

# The Limits of Organic Life in Planetary Systems



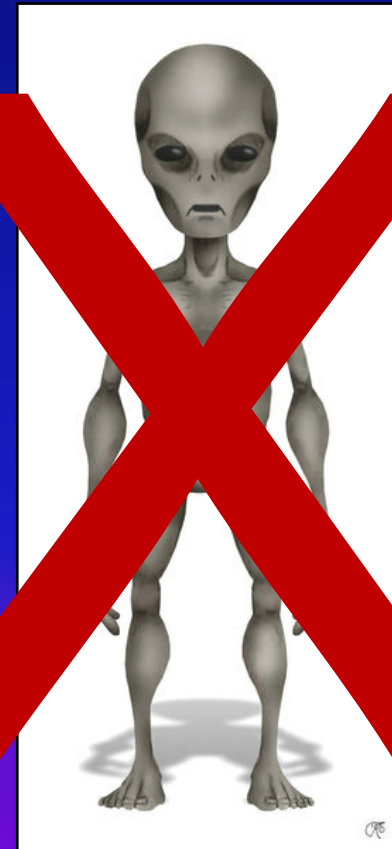
A study of the Committee on the Limits of Organic Life in Planetary Systems, Committee on the Origins and Evolution of Life,

National Research Council, USA, 2007

Mag. Leitner Johannes  
Institute for Astronomy, University of Vienna

## Hintergrund und Motivation I:

Mit der Ausdehnung der Suche nach Leben in das Sonnensystem und darüberhinaus stellt sich die Frage wonach wir eigentlich suchen. Bisherige Experimente müssen als oft zu eingeschränkt und zu geozentrisch bzw. human-zentrisch kritisiert werden (z.B. Viking



## Hintergrund und Motivation I:

### Eigenschaften terrestrischer Organismen (und verwendete „Suchparameter“):

- Wasser als Lösungsmittel
- Zellen als Bausteine und ein C-Metabolismus (und Fähigkeit zur Einbettung anderer Atome (z.B. O).
- Thermodynamisch dissipativ und basierend auf chemischer, solarer und geotherm. Energie
- 2-Biopolymer-Architektur:
  - Nukleinsäuren für genetische Funktionen und
  - Proteine als Katalysatoren
- System, welches Evolution erlaubt (Darwin)  
Nicht nur Reproduktion, auch Aussortierung von schlecht angepassten Organismen, sondern auch die Anpassungsfähigkeit an sich verändernde Umweltbedingungen und die Interaktion mit anderen Organismen.

## Hintergrund und Motivation II:

**Leben mit diesen Charakteristika kann überall dort gefunden werden, wo Wasser und Energie vorhanden sind ( → Direktive für die Suche).**

Als eine Konsequenz daraus basieren gegenwärtige Missionskonzepte auf Orten, wo flüchtiges Wasser möglich ist und auf Strukturen, welche an Zellen von terr. Organismen erinnern.

Grundsätzlich ein vertretbarer 1. Schritt, besonders unter der Berücksichtigung unseres mangelnden Verständnisses über den Ursprung des Lebens.

Jüngste Laborexperimente zeigten dass Leben auch auf Molekularstrukturen basieren kann, welche eindeutig verschieden von Terrestrischen sind (Silikon-Makromoleküle sind in der Lage genetische und katalytische Prozesse aufrechtzuerhalten, sind allerdings sehr komplex in ihrer Entstehung).

Es scheint wahrscheinlich, dass wenn Leben unabhängig an verschiedenen Orten entstanden ist und entsteht, es keine Charakteristika mit terrestrischen Leben gemeinsam hat.

Durch unser mangelndes Wissen über diese Strukturen, sind eventuelle Biomarker hierfür nicht zu identifizieren und verschließen sich einer direkten Beobachtung.

## Hintergrund und Motivation III:

### Beispiel: Wasser als Lösungsmittel im Sonnensystem

Mögliche Habitate wären:

- Marsboden
- potentielle Ozeane von Europa, Ganymed und Kallisto
- Saturnmond Enceladus

Andere flüssige Lösungsmittel könnten auch in unserem Sonnensystem zu finden sein und die Regel in anderen Sternensystemen darstellen (z.B. Methan-/Ethan-seen? auf Titan)

Aber auch für „exotische“ Organismen können beobachtbare Biomarker definiert werden, da diese ebenfalls ihr Umwelt und insbesondere ihre Atmosphäre prägen.

**Zweck dieser Studie:** Untersuchung einer non-standard Biochemie, welche Leben in speziellen Habitaten im Sonnensystem und in Exoplaneten-Systemen ermöglichen würde

# Die Frage des Lösungsmittels

## Warum ein Lösungsmittel:

### Vorteile eines Lösungsmittels (einer Substanz in flüssiger Phase):

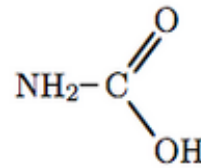
- erleichtert chem. Reaktionen (durch Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit)
- bietet eine stabile Reaktionsumgebung (innerhalb des Temperaturbereich, indem es in der flüssigen Phase existiert)

Jedoch sind auch Gas- und Festkörperphasen als Reaktionsumgebungen denkbar, die Vorteile der Flüssigkeiten überwiegen jedoch.

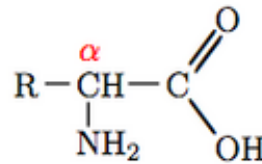
### Warum Wasser:

- Eis hat eine geringere Dichte als Wasser (allerdings nur Eis I)
  - dient als Isolator für das Wasser gegen Wärmeverlust
  - hat jedoch auch höheren Albedo als Wasser → höhere Kühlungsrate
- ausgezeichnetes Lösungsmittel für Salze
- flüssig über einen großen Temperaturbereich (Theorie der habitablen Zonen)
- terrestrisches Leben nutzt C = O Moleküle (jedoch auch C = N, HN = C = NH oder O = C = O für den Metabolismus theoretisch möglich, hierfür wären auch andere Lösungsmittel möglich)
- geozentrisches Denken

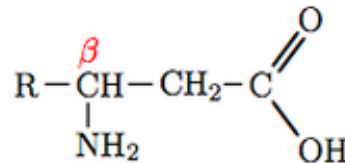
## C = O Metabolismus



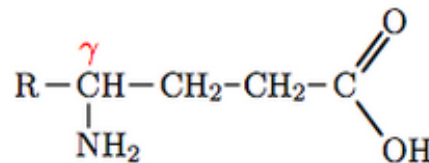
Carbaminsäure



$\alpha$ -Aminosäure



$\beta$ -Aminosäure



$\gamma$ -Aminosäure



## Alternative Lösungsmittel:

**TABLE 6.1** Freezing and Boiling Points (at 1 atm) of Some Solvents

Solvent	Freezing Point (K)	Boiling Point (K)
Ammonia	195	240
Dihydrogen	14	20
Dinitrogen	63	77
Ethane	101 ←	184
Formamide	273 ←	495
Helium	—	4
Hydrazine	275	387
Hydrogen cyanide	260	299
Hydrogen fluoride	190	293
Hydrogen sulfide	192	213
Methane	91 ←	112
Neon	25	27
Sulfuric acid	283 ←	563
Water	273	373

 Vgl. Titan  
 Große Temperaturbereiche

**TABLE 6.2** Critical Temperature and Pressure for Selected Substances

Liquid	Critical Temperature (K)	Critical Pressure (atm)
Hydrogen	33.3	12.8
Neon	44.4	26.3
Nitrogen	126	33.5
Argon	151	48.5
Methane	191	45.8
Ethane	305	48.2
Carbon dioxide	305	72.9
Ammonia	406	112
Water	647	218

## Alternative Lösungsmittel:

### 3 Arten von Lösungsmitteln:

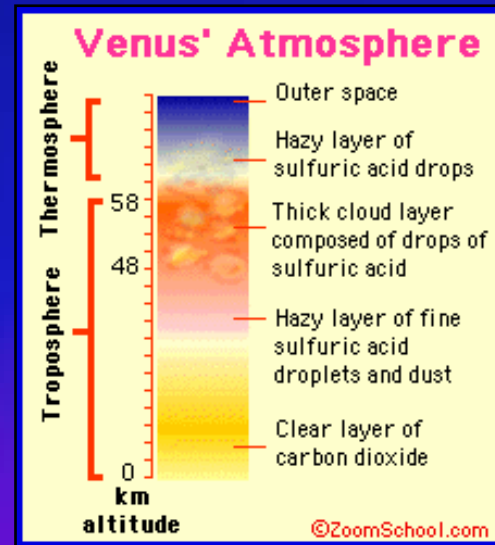
- **polare Lösungsmittel** (besitzen ein permanentes elektrisches Dipolmoment  
z. B. Wasser, Ammoniak, Schwefelsäure, Formamide (= Methanamide)
- **unpolare Lösungsmittel** (kein permanentes Dipolmoment)  
verschiedene Kohlenwasserstoffe
- **Kryolösungsmittel**  
z. B. Di-Wasserstoff, Di-Stickstoff

## Polare Lösungsmittel – Ammoniak:

- allgemein ein gutes Lösungsmittel für viele organische Verbindungen
- flüssig über einen relativ großen Temperaturbereich (195–240 K bei 1 atm), bei 60 atm von 196–371 K
- häufig im Sonnensystem zu finden (z. B.: Wolkenschicht Jupiter)
- viele biochemische Prozesse, welche in Wasser stattfinden, sind auch in Ammoniak möglich
- höhere Basizität als Wasser (Wasser: Säure:  $\text{H}_3\text{O}^+$ , Base:  $\text{HO}^-$ ,  
Ammoniak: Säure:  $\text{NH}_4^+$ , Base:  $\text{NH}_2^-$ )  
 $\text{H}_3\text{O}^+$  jedoch um 11 Größenordnungen stärker als  $\text{NH}_4^+$ , jedoch  $\text{NH}_2^-$  um 15 Größenordnungen stärker als  $\text{HO}^-$   
→ die erhöhte Stärke der Base in Ammoniak unterstützt keinen C = O Metabolismus, jedoch C = N schon
- Ammoniak ist ein guter Gefrierschutz für Wasser  
→ Wasser-Ammoniak Gemische sind über sehr großen Temperaturbereich flüssig (Ti

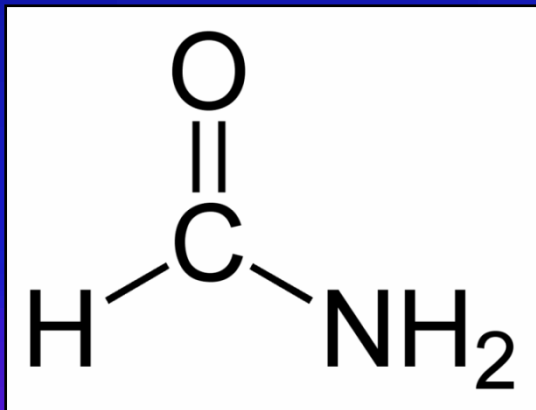
## Polare Lösungsmittel – Schwefelsäure:

- ebenfalls ein gutes Lösungsmittel und für eine hohe Reaktivität geeignet
- starke Säure: C = C Metabolismus ist hoch reaktiv (für C = O Metabolismus nicht geeignet)
- einige terrestrische Organismen zeigen C = C Metabolismus
- Wolkenschichten der Venus bestehen aus Schwefelsäure Aerosolen, 50 km Höhe: 310 K und 1.5 atm  
der hohe Fluss von UV-Strahlung könnte in der Venusatmosphäre als Energiequelle dienen



## Polare Lösungsmittel – Formamide:

- Formamide ( $\text{HCONH}_2$ ) entstehen durch die Reaktion von Cyanwasserstoff (Blausäure) mit  $\text{H}_2\text{O}$ , beides Elemente, welche häufig im Weltraum zu finden sind.
- In wesentlichen Eigenschaften ähnlich zu Ammoniak und besitzen ein vergleichbares Dipolmoment zu Wasser.  
Nahezu alle Verbindungen die in Wasser gelöst werden können, können auch in Formamiden gelöst werden
- in Formamiden können auch RNA, DNA , Proteine und ihre Vorgängermoleküle synthetisiert werden
- innerhalb eines Temperaturbereichs von 273 – 495 K in flüssiger Phase vorhanden

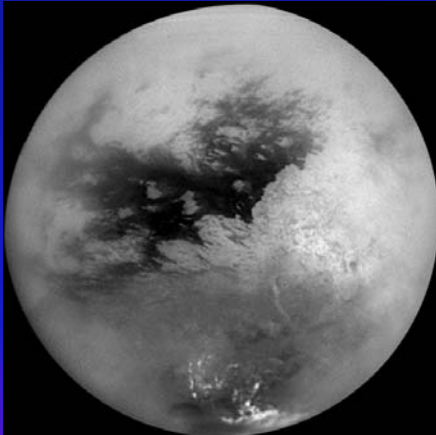


## Unpolare Lösungsmittel:

- Siedepunkte von verschiedenen Kohlenwasserstoffen:

Kohlenwasserstoff	Siedepunkt [K]
Methan	109
Ethan	184
Propan	231
Butan	273
Pentan	309
Hexan	349

- Beispiel Titan: mittlere Oberflächentemperatur: 95 K, Gefrierpunkt von Methan: 90 K  
→ Seen von flüssigen Methan könnten die Oberfläche von Titan bedecken



## Flüssiges Methan/Ethan als Lösungsmittel auf dem Titan:

- Darüber hinaus noch ist es noch wahrscheinlich dass geringe Mengen von Wasser dem Methan hinzugesetzt sind (aufgrund der Wärme von Impakten bis heute).
- Die organische Reaktivität ist in Methan/Ethan nicht geringer als in Wasser.
- Bindungen mit Kohlenwasserstoffen können sich in einem solchen Lösungsmittel sogar leichter bilden als in Wasser.
- Titan befindet sich nicht im thermischen Gleichgewicht.
- Titan erfüllt alle Anforderungen für die Entstehung von Leben!!!

**Ist Leben eine intrinsische Eigenschaft von chemischer Reaktivität?**

**Wenn ja, dann sollten wir Leben auf dem Titan entdecken!**

**Wenn nein, dann ist Leben nicht intrinsisch!**

## Kryolösungsmittel:

- Kryolösungsmittel: viele potentielle Lösungsmittel aus dem Sonnensystem existieren nur in ihrer Gasphase auf der Erde ( $H_2$ ,  $N_2$ ). Bei tiefen Temperaturen (für uns Menschen) führen sie einen Phasenübergang durch → Kryolösungsmittel.
- $H_2$ : häufigster Bestandteil der oberen Atmosphärenbereiche von Jupiter ( $N_2$  von Triton)
- habitable Zone eines Gasplaneten = Bereich, wo Lösungsmittel in flüssiger Phase existieren und wo organischen Substanzen noch stabil sein können.
- Voraussetzung: Organismen müssen in der Lage sein, einer Ortsveränderung durch Konvektionsströmungen zu widerstehen (vgl. Ozeane Erde)
- C = C Metabolismus
- Problem der Unlösbarkeit vieler Substanzen in Kryolösungsmitteln, jedoch noch zu weitgehend untersucht für definitive Aussagen
- Reaktionsgeschwindigkeit in Kryolösungsmitteln ist geringer als in Wasser, eröffnet jedoch auch die Möglichkeit von metabolistischen Reaktionen, welche im Wasser zu schnell ablaufen, um auf der Erde eine Rolle zu spielen.





## Science Fiction oder vielleicht doch nicht? Leben in der Gasphase?

- Chemische Reaktionen begrenzt auf Moleküle mit ausreichender Flüchtigkeit um einen Beitrag zur Gasphase liefern zu können.
- Konsequenzen einer Temperaturerhöhung (höhere  $E_{\text{kin}}$ ) nicht ausreichend, da organische Moleküle jenseits von etwa 500 K nicht mehr stabil sind.
- Im nahezu Vakuum des Weltraums ist aber theoretisch immer noch Leben möglich
  - Staubkörner könnten als Überträger von organischen Molekülen dienen (vgl. Panspermie)
  - jedoch Problem der Kombination der verschiedenen Staubkörner bisher ungelöst
- Eine solche Lebensform wäre nicht auf ein einzelnes Sonnensystem beschränkt und könnte sich über die ganze Galaxie ausbreiten (innerhalb kosmischer Zeitskalen)

## Science Fiction oder doch nicht? Leben in oder aus der Festkörperphase?

- Verschiedene Elemente sind in der Lage durch Festkörper zu diffundieren und somit chemische Reaktionen zu ermöglichen. Festkörper kann auch als Strahlenschutz fungieren.
- Unter Berücksichtigung kosmischer Zeitskalen und dem Energiezufluss durch kosmische Strahlung ist diese Art von Leben ebenfalls theoretisch nicht auszuschließen.
- Z.B. organische Moleküle in einer Eismatrix in z.B. protostellaren Wolken.
- Theoretisch könnte diese Art der Lebensentstehung, wenn entsprechende Moleküle in Eismatrizen in der Oort'schen Wolke vorhanden und konserviert sind, ein ganzes Sonnensystem mittels Kometen befruchten.

**Grundsätzlich existieren aber bis heute zu wenig Theorien und auch Laborexperimente, um die Möglichkeit von Leben in einer Gas- und/oder einer Festkörperphase auszuschließen oder bestätigen zu können.**

**Jedoch sollten wir uns von der geozentrischen Denkweise verabschieden!**



**Vielen Dank für die  
Aufmerksamkeit**