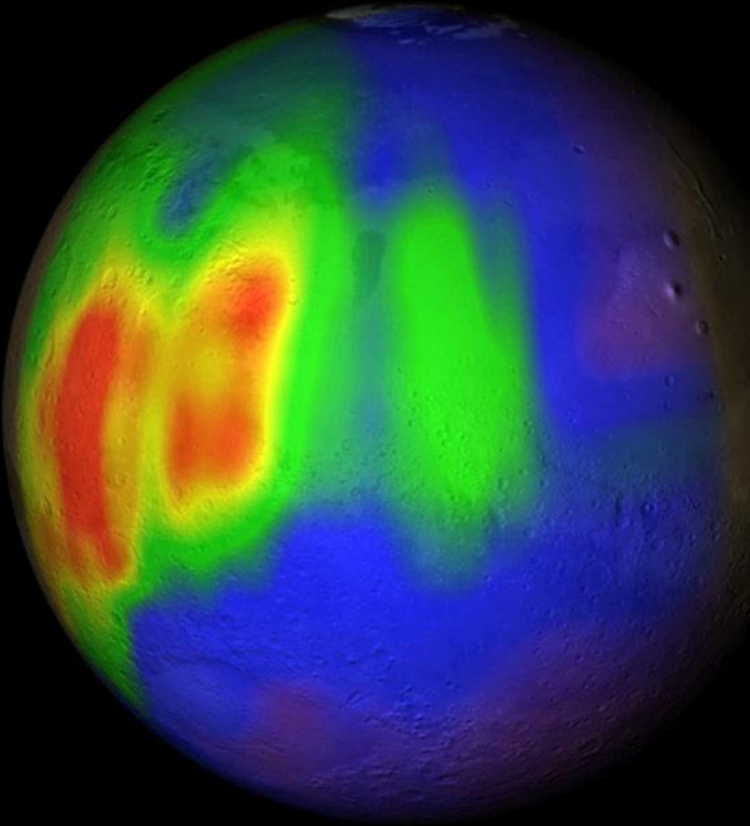
Möglicher Stoffwechsel (Photosynthese/Chemosynthese):



## 4. Wasser, Wasser überall! – Selbst heute noch !



## 5. Methan-Gas in der Atmosphäre von Mars

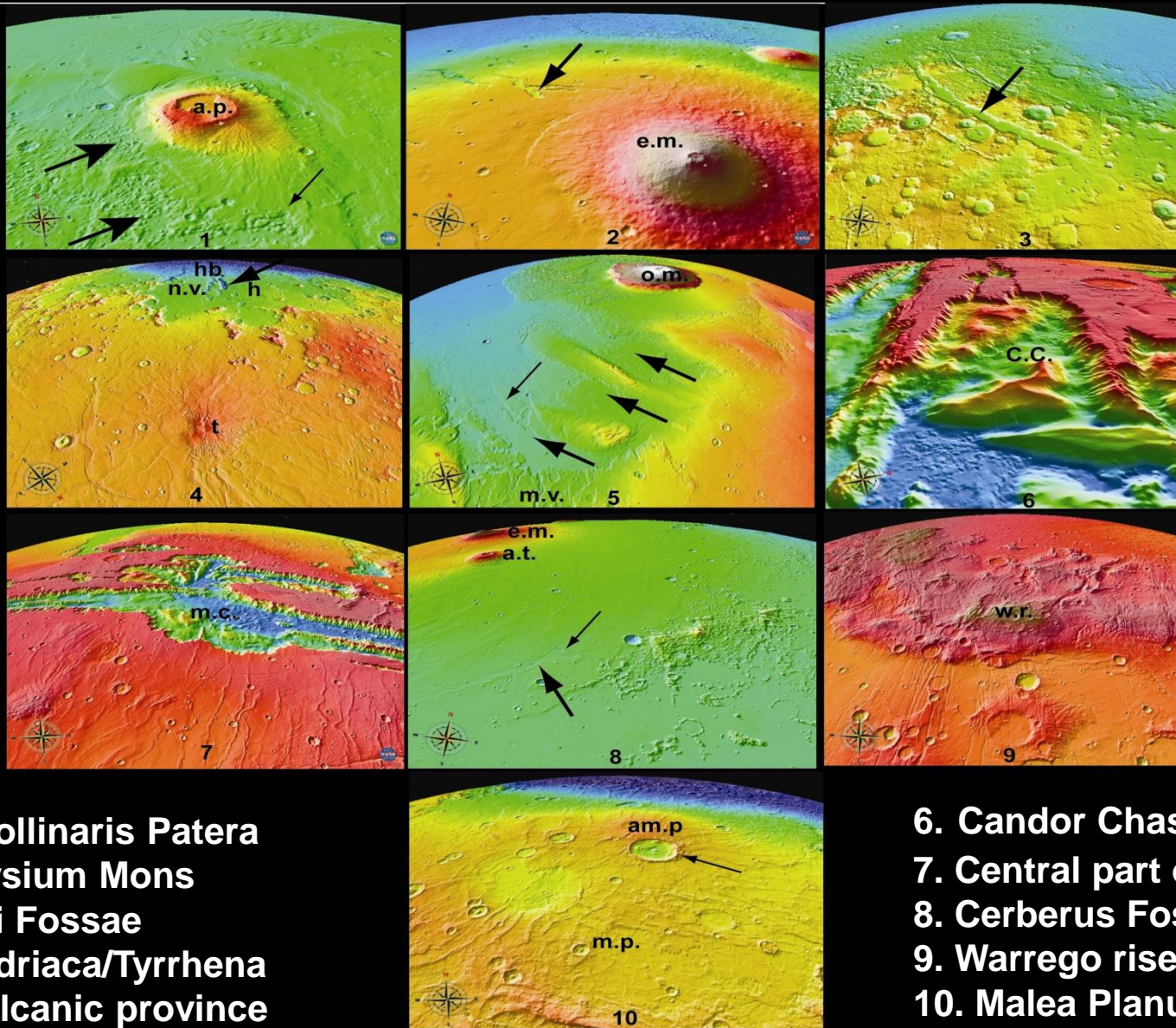


- da Vulkane Kohlendioxid entgasen und nicht Methan ist eine inorganische Erklärung unwahrscheinlich
- Wahrscheinlichste Erklärung ist das das Methan von Mikroben produziert wurde (Methanstoffwechsel), die entweder vor 4 Milliarden Jahren das Methan produziert haben (und es in Eis festgefroren war) oder noch heute aktiv sind

**Wir haben so viel Methan gefunden wie einige tausend Kühe pro Jahr produzieren würden!**



# Wo würden wir auf dem Mars nach Leben suchen?



1. Apollinaris Patera
2. Elysium Mons
3. Nili Fossae
4. Hadriaca/Tyrrhena volcanic province

5. Northwestern Slope Valleys (NSVs)

6. Candor Chasma
7. Central part of Valles Marineris
8. Cerberus Fossae
9. Warrego rise
10. Malea Planum

Schulze-Makuch et al. (2007, in *Icarus*)

# Und wie wollen wir weiter Mars erforschen wir und beweisen das Leben auf dem Mars existiert?

Die derzeitige Missionen sind der Curiosity Rover (MSL)  
und der Perseverance Rover

um die Habitabilität  
zu testen



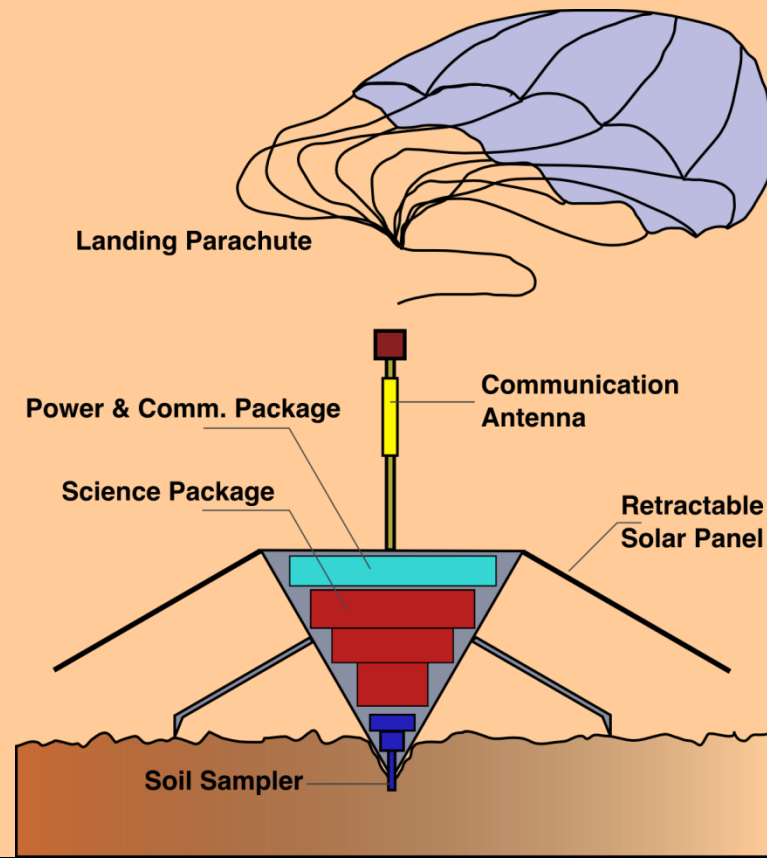
~~ExoMars 2022?~~

**Mehr ausgerichtet um  
Leben auf dem Mars zu  
finden (mit Bohrer)**

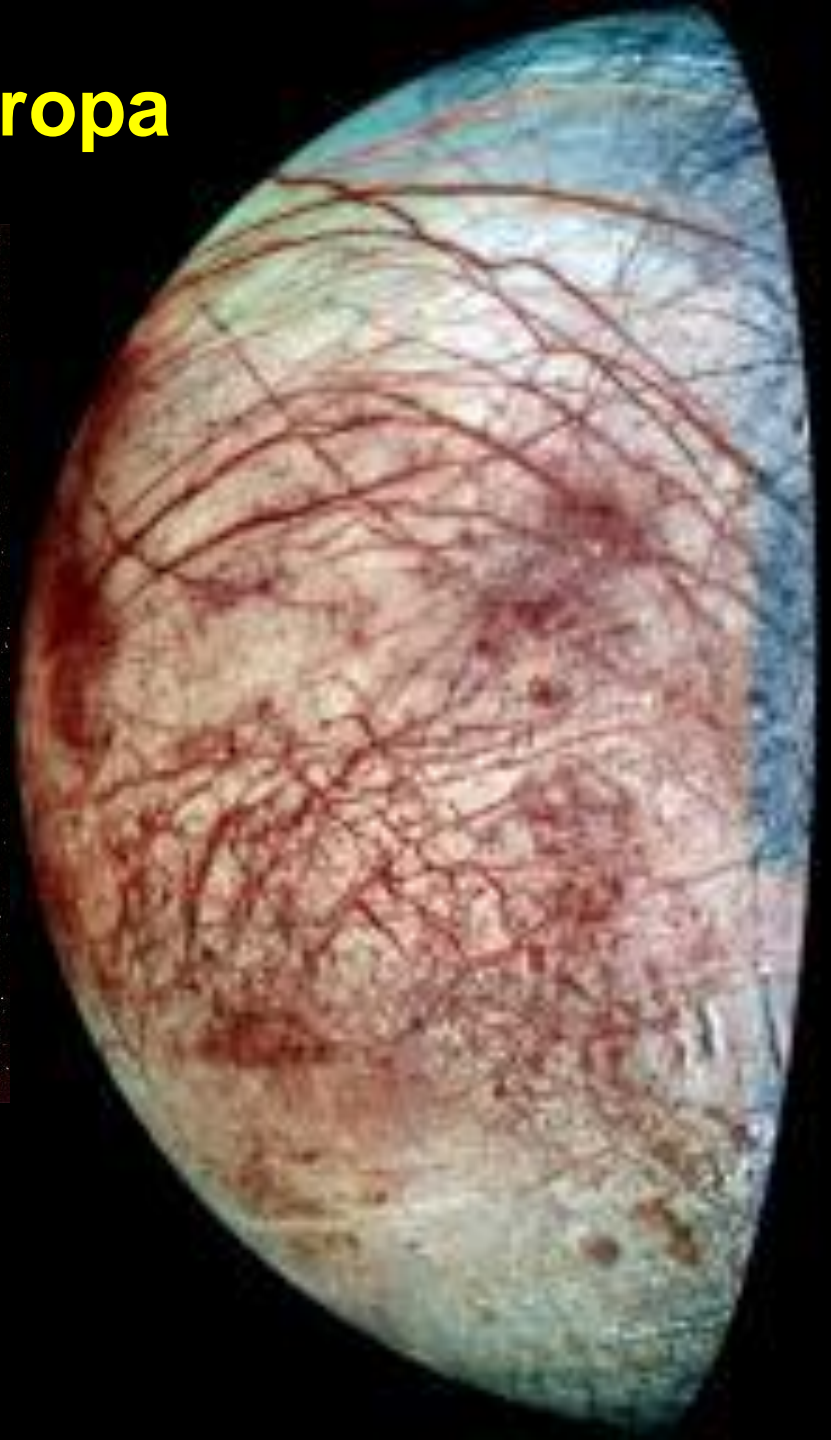
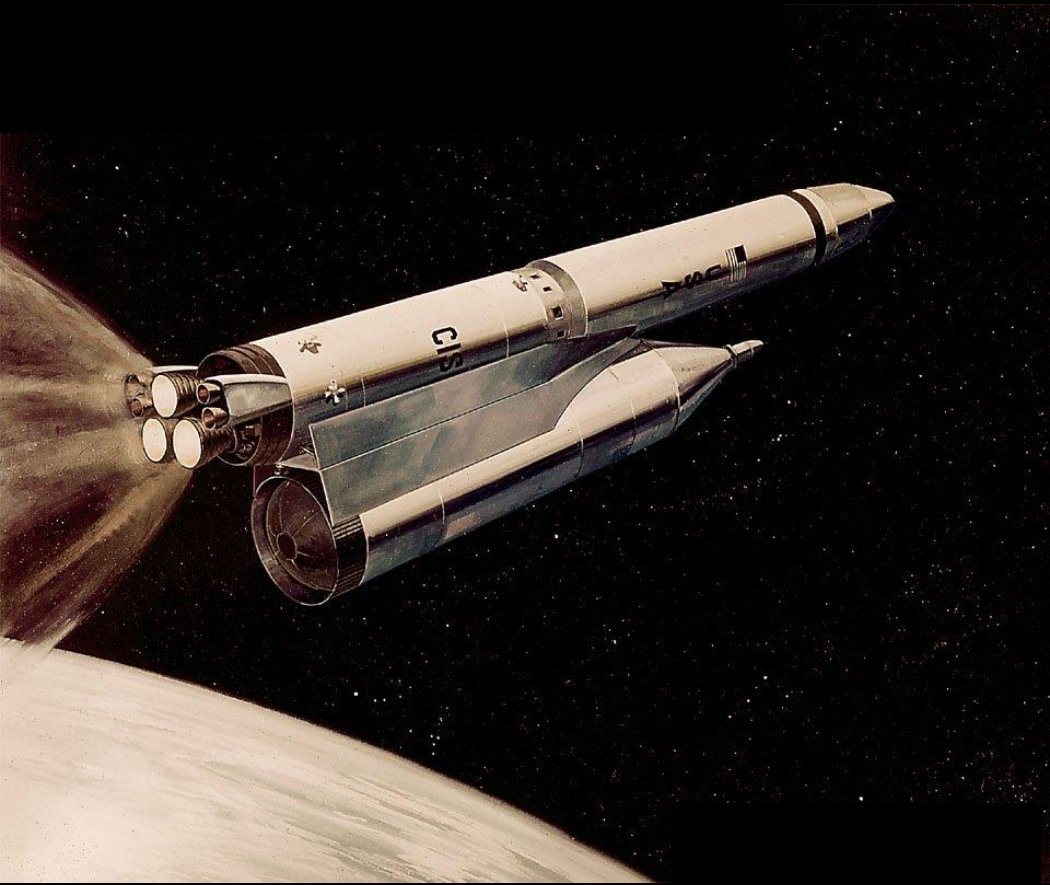


# Biological Oxidant and Life Detection (BOLD) Mission

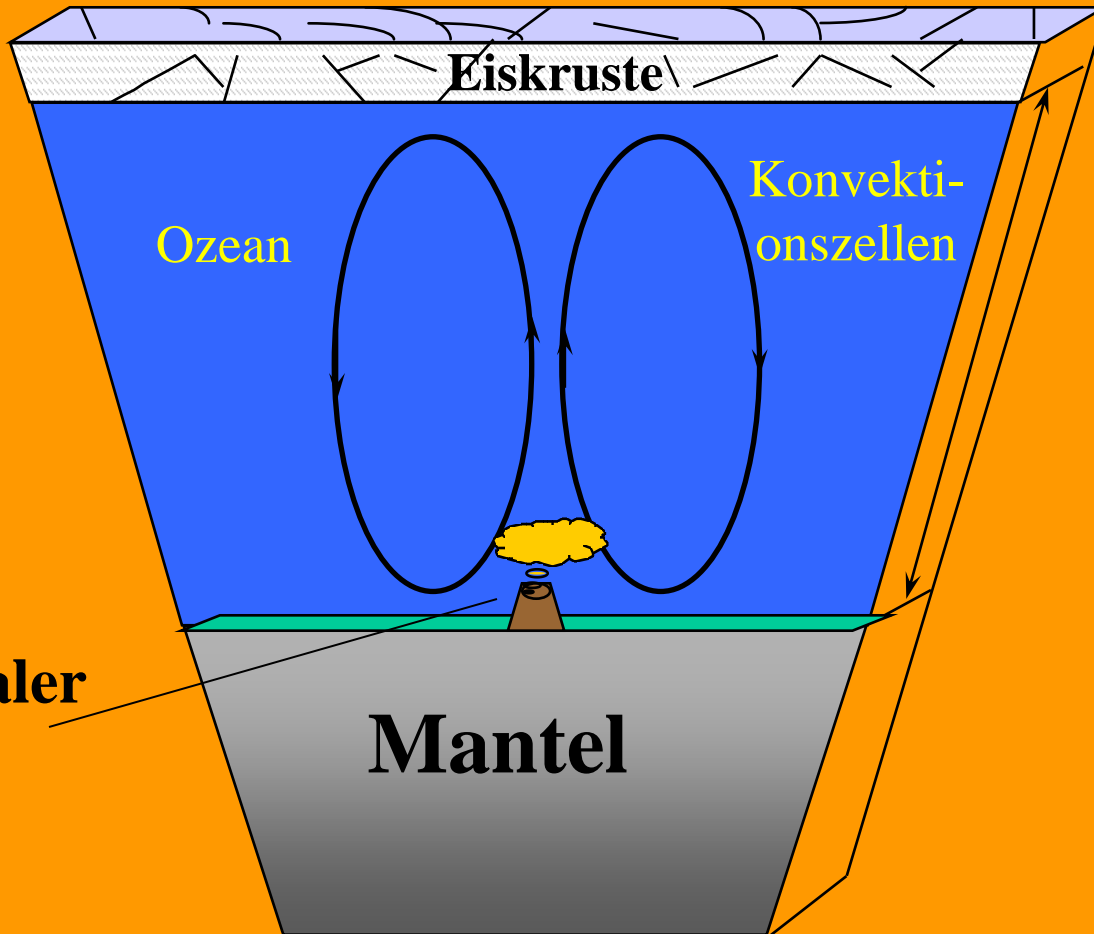
- Launcher mit 6 Sonden
- Kommunikation mit einem der Mars Orbiter
- Multispectral Microscopic Imager Experiment, Fluorescent Stain Experiment, Nanopore-ARRAY Experiment, Chirality Experiment, Hydrogen Peroxide Experiment, und Environmental Sensors



# Nächste Station: Europa



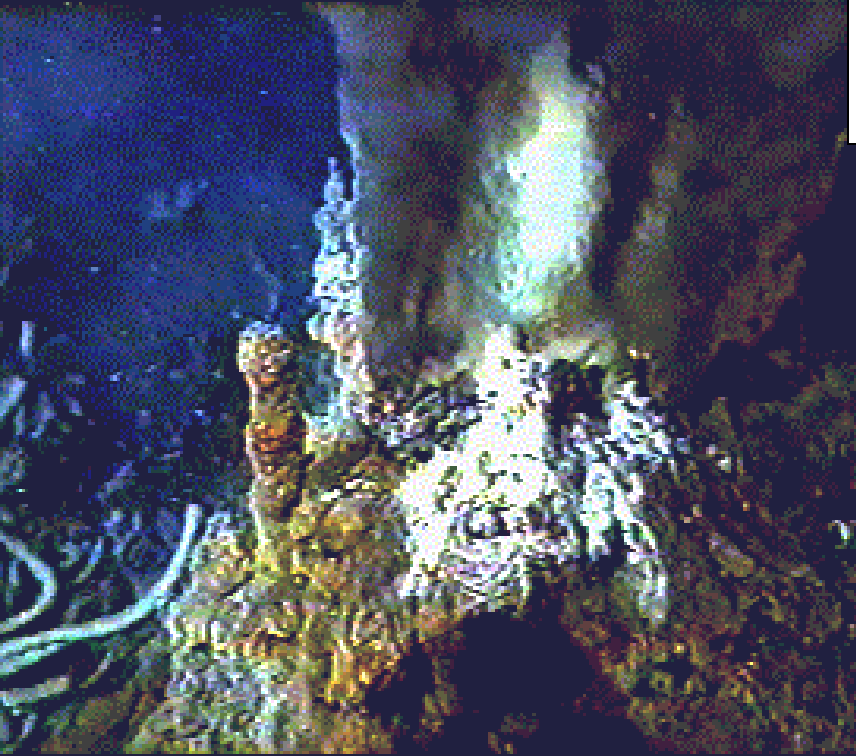
# Europa – ein Ozean unter der Eiskruste



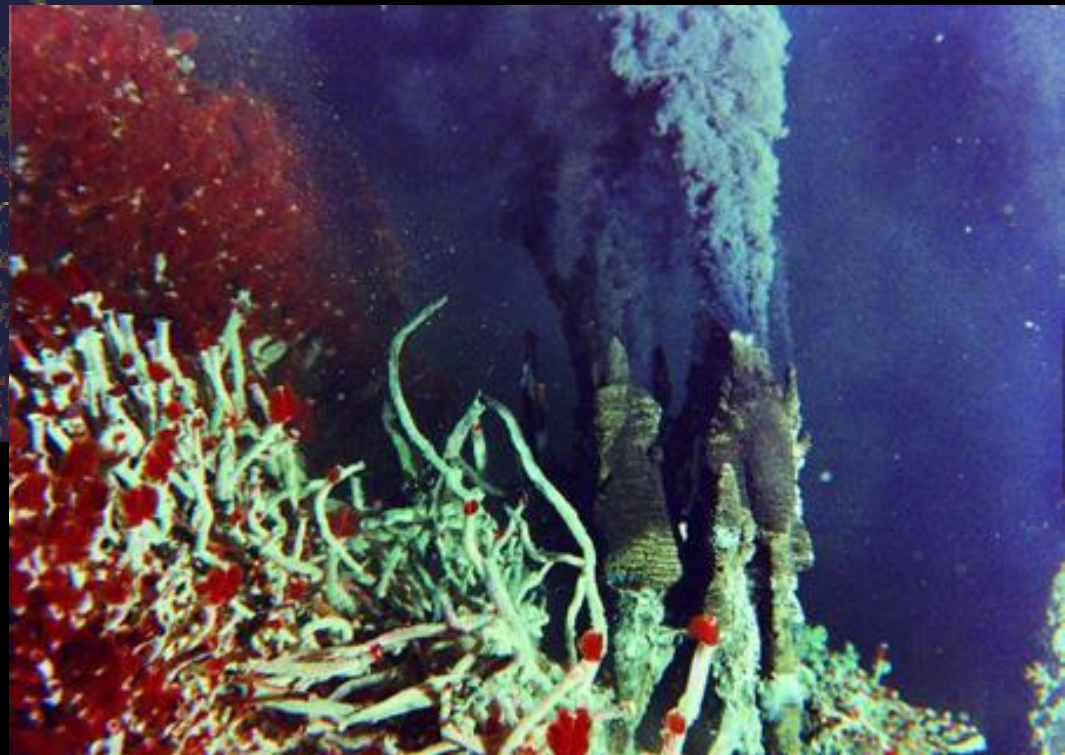
**Hydrothermaler  
Vent**

**Mantel**

# Vielleicht sogar Ökosysteme mit (einfachen) mehrzelligen Leben?



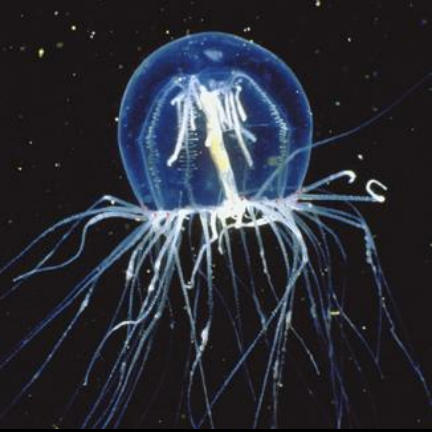
<http://www.ocean.udel.edu/kiosk/images/smoker.gif>



[http://www.bact.wisc.edu/themicrobialworld/Hydrothermal\\_vent.jpg](http://www.bact.wisc.edu/themicrobialworld/Hydrothermal_vent.jpg)



<http://www.rps.psu.edu/0301/graphics/deep01.jpg> [textbookofbacteriology.net/themicrobialworld](http://textbookofbacteriology.net/themicrobialworld)



**Auf der Erde haben wir seltsame Lebewesen in der Tiefsee:**





**Könnten diese Analoge sein?**



**Viper Fisch**



**Qualle (Comb Jelly)**



**Tiefseekalmar (squid)**

© DeepSeaPhotography.com



**Tiefseetintenfisch**

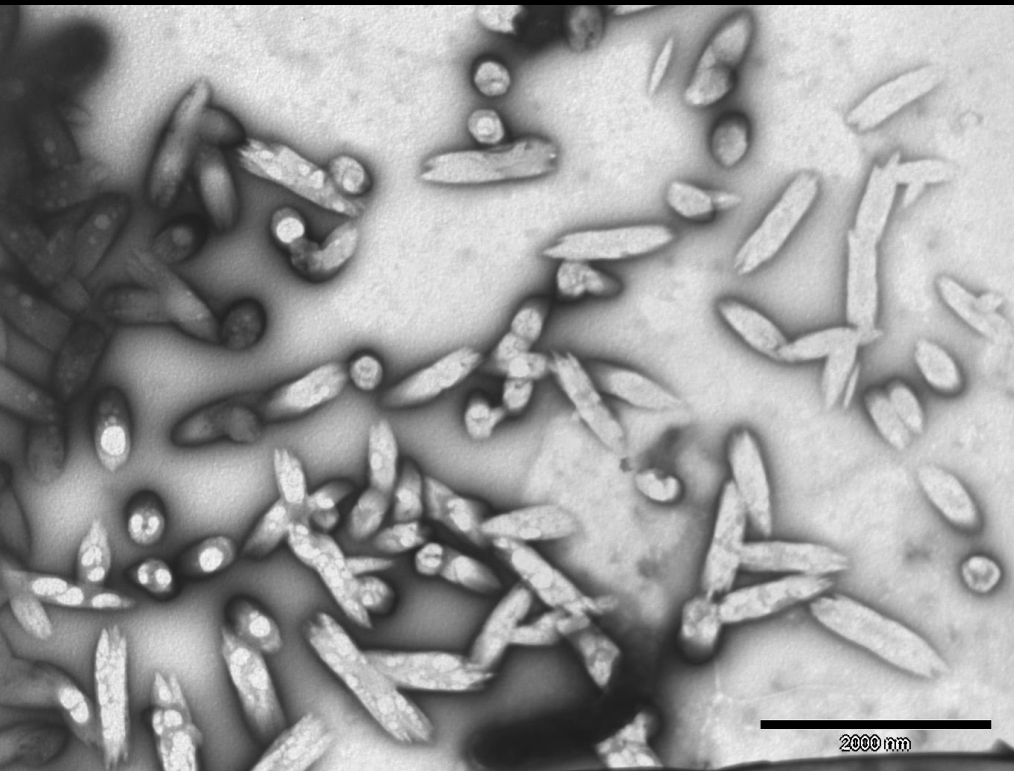
© exploretheabyss.com



**Grenadierfisch (häufig wo die Titanic gesunken ist)**

**Vielleicht auf anderen Welten außerhalb unseres Sonnensystems,**

**unter der Eisdecke Europas, Ganymedes und anderer Monde nicht mehr als:**



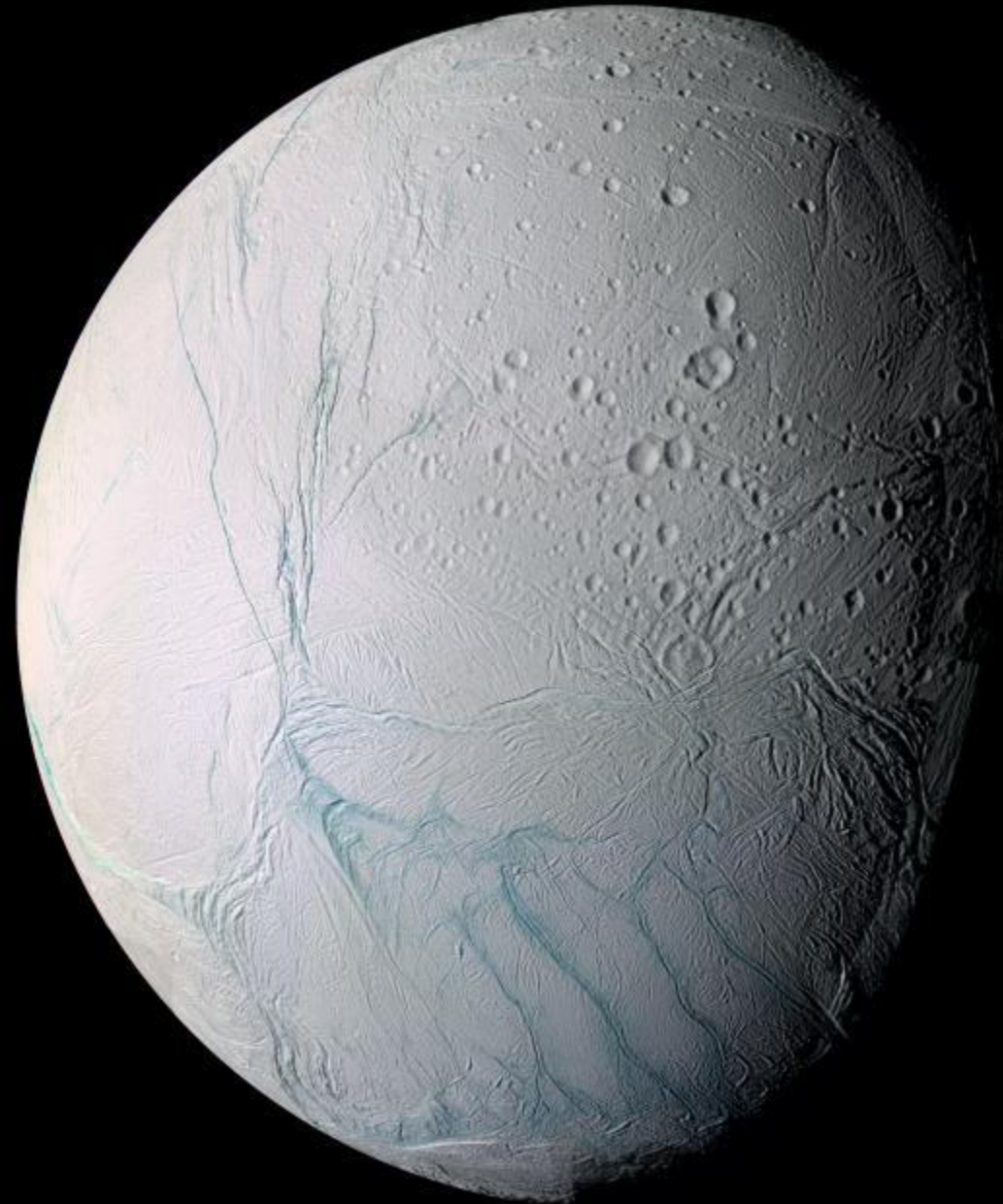
**Oder, mit viel Glück in Europas Ozean:  
etwas so komplex wie eine Garnele**



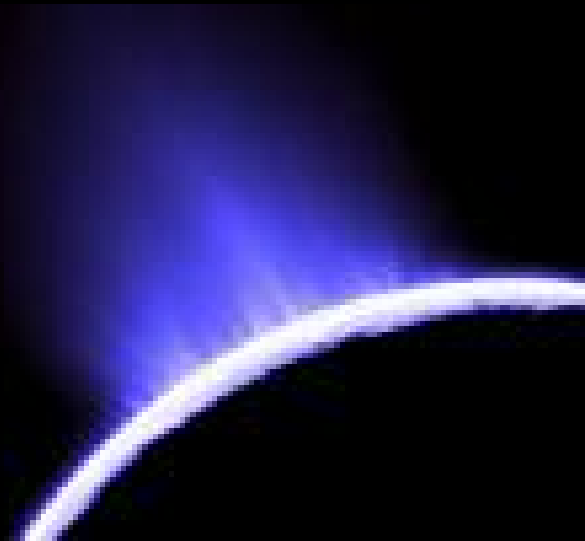
# Saturn und Monde



**Wir finden hier viele interessante Monde**



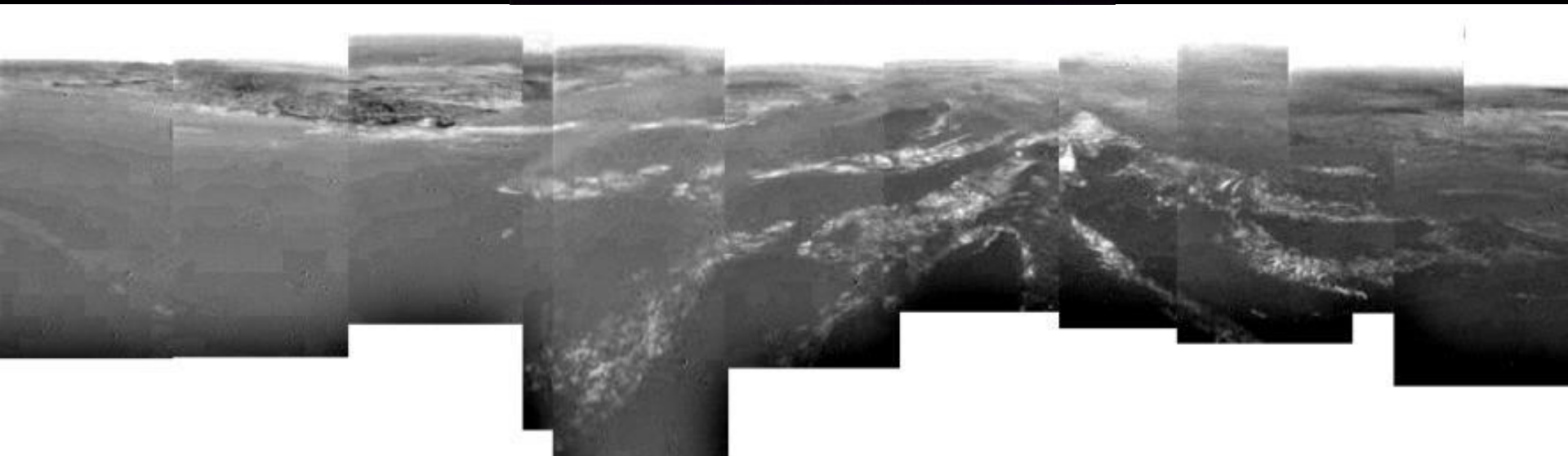
**Enceladus mit einem  
Wasser-Geysir am Südpol**



# Aber der interessanteste Mond von Saturn ist Titan

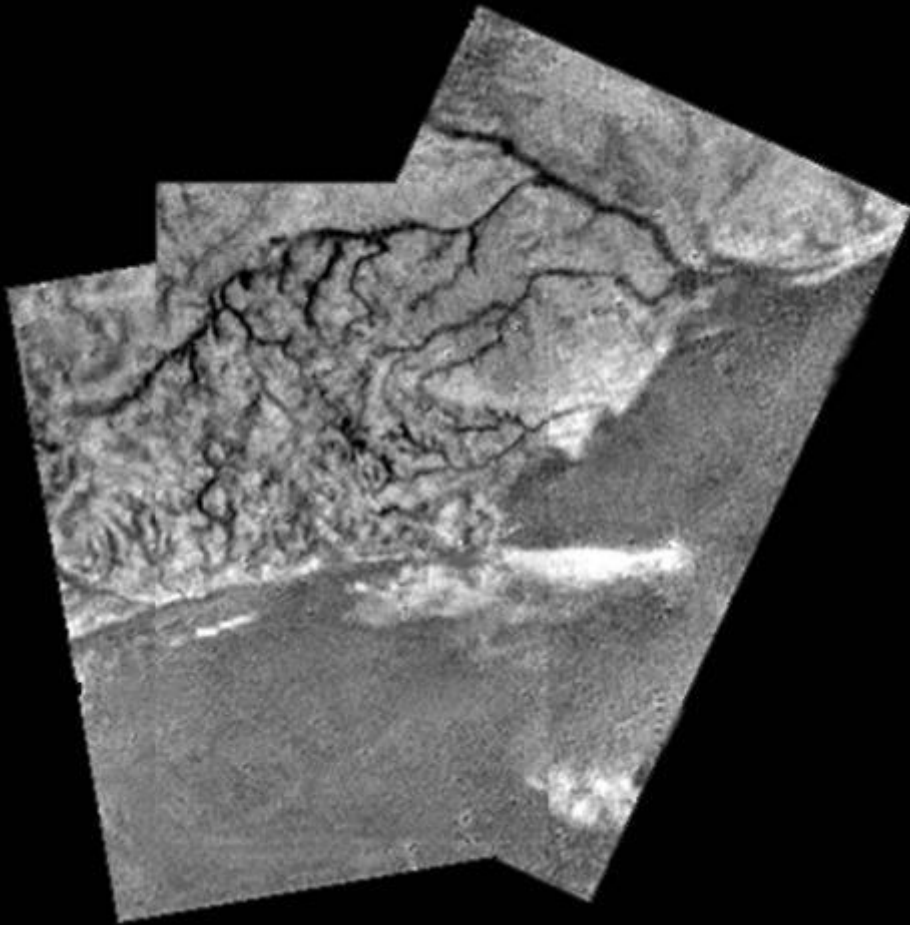


**Titan – eingehüllt in Kohlenwasserstoffen**



**Zusammengestelltes Bild von der Oberfläche von Titan - Huygen's Sonde (2005)**

Leben könnte auf Titan entstanden sein vor Milliarden von Jahren als es noch warm war. Das Leben könnte sich dann den zunehmend kalten Bedingungen angepasst haben.



Zeigt die Cassini-Huygens Mission Indizien für mögliches Leben auf dem Titan?

# Mission Resultate die die Möglichkeit von Leben auf Titan unterstützen

- (1) Titan's ebene Oberfläche  $\Rightarrow$  mondinnere Aktivität
- (2) Flüssiges Ethan und Methan auf der Mondoberfläche
- (3) Ausgüsse von hellen und dunklem Material, die auf zumindest zeitweise flüssige Ammonia-Wasser Mischungen und flüssige Kohlenwasserstoffe hindeuten

**Und viele, viele organische Stoff existieren auf Titan**



Ölseen auf Titan

Bild vom Huygens Lander



# Wir haben folgenden Stoffwechsel für Leben auf Titan vorgeschlagen:

(e.g. Schulze-Makuch and Grinspoon, 2005, in *Astrobiology*)



(Acetylene plus Wasserstoff → Methan)

Diese Hypothese ist unterstützt:

- durch die Anwesenheit von Acetylene, das sich photochemisch in Titans Atmosphäre bildet.
- Wasserstoff, der reichlich in Titans Atmosphäre vorhanden ist
- Methankonzentrationen von etwa 5 %. Wenn das Methan nicht ständig neu gebildet werden würde, wäre es innerhalb von 10 Millionen Jahre zerstört und nicht mehr detektierbar.



# Wir könnten sogar exotisches Leben finden:

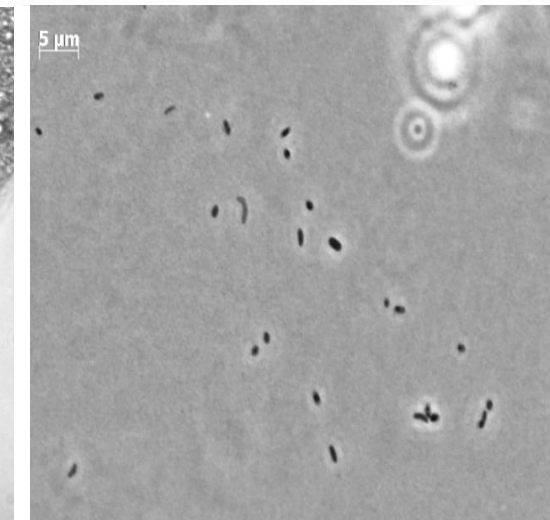
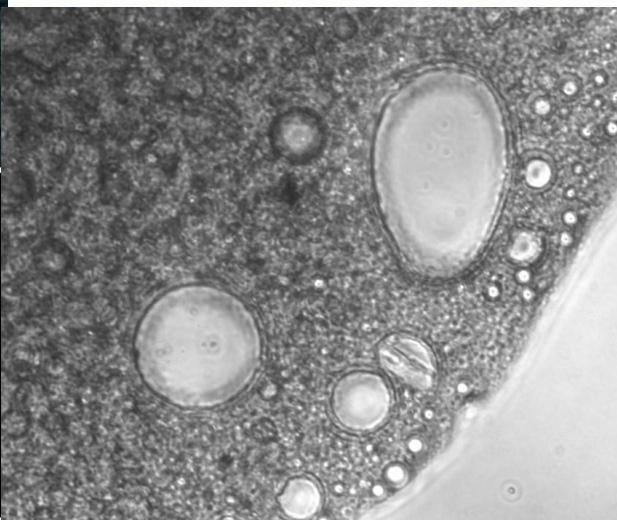
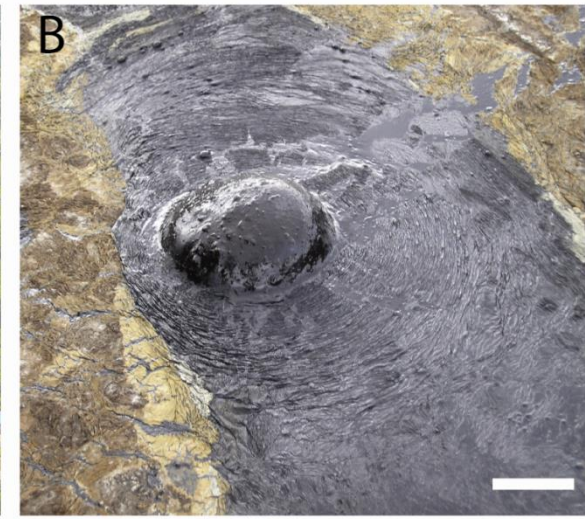
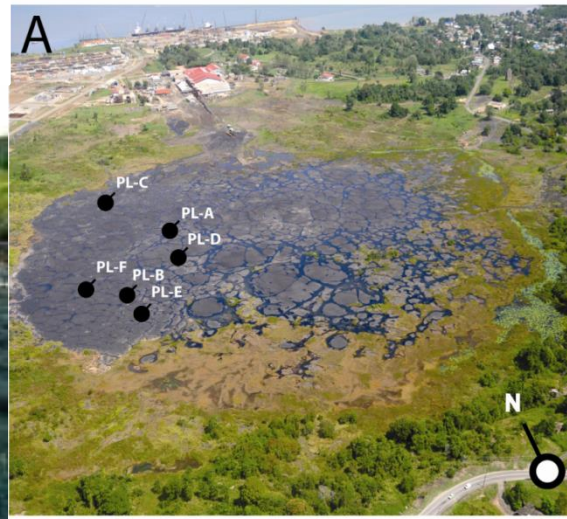
**Ein Stoffwechsel der Chemische Radikale beinhaltet:**



Alle reagierenden Stoffe wurden in Titan's Atmosphäre detektiert

# Analoglokalität: Pitch Lake (Trinidad) für Titan

## Leben in einem flüssigen Kohlenwasserstoffsee

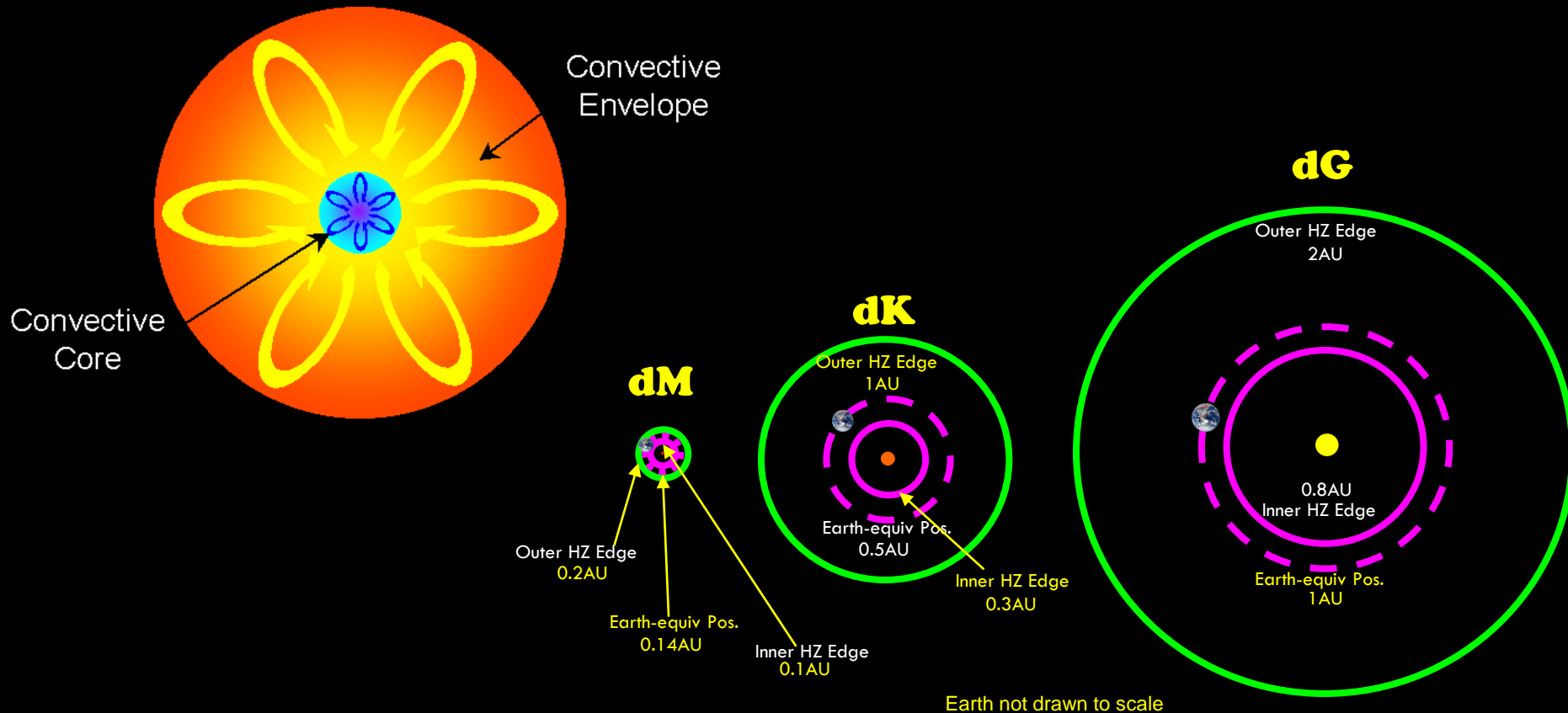


**Pitch Lake**

# Leben auf einem Planeten um andere Sterne?

Knapp 5000 Exoplaneten bis jetzt

Red Dwarf Star



# Vorteile eines K Sterns

Yellow Dwarf



G-Type

Orange Dwarf



K-Type

Red Dwarf



M-Type

image from Sankalan Baidya

- dK Sterne sind langlebig und stabil für 15 Mrd Jahre oder länger
- Nicht die sehr starken X-ray and chromospherischen FUV Ausbrüche und kurze Lebenszeit die dG Sterne haben (mit einer wandernden HZ)
- Nicht die starken Strahlungsbedingungen die dM Sterne früh in ihrer Entwicklung hatten. Außerdem sind Planeten um dM Sterne in der Gefahr des "Tidal Locking"

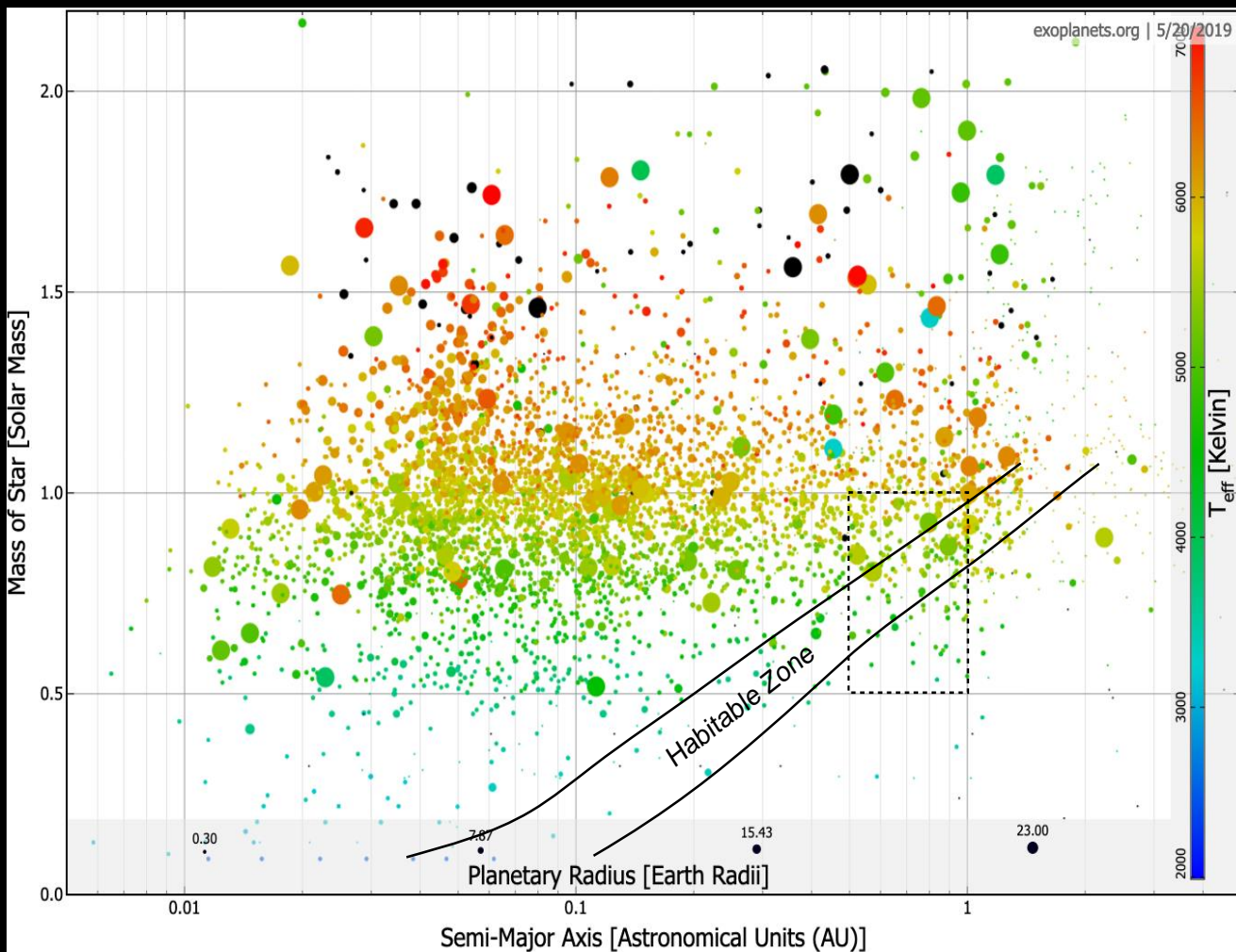
# Most Valuable Planets (MVPs) – Planeten habitabler als die Erde – Einige relevante Parameter

In Search for a Planet Better than Earth: Top Contenders for a Superhabitable World

Schulze-Makuch, Heller, and Guinan (2020)

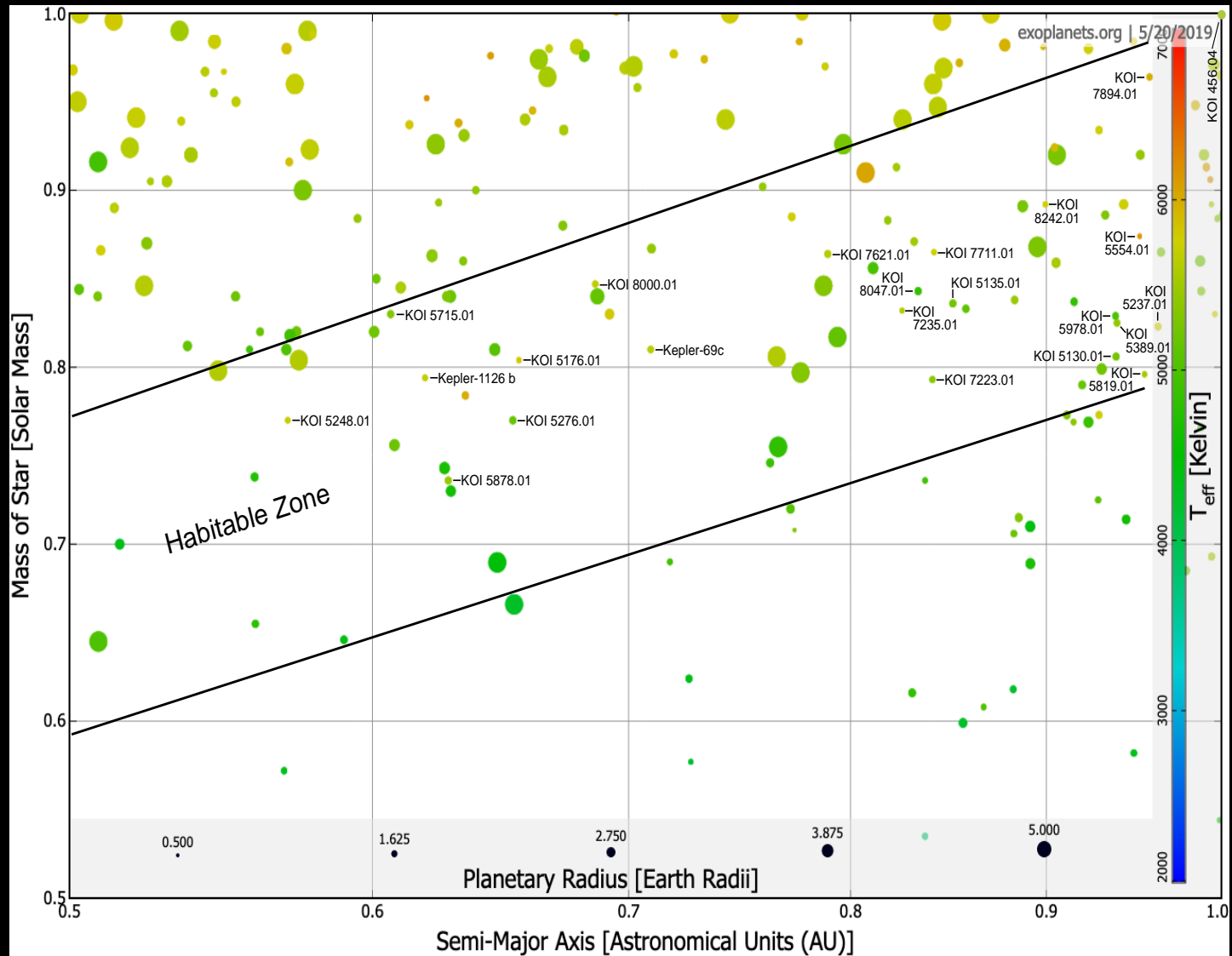
- in Orbit um einen dK Stern
- etwa 5 bis 8 Mrd Jahre alt
- Bis zu 50% mehr Masse als die Erde und 10% größer
- Oberflächentemperatur bis zu 5°C höher als die Erde
- Feuchte Atmosphäre mit 25-30% O<sub>2</sub>, ansonsten inerte Gase (N<sub>2</sub>)
- Viele Küstenbereiche und Flachwasserzonen, Archipelagos, etc
- Großer Mond (1-10% der Masse des Planeten), relativ nahe am Planeten (10 – 100 planetarische Radien)
- Plattentektonik oder ein ähnlicher Recyclingmechanismus und ein starkes geomagnetisches Feld

# Gibt es momentan bekannte Exoplaneten die superhabitable sein könnten ?



Star-planet and mass of the host of roughly **4500** extrasolar planet and extrasolar planet candidates. Temperatures of the stars are shown with symbol colors. Planetary radii are encoded in the symbol sizes. The conservative habitable zone, defined by the moist-greenhouse and the maximum greenhouse limits (is outlined with black solid lines. The dashed box refers to the next figure. Data from exoplanets.org.

# Zooming in



Zoom in die HZ der dK Sterne, wo superhabitable Planeten sein könnten. 24 Planeten and Planetenkandidaten mit kleiner als 2 Erdradien sind hier mit Namen aufgeführt.

# 24 Top Kandidaten

**Mindestens zwei Treffer hatten:**

|                    |              |                            |                        |                                |
|--------------------|--------------|----------------------------|------------------------|--------------------------------|
| <b>KOI 5878.01</b> | <b>K3V</b>   | <b>Age: 8.0 +/- 2.0 Ga</b> |                        |                                |
| <b>KOI 7235.01</b> |              | <b>Age: 6.5 +/- 2.5 Ga</b> | <b>r/re= 1.07-1.53</b> |                                |
| <b>KOI 5135.01</b> | <b>K2.5V</b> | <b>Age: 5.9 +/- 1.3 Ga</b> |                        |                                |
| <b>KOI 5819.01</b> | <b>K0V</b>   |                            |                        | <b>T<sub>p</sub> = 27.31 C</b> |
| <b>KOI 5554.01</b> | <b>G1.5V</b> | <b>Age: 6.5 +/- 2.0 Ga</b> | <b>r/re=0.72-1.29</b>  | <b>T<sub>p</sub> = 26.17 C</b> |
| <b>KOI 7894.01</b> |              | <b>Age: 5.0 +/- 2.5 Ga</b> |                        | <b>T<sub>p</sub> = 15.99 C</b> |
| <b>KOI 456.04</b>  |              | <b>Age: 7.0 +/- 2.5 Ga</b> |                        | <b>T<sub>p</sub> = 14.23 C</b> |
| <b>KOI 5715.01</b> | <b>K3V</b>   | <b>Age: 5.5 +/- 2.0 Ga</b> |                        | <b>T<sub>p</sub> = 11.59 C</b> |
| <b>KOI 5130.01</b> | <b>K2.5V</b> | <b>Age: 6.0 +/-2.5 Ga</b>  |                        |                                |



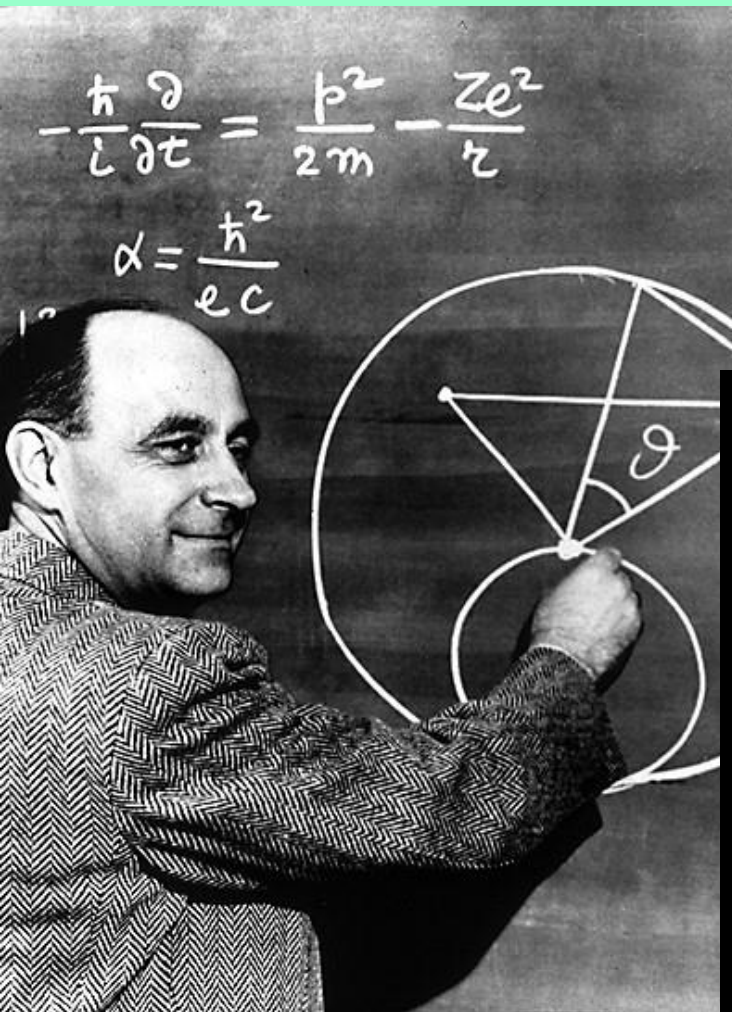
# **Alle superhabitäblen Planetenkandidaten sind mehr als 100 Lichtjahre entfernt und müssen unabhängig bestätigt werden**

Zum Beispiel, KOI 5715 wurde vom Kepler Space Telescope im Sternbild Cygnus entdeckt and ist fast 3000 Lichtjahre entfernt

Die Sternenparameter die wir für superhabitable Planeten benutzen, ist objectiv, während die Planetenparameter auf Leben wie wir es von der Erde kennen, abgestimmt ist.

Sollten wir in der Zukunft einen Planeten oder Mond finden der alle oder fast alle Suchkriterien erfüllt, sollte dieser eine höhere Priorität erhalten als "Erdähnlichkeit".

# Das Fermi Paradox



Wo sind intelligente E.T.s ?

## *The Drake Equation*

$$N_T = R_* f_p n_e f_l f_i f_t t_l$$

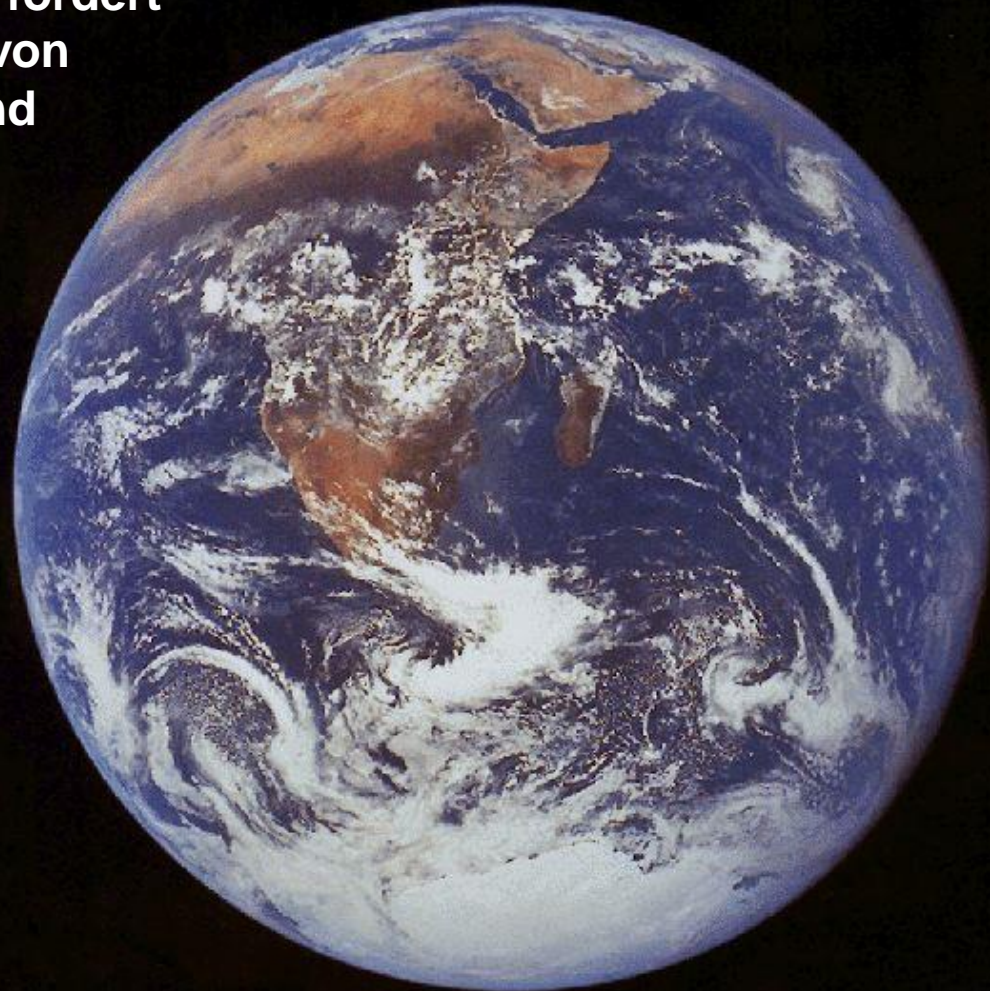
- $N_T$  - number of communicative civilizations
- $R_*$  - mean rate at which suitable stars are born 1-10/y
- $f_p$  - fraction of stars with planetary systems 0.1-0.5
- $n_e$  - number of Earth-like worlds per planetary system 1-3
- $f_l$  - fraction of those Earths where life develops 0.1-1
- $f_i$  - fraction of these on which intelligence develops 0.01-1
- $f_t$  - fraction of intelligent beings who develop technology 0.1-1
- $t_l$  - lifetime of a civilisation with ability to communicate  $10^3$ - $10^6$

# **DIE RARE EARTH HYPOTHESE**

**Ward and Brownlee (2000)**

Die Evolution von komplexen Leben erfordert eine unwahrscheinliche Kombination von astrophysikalischen, geologischen, und biologischen Gegebenheiten

**Daher ist die Evolution von komplexen extraterrestrischen Leben sehr unwahrscheinlich und komplexes Leben extrem selten**



# DIE COSMIC ZOO HYPOTHESE

Bains and Schulze-Makuch (2016)

Das Leben auf der Erde hat auf seinem Marsch zur höheren Komplexität Schlüsselinnovationen mehrere Male erreicht und zwar mit unterschiedlichen biochemischen Reaktionswegen, jedoch mit der gleichen Funktion



Wenn Planeten lange genug habitabel bleiben, dann wird sich auch auf diesen Planeten komplexes Leben entwickeln



# Wie können wir intelligente E.T.s finden?



ALMA at Chajnantor  
(Courtesy NAOJ)

ESO PR Photo 14/01 (6 April 2001)

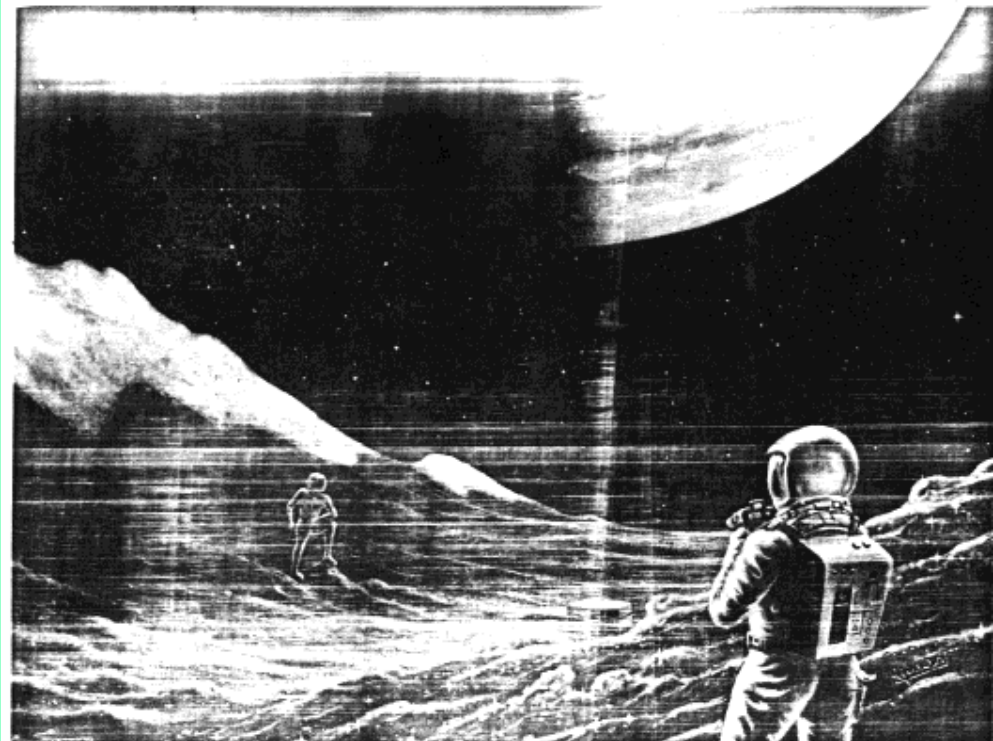
© European Southern Observatory



## SETI-Programme

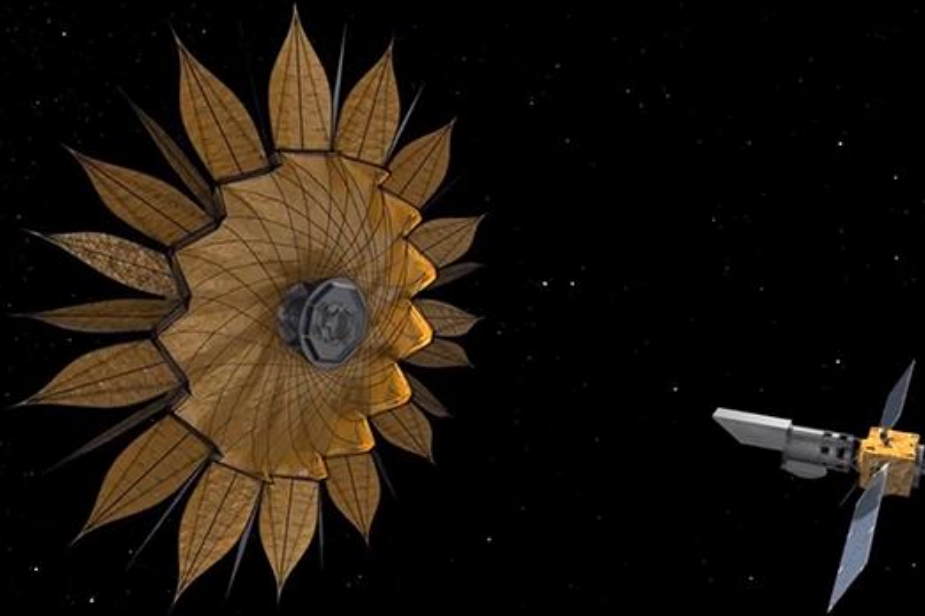


Exo-Artifacts wie der Mars Rover



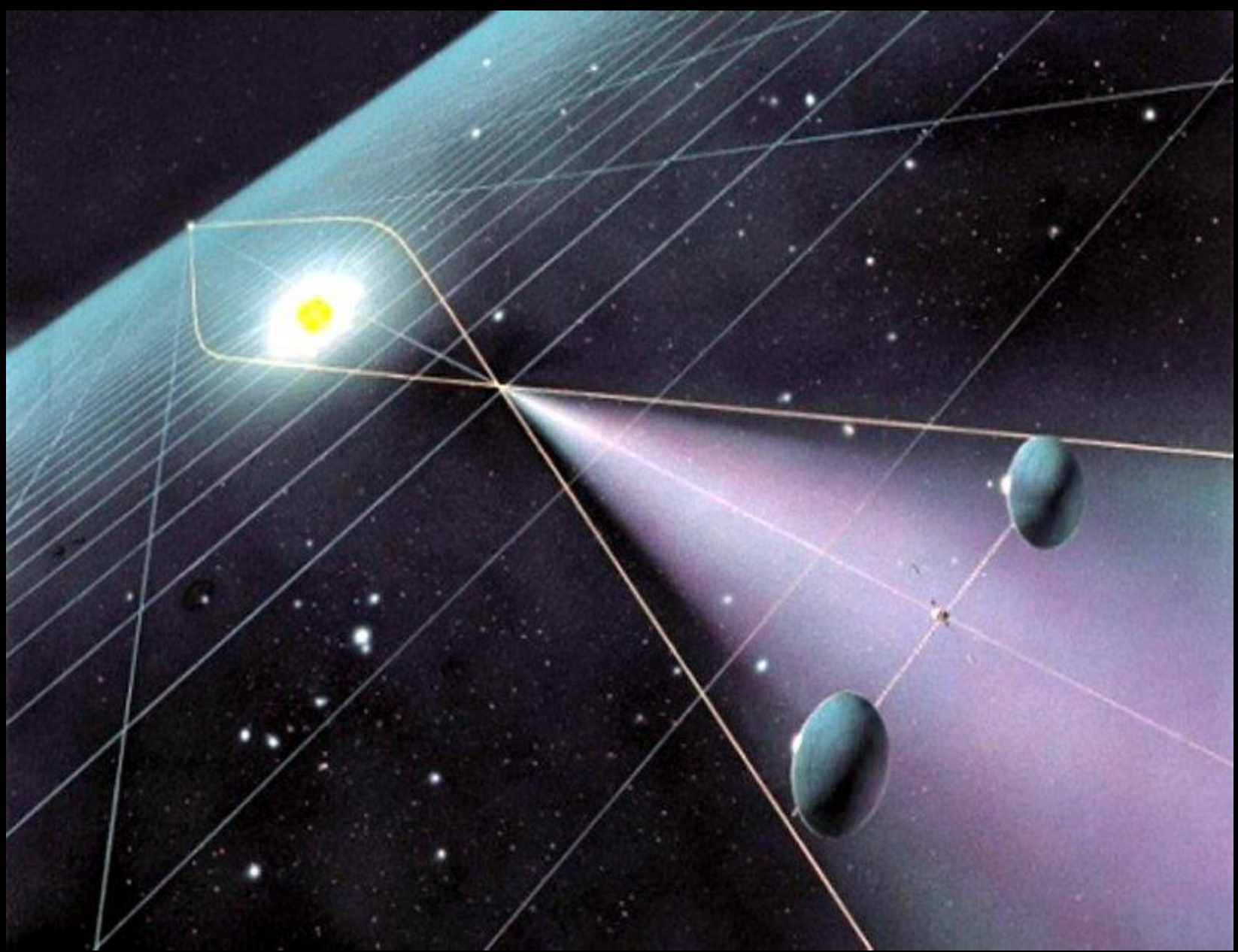
# Die Zukunft: Direct Imaging

Separierung des Lichtes des Planeten vom Stern (1 Pixel Problem)



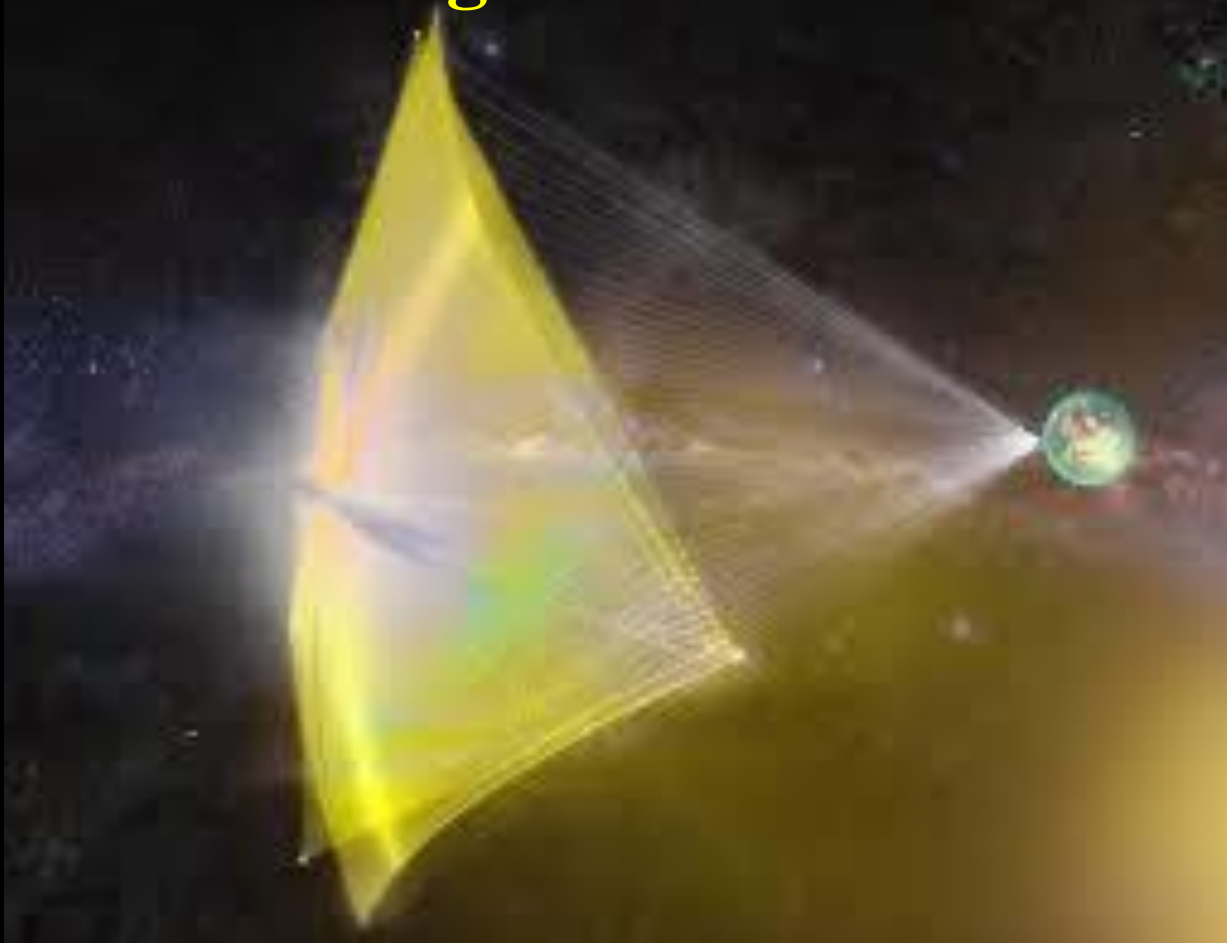
Das Starshade Konzept:

das Weltraumteleskop und das Starshade muß in exakter Formation fliegen



Ein Gravitational Lens Telescope, wie vorgeschlagen von Claudio Maccone in seinem Buch von 2009: *Deep Space Flight and Communications*

# Breakthrough Starshot Initiative



Ein Forschungsprojekt der Breakthrough Initiatives um auf  $1/20$  der Lichtgeschwindigkeit zu kommen und interstellare Reisen zu ermöglichen

2016 gegründet von Yuri Millner, und unterstützt von Stephen Hawking und Mark Zuckerberg



# If you would like to know more:

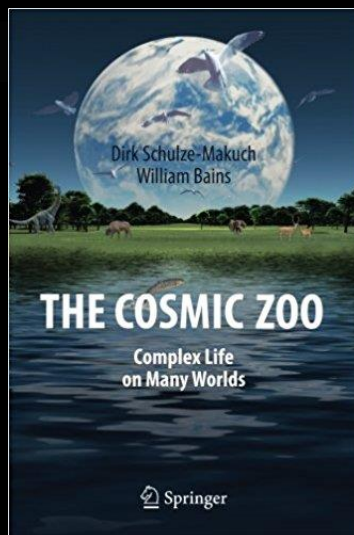
Dirk Schulze-Makuch

## Alien Encounter

A Scientific Novel  
Second Edition



Springer



Dirk Schulze-Makuch  
William Bains

## THE COSMIC ZOO

Complex Life  
on Many Worlds

Springer



Urheberrechtlich geschütztes Material

Dirk Schulze-Makuch · William Bains

## Das lebendige Universum

Komplexes Leben  
auf vielen  
Planeten?

Springer

Urheberrechtlich geschütztes Material

Dirk Schulze-Makuch  
Louis N. Irwin

## Life in the Universe

Expectations  
and Constraints  
*Third Edition*



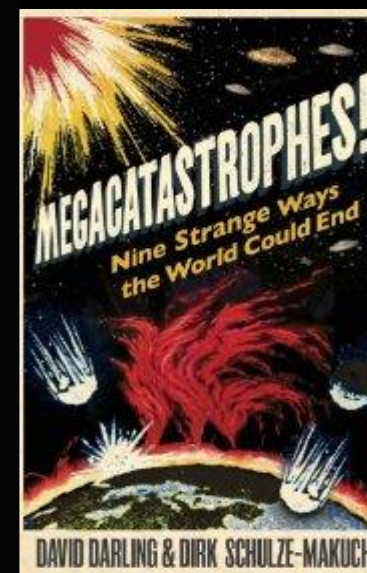
PRAXIS

Springer

Dirk Schulze-Makuch  
Technical University  
Berlin/GFZ/IGB

[schulze-makuch@tu-berlin.de](mailto:schulze-makuch@tu-berlin.de)

[https://www.searchforlifein  
theuniverse.com/](https://www.searchforlifeintheuniverse.com/)



**MEGACATASTROPHES!**  
Nine Strange Ways  
the World Could End

DAVID DARLING & DIRK SCHULZE-MAKUCH