

# Astrobiologie & Astrobiophysik

(Vorlesungszyklus auch für Nicht-Physiker und Forschung)



**Prof. Dr. Michael Hausmann**  
**Kirchhoff Institut für Physik**  
**Universität Heidelberg**





# Definitionen

<i>αστρον:</i>	Stern
<i>βιος:</i>	Leben
<i>φυσικη:</i>	Natur
<i>λογος:</i>	Wissen

## Astrobiologie

*Multidisziplinäres*

*Studium des Anfangs, der  
Verteilung sowie der  
Entwicklung von Leben im  
realen Universum*

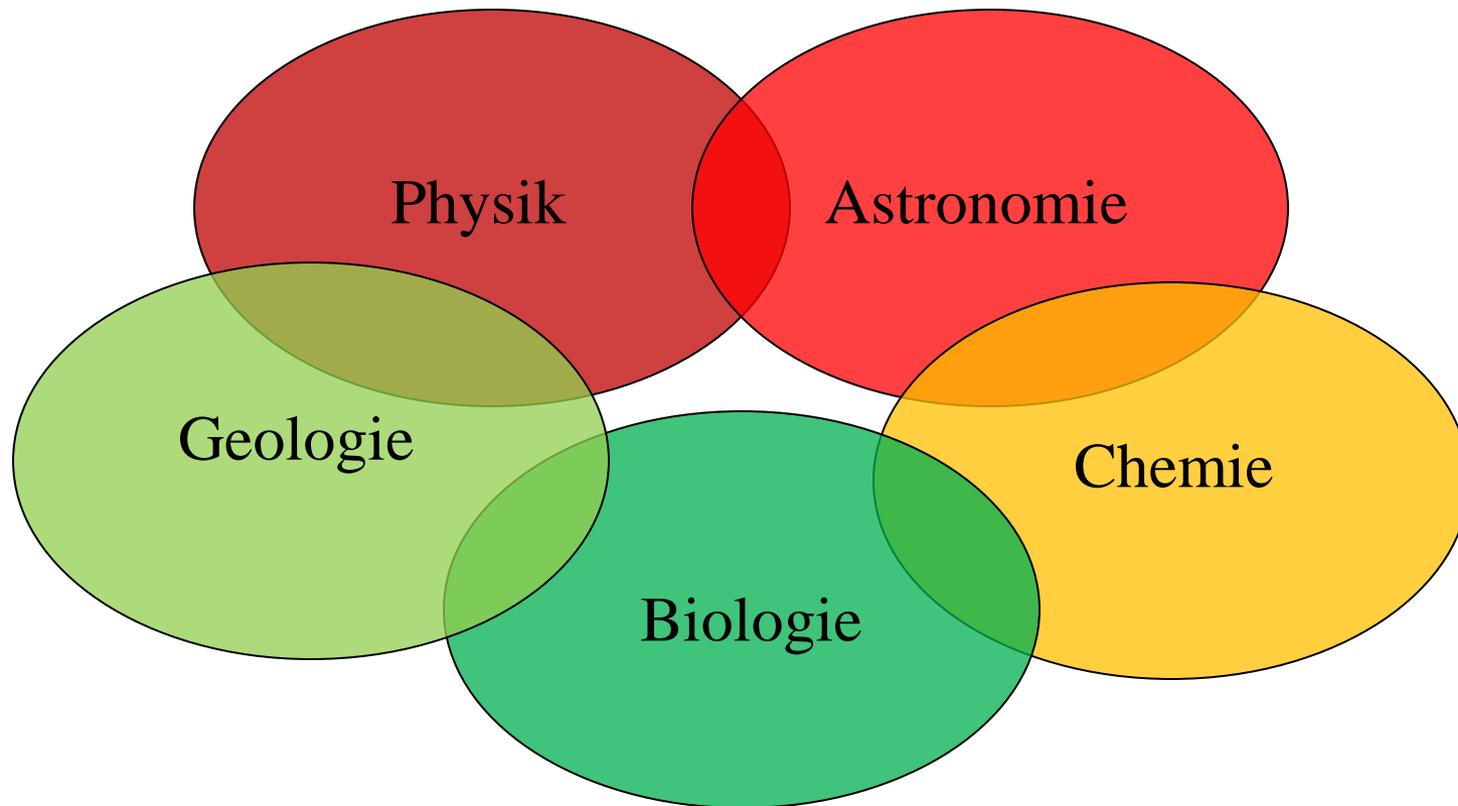
## Astrobiophysik

*Multidisziplinäres*

*Studium der theoretischen und realen  
Konzepte und Muster von Leben  
sowie seinen möglichen Umwelten*

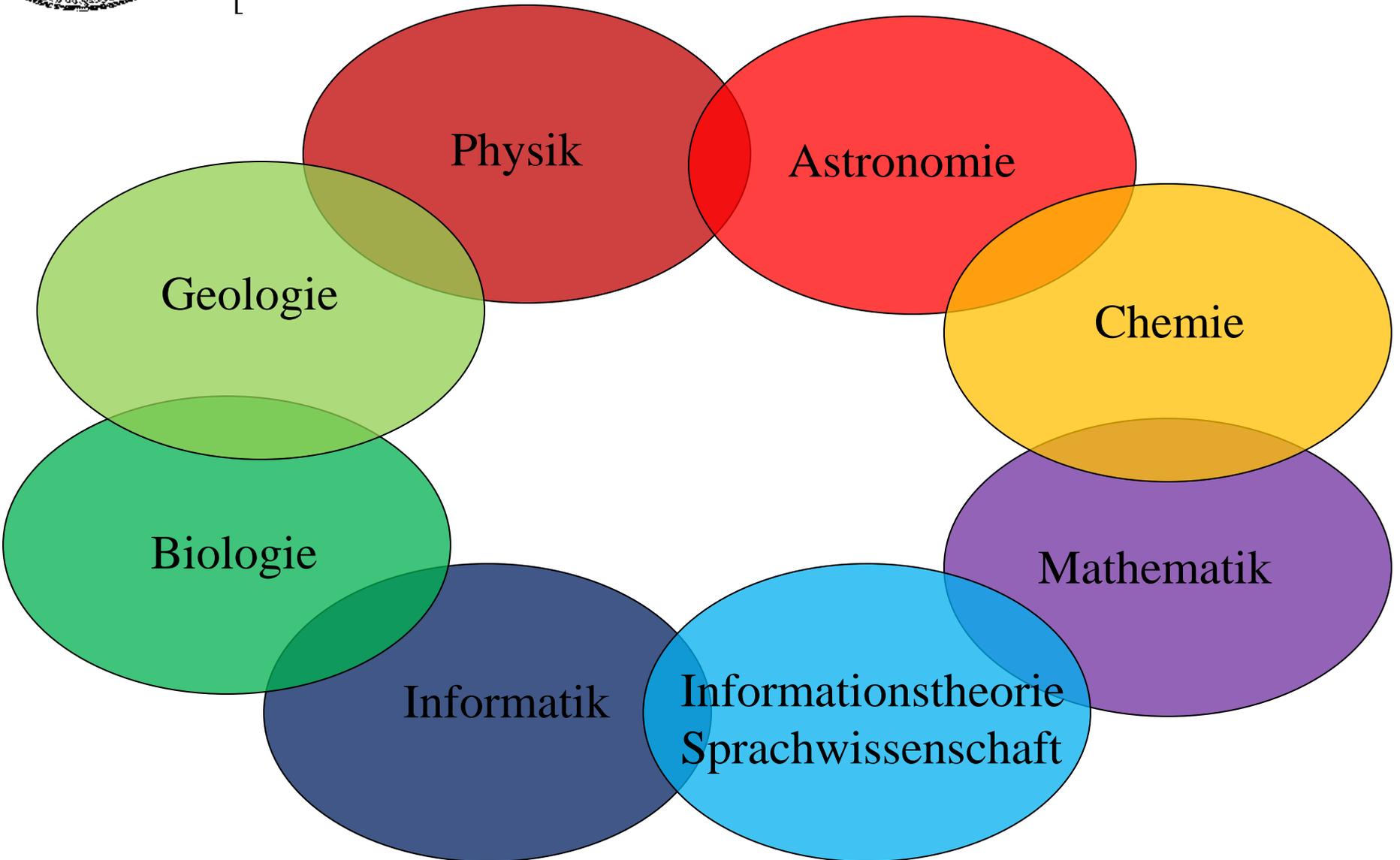


# Astrobiologie





# Astrobiophysik





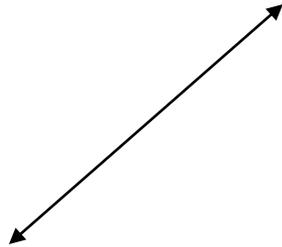
Informationstheorie

Phasenraum

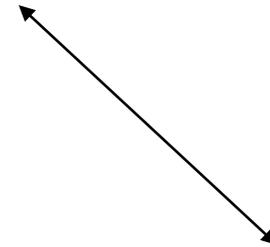
Entropie

Fraktale

Muster



Überprüfung  
der Theorie



Beeinflußung



Evolution Biologie Chemie  
 Physik Geologie Psychologie

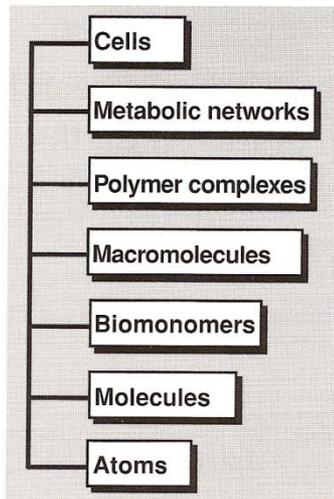
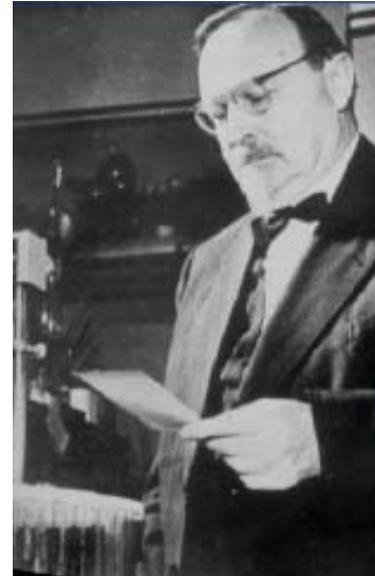
Bionik Linguistik  
 Künstliche Intelligenz



1924:

Aleksandr Ivanovich Oparin (1894–1980)

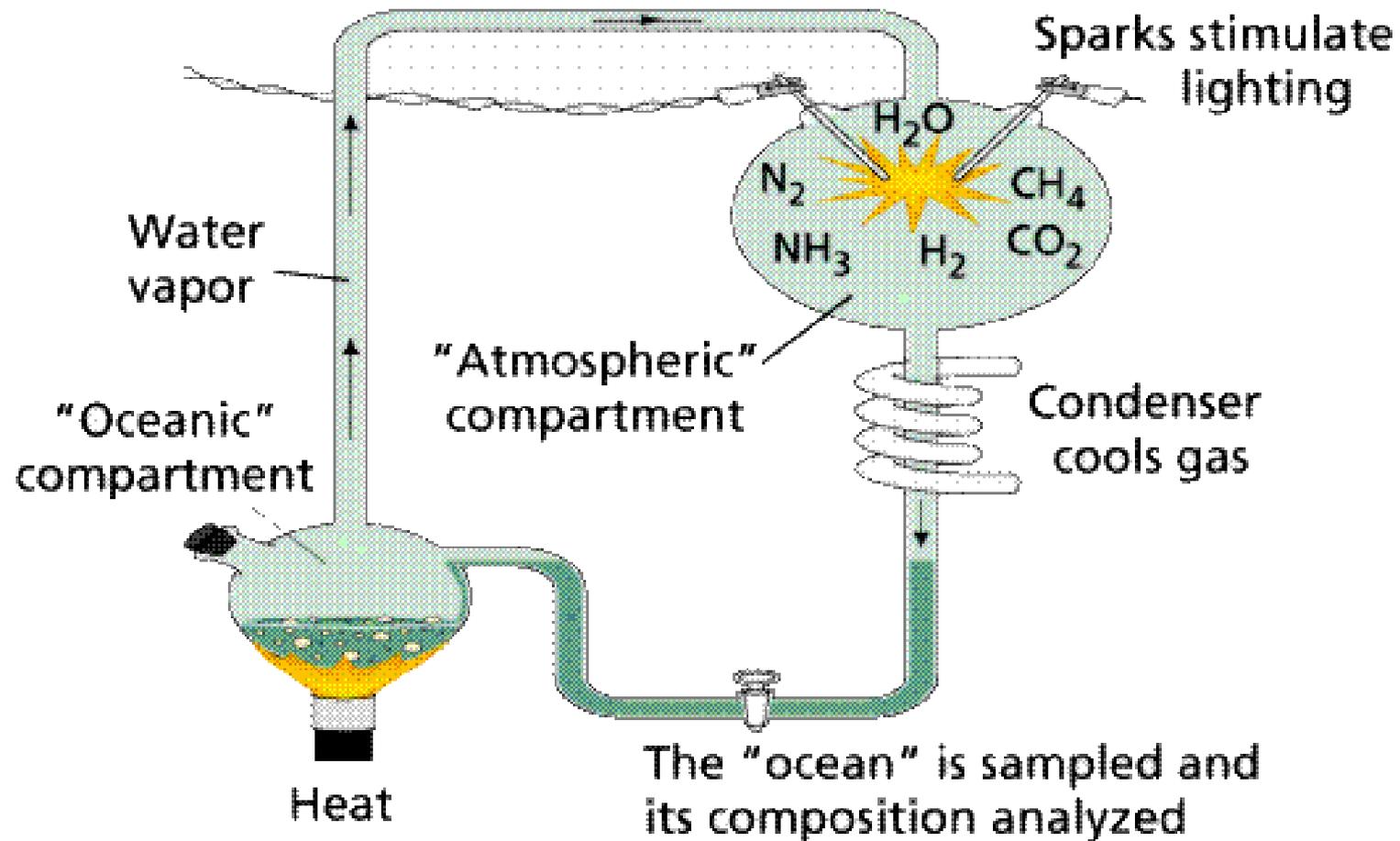
*Der Ursprung des Lebens*



Oparin's Idea: Entwicklung des Leben  
beruht auf schrittweisem, spontanem  
Anstieg der molekularen Komplexität



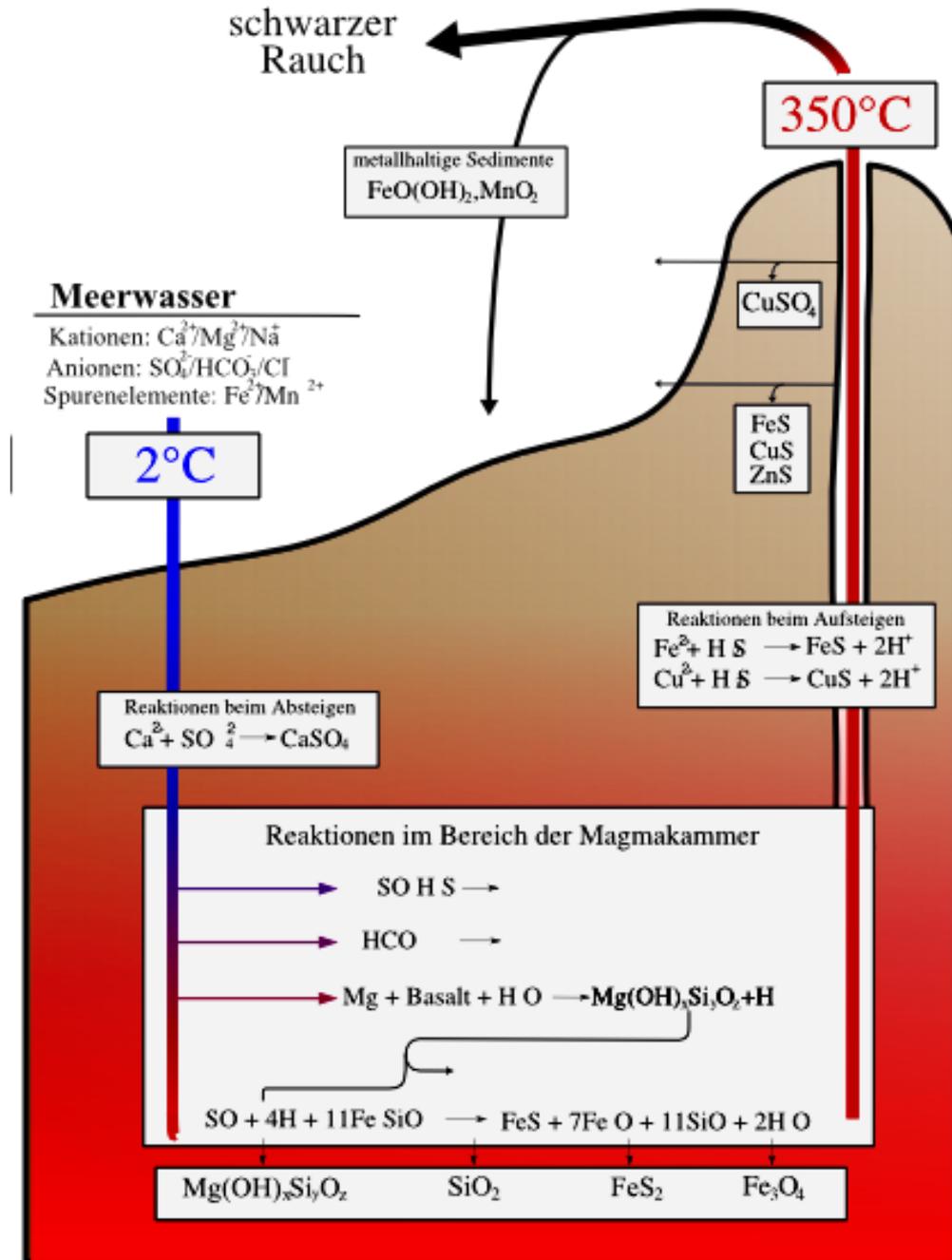
# Miller – Urey Experiment



# Endogene Quellen

## Hydrothermale Quellen

- Meerwasser, das durch ozeanische Kruste zirkuliert, erhitzt sich, löst sich und tauscht gelöste Stoffe mit dem umgebenden Gestein aus.
- Heißes Wasser mit gelösten Mineralien kann durch Risse und "Schlote" im Gestein wieder in den Ozean austreten.
- Bildung von *Black* und *White Smokers*.



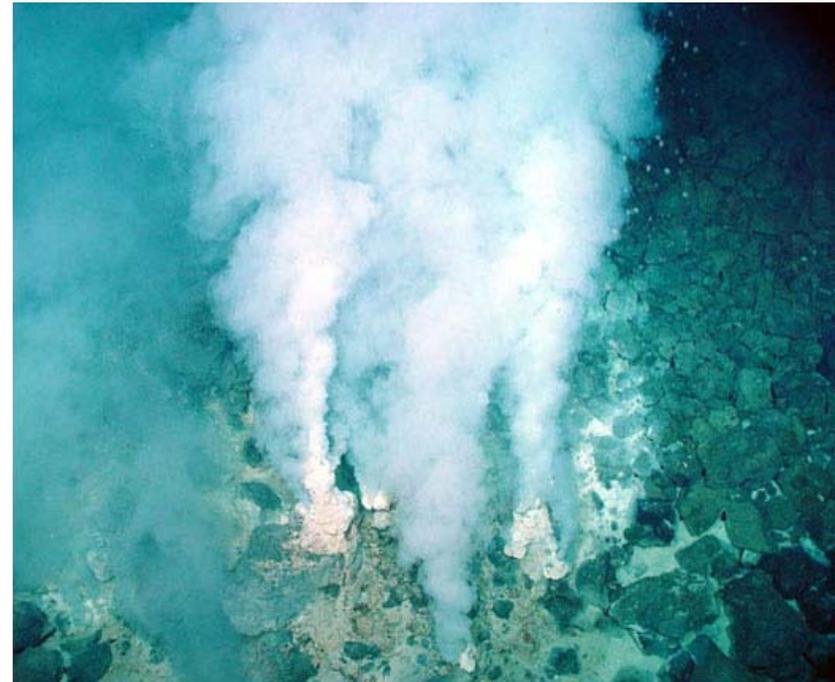
# Endogene Quellen

## *Hydrothermale Quellen*

- Meerwasser ca. 2 °C.
- Austretendes mineralhaltiges Wasser: bis zu 400 °C.
- Sulfide, Fe-, Mn-, Cu-, Zn-Salze.  
Bei Abkühlung: Mineralien bilden durch Ausfällung “Rauchfahne” und durch Sedimentation Schlot oder Kegel (im Mittel 20-25m hoch; höchster Schlot: 60m!).
- Schwarz*: reich an Fe-Salzen.
- Weiß*: reich an Anhydrit, Gips, SiO<sub>2</sub>.



Black Smoker



White Smoker

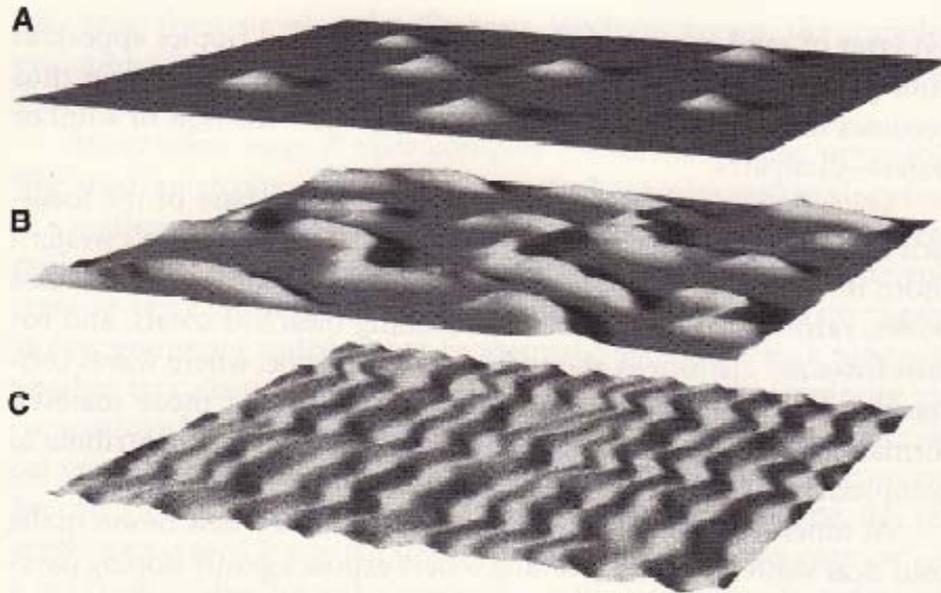


# Lebensentwicklung und der zweite Hauptsatz der Thermodynamik

- Lebende Systeme: Selbstorganisierende Ordnung?
- Praktisch lassen sich viele biologische Systeme durch Selbstassemblierung und Selbstorganisation in ihrer Entstehung beschreiben  
=> Entropie nimmt ab (?)
- Daraus stellt sich die Frage:
  - Entropie als Maß der Unordnung?
  - => Besser Entropie als Maß der Mikrozustände, die für ein abgeschlossenen System möglich sind einzunehmen



# Spontane Musterbildung



Patterns in sand grains emerge as the concentration of grains increases. At about a thousand grains per square centimeter (A) small, black-topped piles are observed; at a few thousand grains per square centimeter (B) discontinuous bands arise; and above 10,000 grains per square centimeter (C) continuous ripples cover the surface.

Systeme in Entstehung und Entwicklung:

Energiefluss durch System interagierender Teilchen

⇒ Spontane Musterbildung (geordnetes Subsystem)

⇒ effizientere Dissipation der Energie

⇒ Entropie des Gesamtsystems ist größer als Summe der Entropie der Einzelsysteme

Limit der Ordnung durch begrenzten Energiefluss:

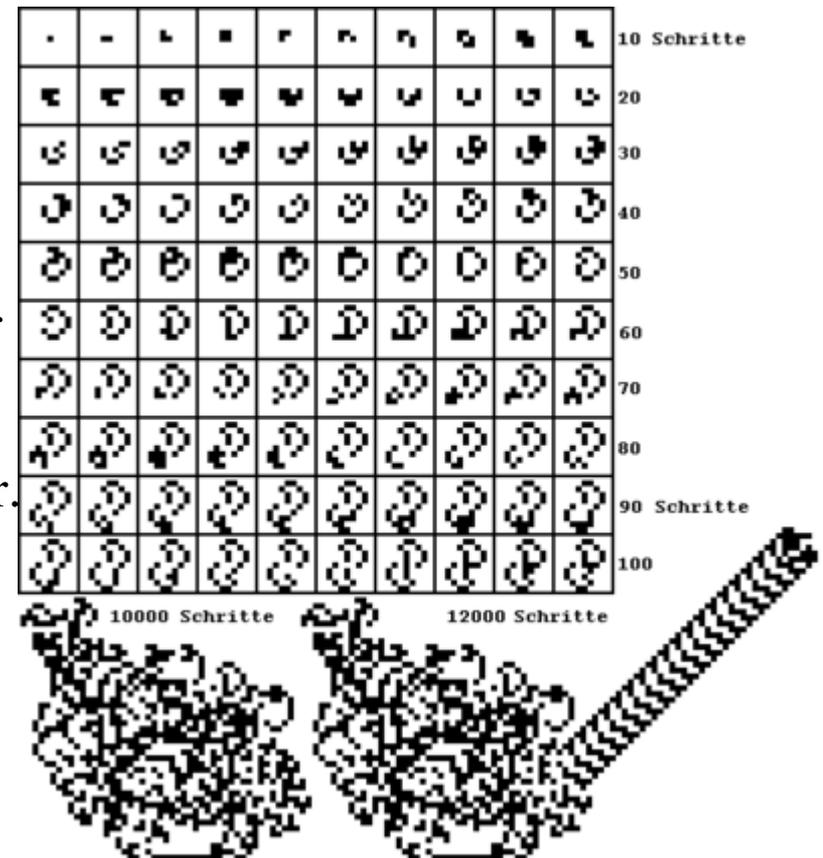
zu gering: ⇒ keine Muster

zu hoch: ⇒ Unordnung



# Ordnung aus Unordnung

- Eine Ameise befindet sich ursprünglich auf einem zunächst weißen Raster und sieht in eine beliebige Richtung (in der Bilderserie zuerst nach unten). Wenn sie ein neues Feld betritt, so gelten folgende Regeln:
- Ist das Feld weiß, so färbt sie es schwarz und dreht sich um 90 Grad nach rechts.
- Ist das Feld schwarz, so färbt sie es weiß und dreht sich um 90 Grad nach links.
- Danach läuft sie auf das nächste Feld in der neuen Blickrichtung.
- In den ersten 10.000 Schritten entsteht ein komplexes, chaotisch erscheinendes Muster. Danach bildet sich eine regelmäßige Struktur.





# Beispiel Lipidmembran

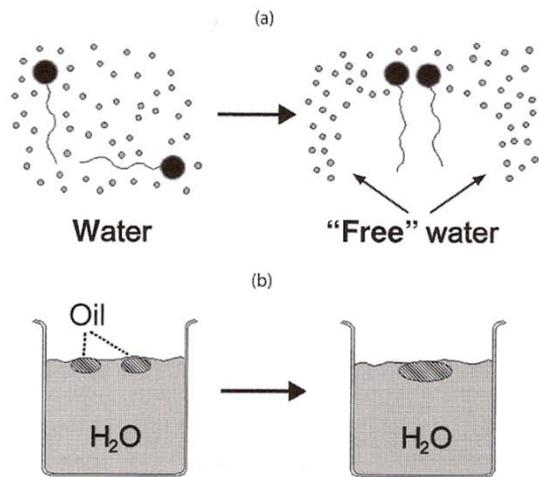
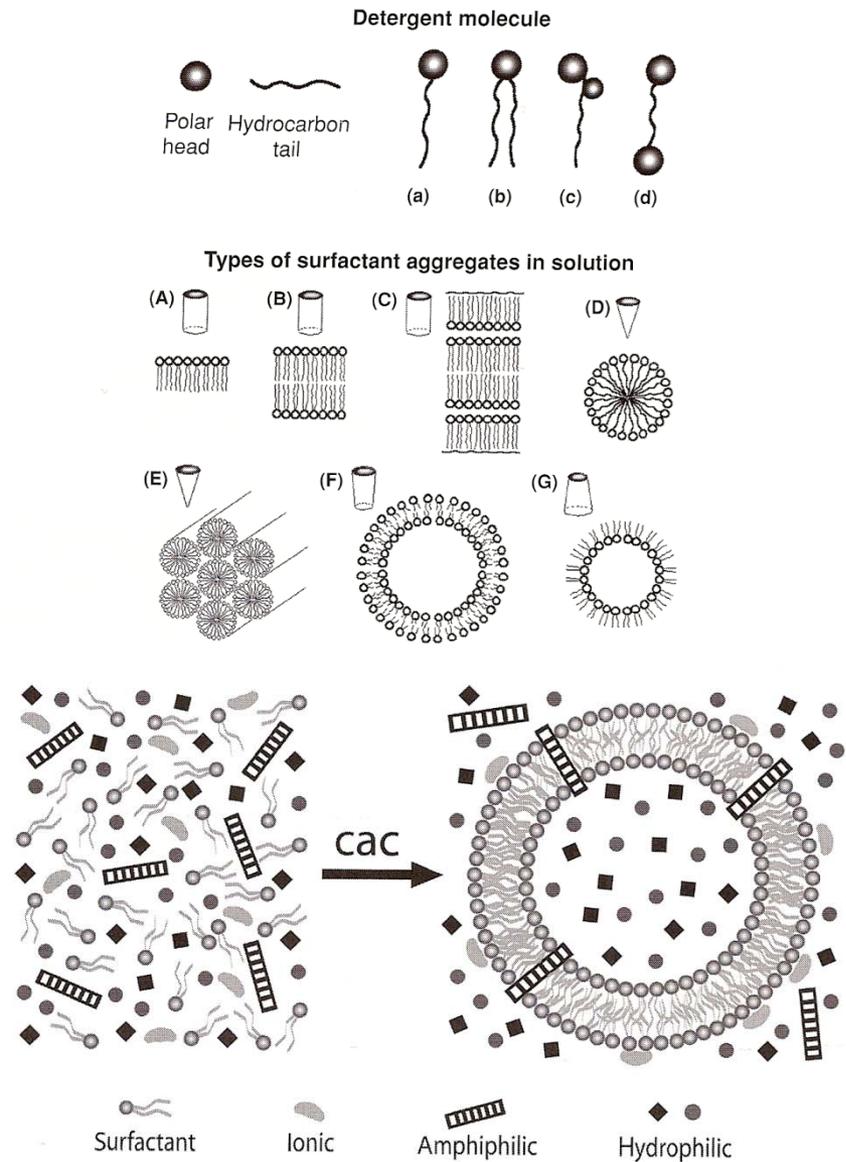
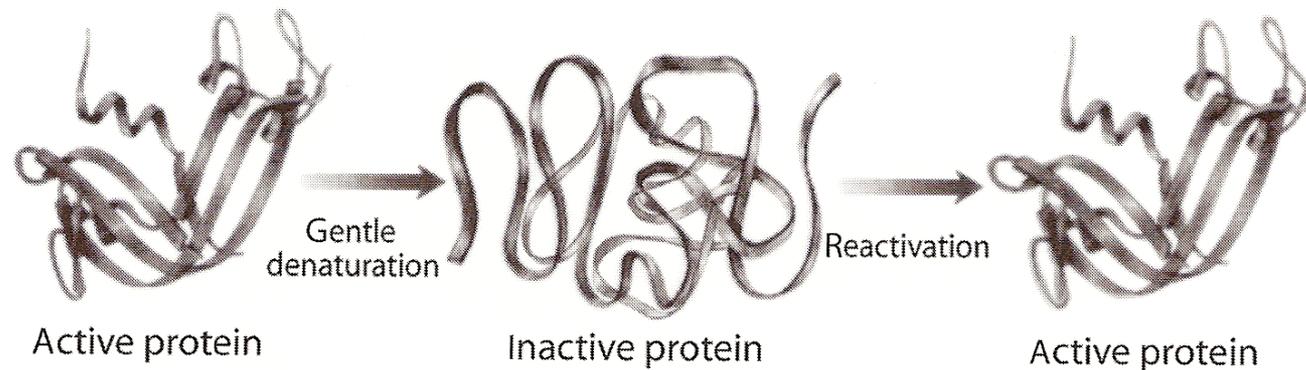


Figure 5.1 (a) The aggregation of surfactant molecules showing the increase of entropy due to the “liberation” of water molecules. Hydrophobic forces are the main factors for the association of surfactant molecules. (b) The analogy with two droplets of oil in water.





# Proteinfaltung und Entropie



Proteinfaltung unter thermodynamischen Bedingungen:

gefaltetes Protein (links) wird mit Agens denaturiert (entfaltet) (mitte)  
Rückfaltung unter thermodynamischen Bedingungen (rechts)

Proteinfaltung ist chemisch irreversibel, da chemisches Gleichgewicht auf gefalteter Form, aber insofern spontan reversibel, wenn man Protein denaturiert

Vergleich zu Polymerisierung: Polymerisierung senkt Entropie und läuft nicht spontan ab, benötigt äußere Kräfte zur Verschiebung des Gleichgewichts



# Entropie nach Clausius



Clausius führte 1864 den Begriff der Entropie in die Thermodynamik ein.

Zitat Clausius :

"Sucht man für  $S$  ( die Entropie ) einen bezeichnenden Namen , so könnte man, ähnlich wie von der Größe  $U$  ( der inneren Energie ) gesagt ist , sie sey der Wärme- und Werkinhalt des Körpers , von der Größe  $S$  sagen , **sie sey der Verwandlungsinhalt des Körpers** . Da ich es aber für besser halte , die Namen derartiger für die Wissenschaft wichtiger Größen aus den alten Sprachen zu entnehmen , damit sie unverändert in allen neuen Sprachen angewandt werden können , so schlage ich vor , die Größe  $S$  nach **dem griechischen Wort "tropae", die Verwandlung , die Entropie des Körpers zu nennen . Das Wort habe ich absichtlich dem Wort Energie möglichst ähnlich gebildet** , denn die beiden Größen, welche durch diese Worte benannt werden sollen, sind ihren physikalischen Bedeutungen nach einander so nahe verwandt , daß eine gewisse Gleichartigkeit in der Benennung mir zweckmäßig zu seyn scheint."



# Boltzmannsche Lebensformel



Boltzmann betrachtete 1877 Wärme als ein statistisches Phänomen: Damit konnte er das Makrokonzept der Entropie auf die möglichen Mikrozustände der Teilchen eines thermodynamischen Systems zurückführen.

**Entropie S:  $S = k \log W$**

$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$  (**Boltzmannsche Konstante**)

**W entspricht der Zahl der möglichen Mikrozustände die mit einem Makrozustand verknüpft sind (die eingenommen werden können). W erreicht ein Maximum wenn alle Mikrozustände gleich verteilt sind.**

Zitat Boltzmann:

**„Der allgemeine Lebenskampf der Lebewesen ist nicht ein Kampf um die Grundstoffe,... auch nicht um Energie, welche... in jedem Körper reichlich vorhanden ist, sondern ein Kampf um die Entropie.“**



# Übertragung auf biologische Systeme

- **Lebewesen stellen hochgeordnete Gebilde dar, die eigentlich im Laufe der Zeit zerfallen müssten. Warum existieren Lebewesen trotzdem ?**
- Lebewesen nehmen Energie (Nahrung, Sonnenlicht) auf, um den Zustand der geringen Entropie aufrecht zu erhalten.
- Lebewesen geben überschüssige Entropie an die Umwelt ab: Tiere nehmen entropiearme Nährstoffe wie Glucose auf und stellen daraus entropiereiche Produkte wie Kohlendioxid und Wasserdampf her. Beispiel heterotrophen Lebewesen (Tiere, Pilze): Energiereiche Nährstoffe (Fett oder Glucose) werden aufgenommen und in energiearme Verbindungen (Wasser und Kohlendioxid) abgebaut => Freisetzung von Energie und Abgabe von Entropie

**Abnahme der Nutzbarkeit von Energie = Zunahme der Entropie**

- **Die Entropie ist also ein Maß für die Nicht-mehr-Nutzbarkeit von Energie**  
**In jedem abgeschlossenen System strebt die Entropie einem Maximum zu:**  
**Jede Nutzung von Energie erhöht die Entropie, wenn man das die gesamte Aktivität einschließende (abgeschlossene) System betrachtet.**

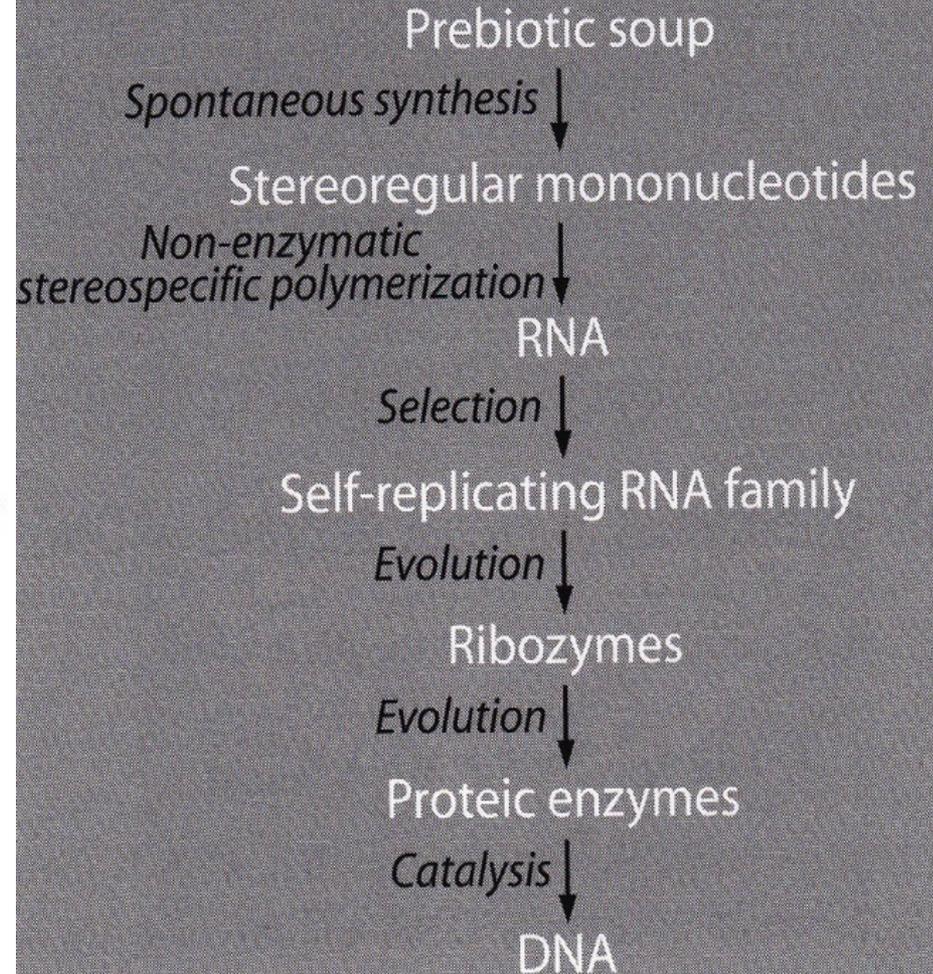


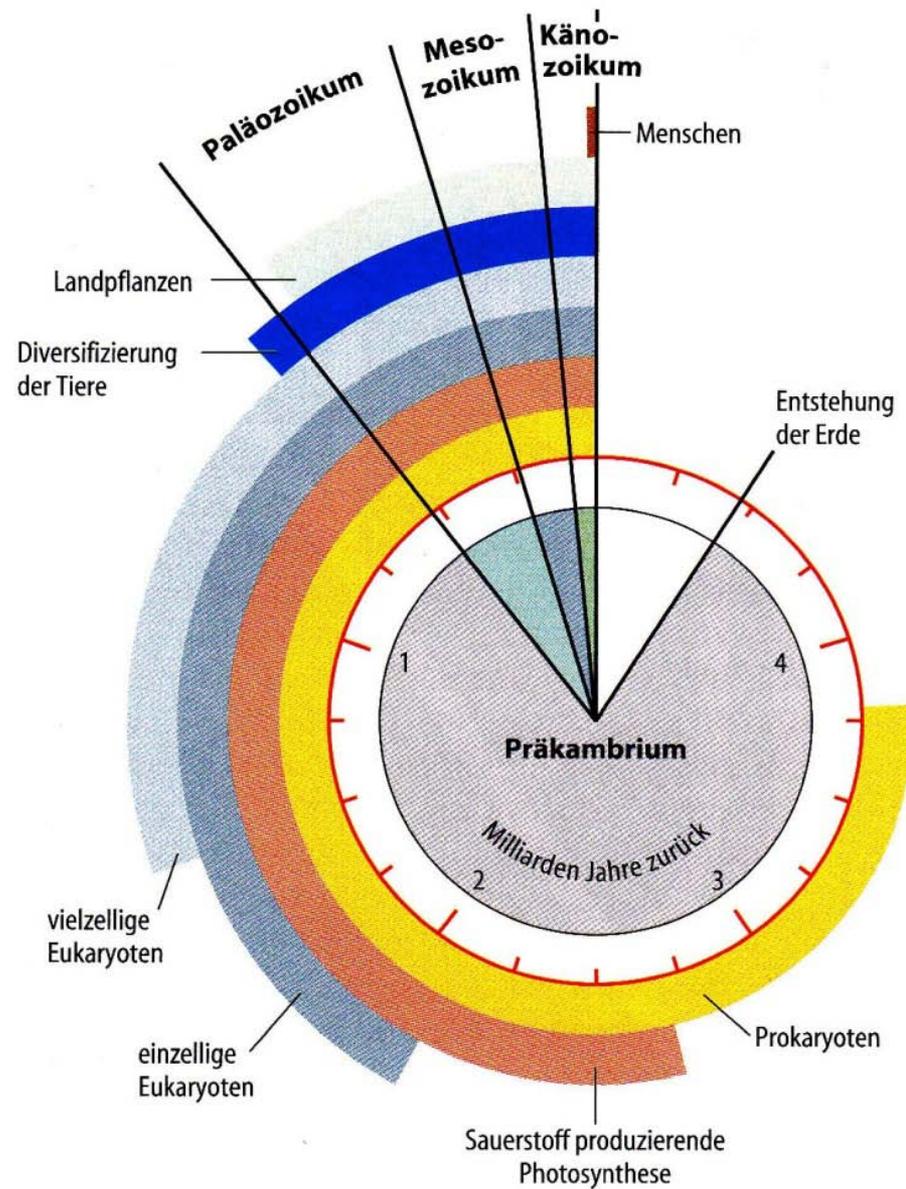
# Von der Ursuppe zur RNA / DNA

Prebiotic  
Compartments

1. Primitive metabolism
2. With specific macromolecular sequences

The RNA world

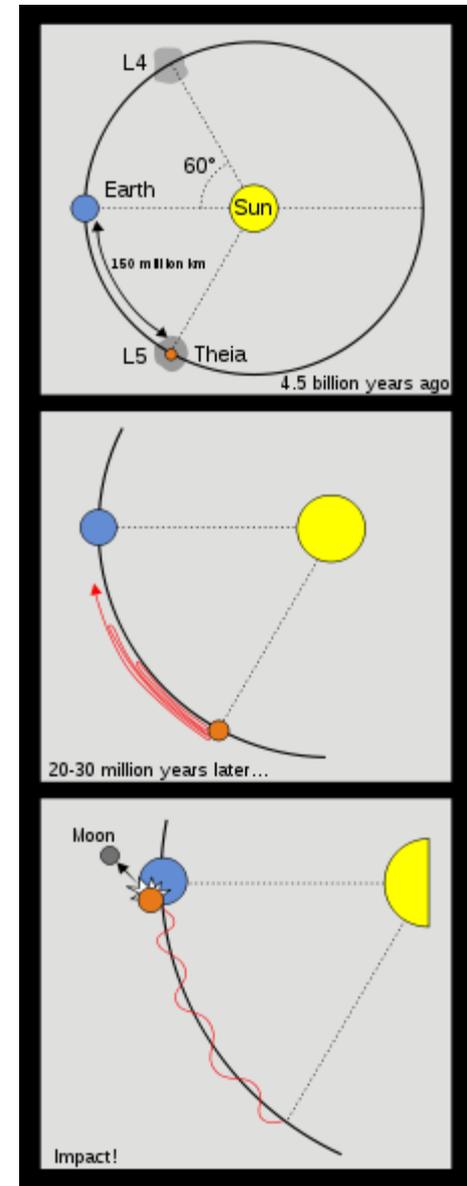
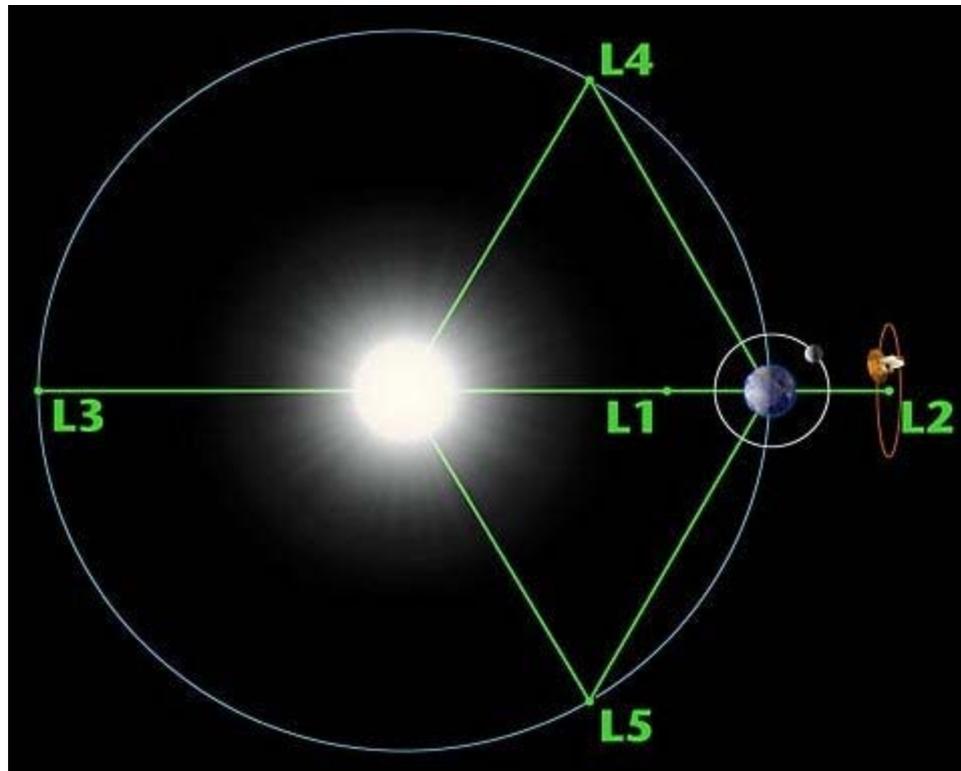




**26.2 Das Zifferblatt einer Uhr verdeutlicht die Zeiträume von Schlüsselereignissen der Evolutionsgeschichte.** Der Zeiger macht von der Entstehung der Erde bis zur Gegenwart einmal die Runde.



# Theia – Gaia



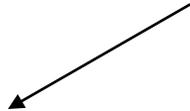




Theorien des Lebens



Entropie und Informationstheorie



System des Lebewesens



Urerde

Biogenese

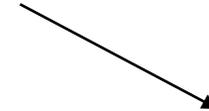


Intelligenzbildung

Kommunikation



Erforschung des Kosmos



Umgebung des Lebewesens



Kosmogogenese



Stellare Prozesse



Planetendetektion, -bildung



Urerde



Theorien des Lebens



Entropie und Informationstheorie



System des Lebewesens

Umgebung des Lebewesens



Urerde

Kosmogenese

Biogenese

Stellare Prozesse

Intelligenzbildung

Planetendetektion, -bildung

Kommunikation



Erforschung des Kosmos

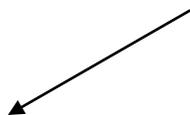
Urerde



# Theorien des Lebens



## Entropie und Informationstheorie



System des Lebewesens



Umgebung des Lebewesens



Urerde

Biogenese



Intelligenzbildung

Kommunikation



Erforschung des Kosmos

**AB/ABP I**



Mensch verlässt  
sein Habitat **AB/ABP III**



Kosmogense



Stellare Prozesse



Planetendetektion, -bildung



Urerde

**AB/ABP II**



# Astrobiologie & Astrobiophysik

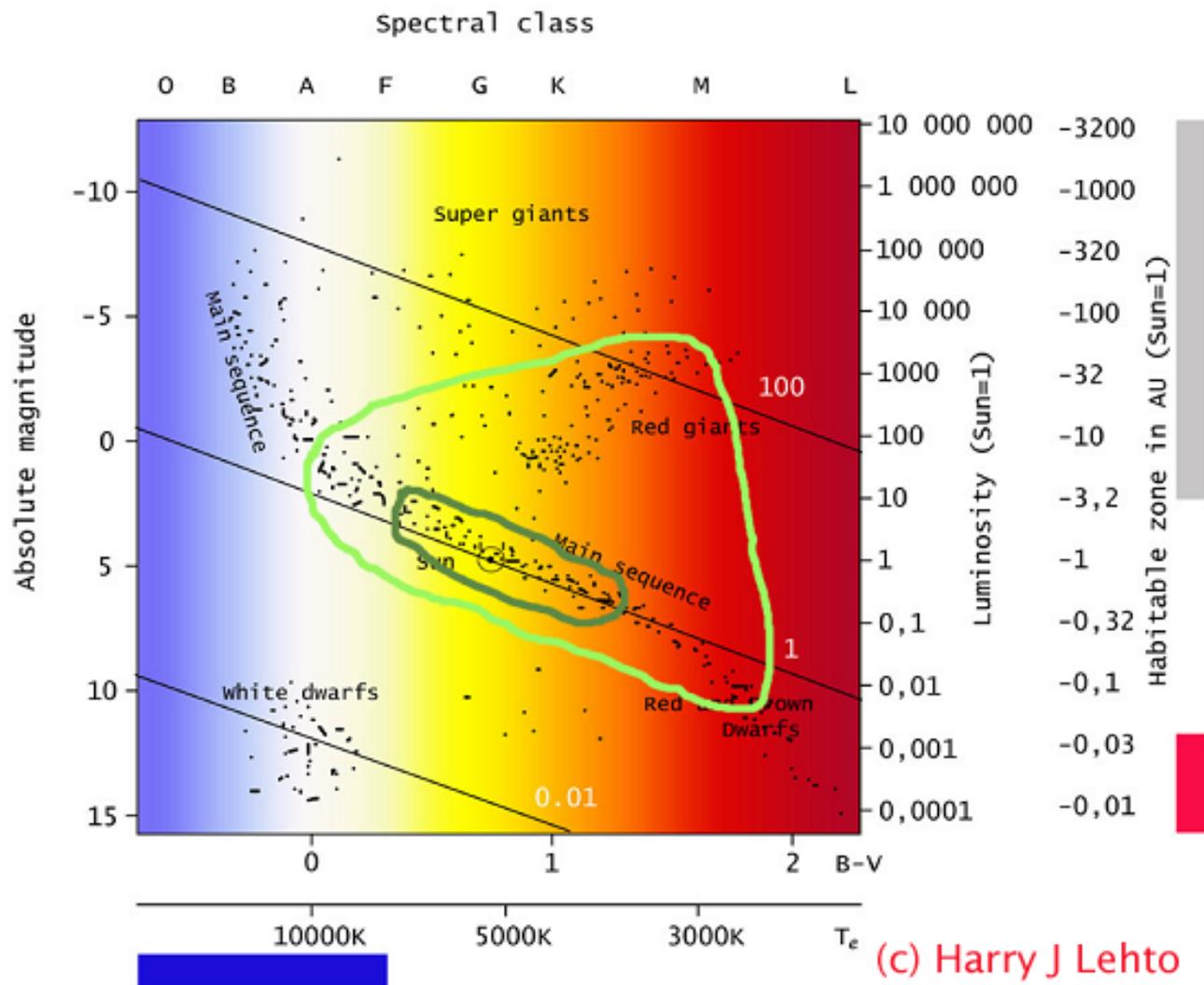
## Biologisches Hertzprung- Russell- Diagramm

Grün = Regionen für  
erdähnliches Leben

Blau = zu heiß

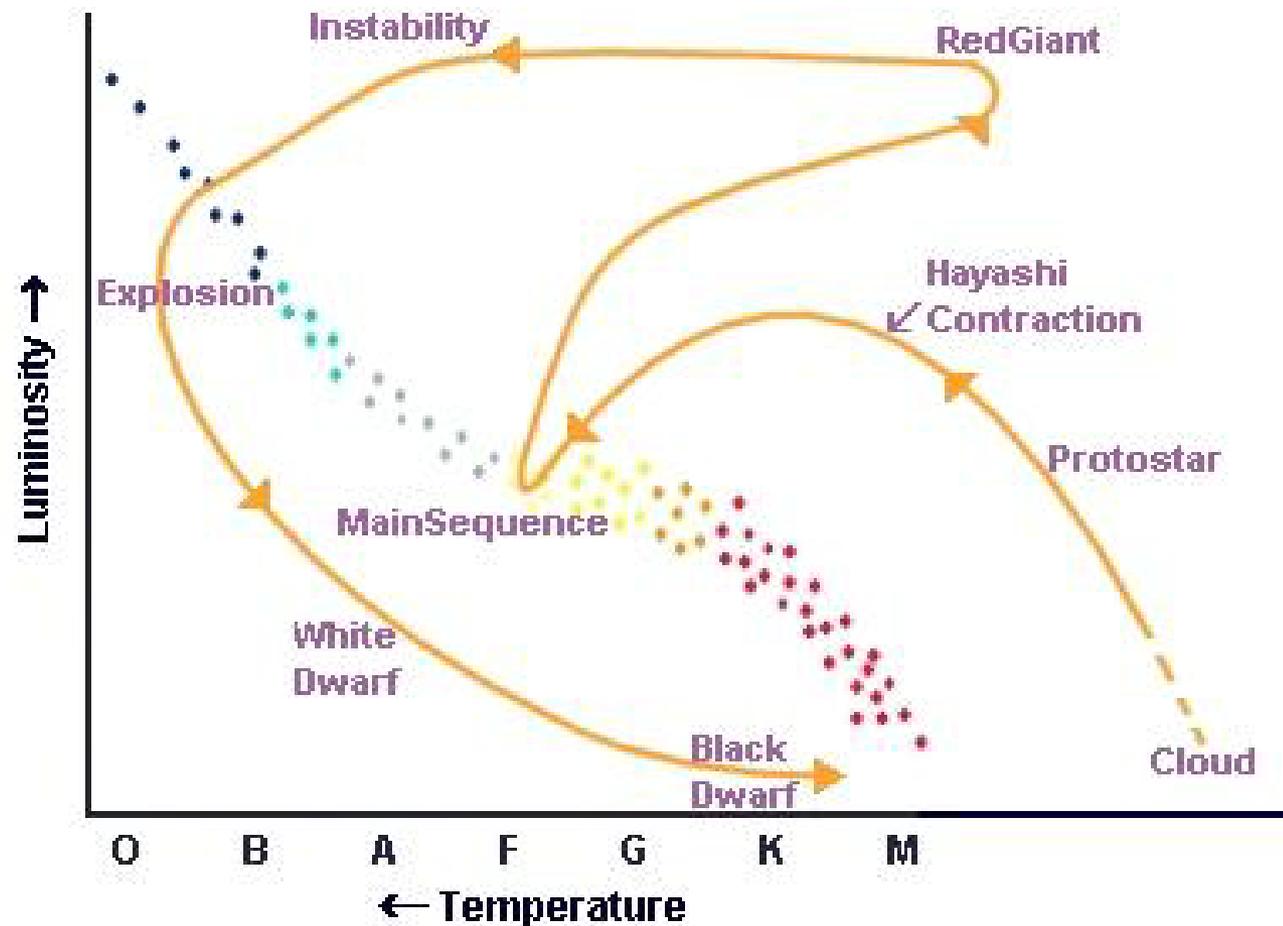
Rot = gebundene  
Rotation

Grau = geringere  
Verweildauer



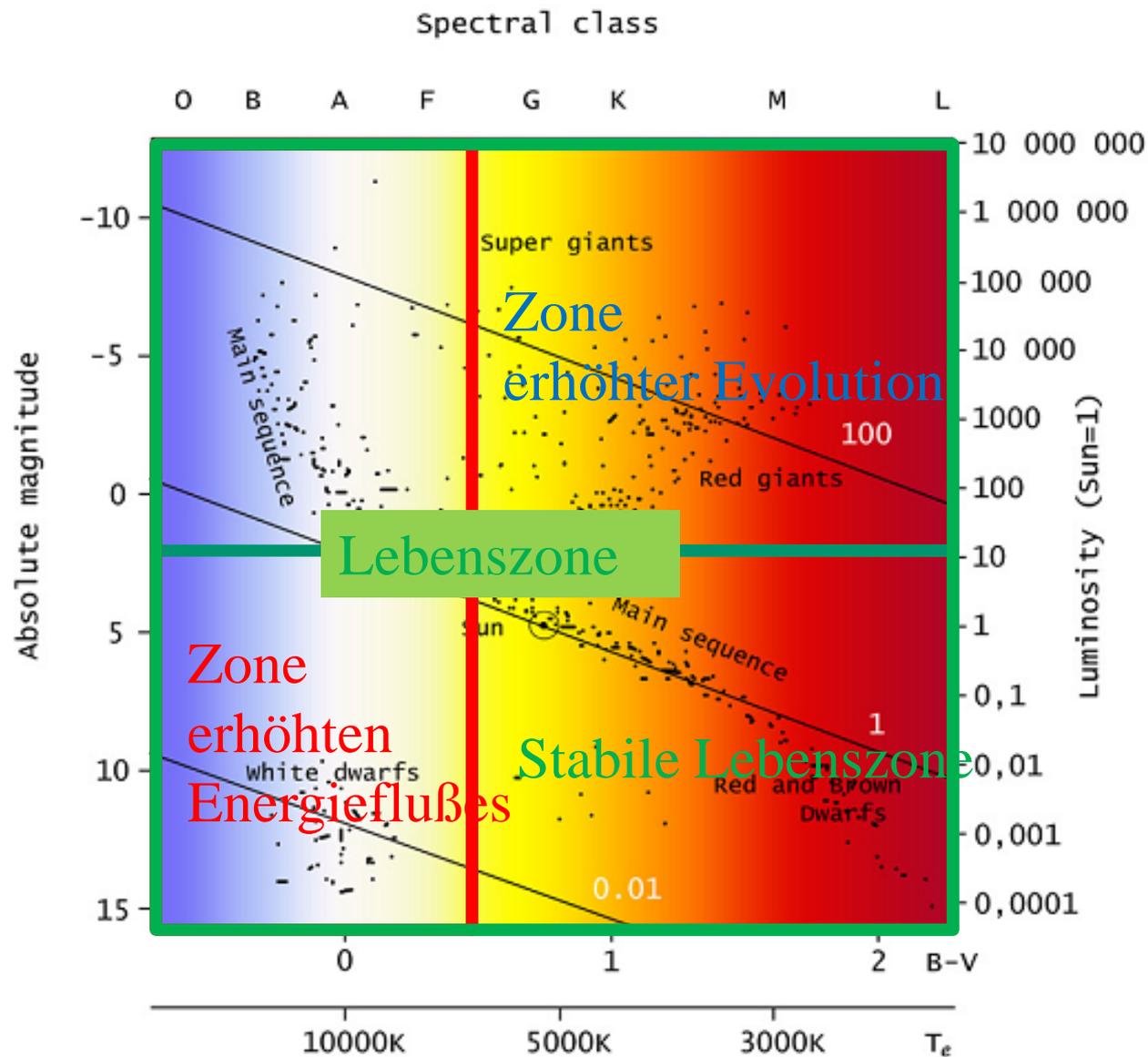


# Astrobiologie & Astrobiophysik





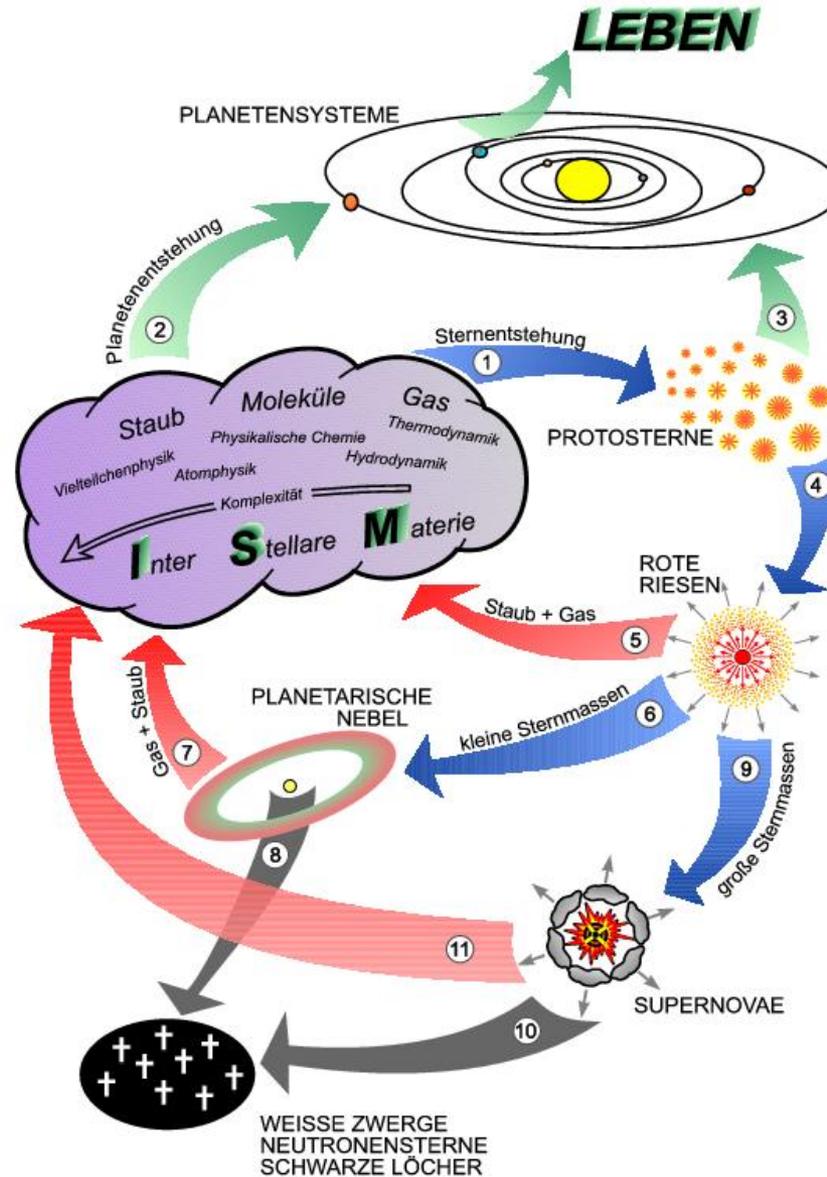
# Biologisches Hertzsprung- Russell Diagramm



(c) Harry Lehto (HRD-Bild)

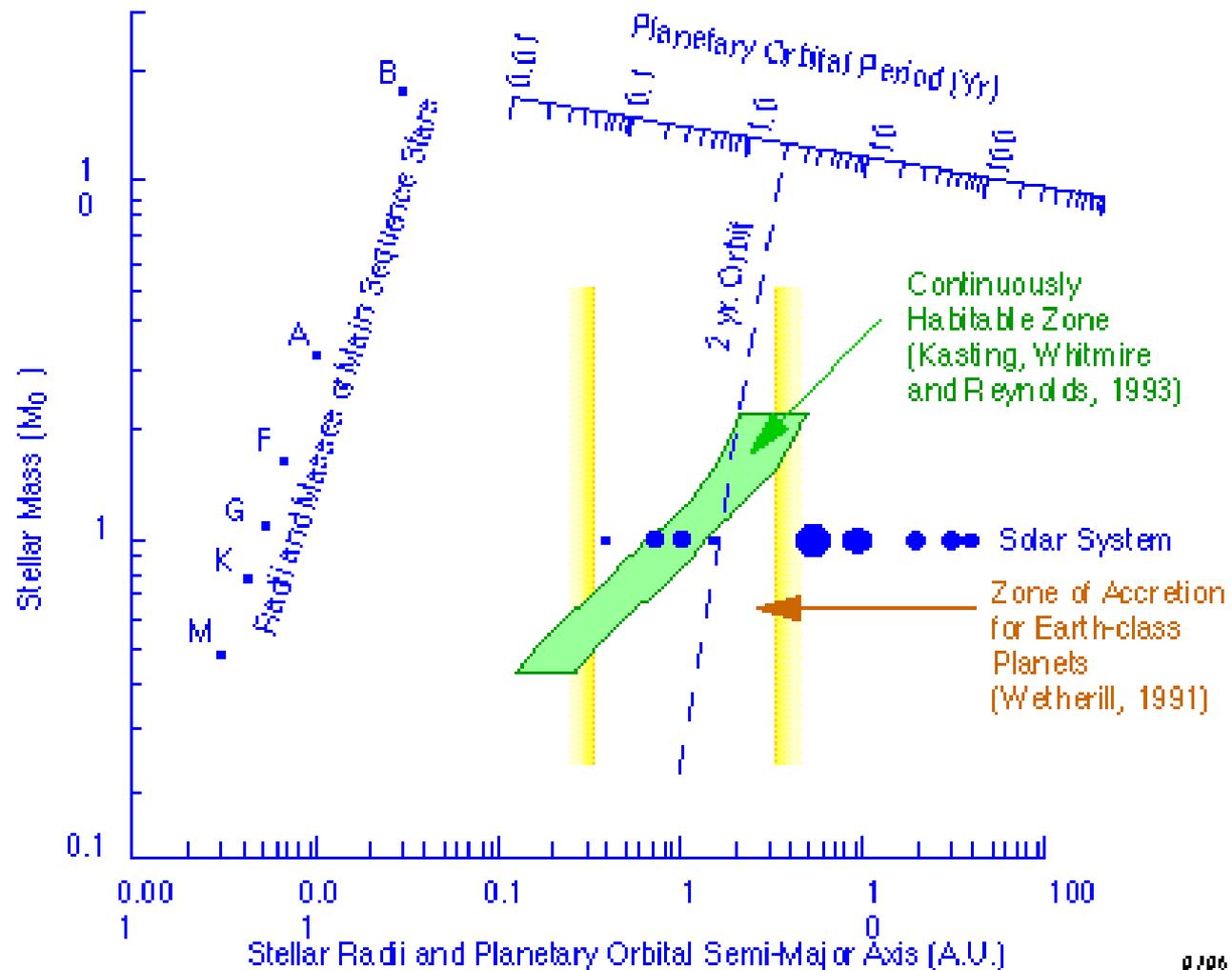


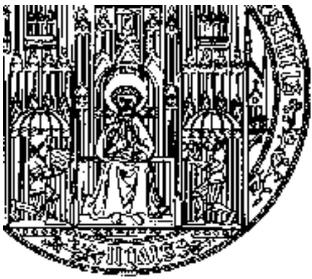
# Astrobiologie & Astrobiophysik





# Astrobiologie & Astrobiophysik





# Astrobiologie & Astrobiophysik

Alte wie neue Disziplin über das Thema: **Gibt es woanders Leben?**

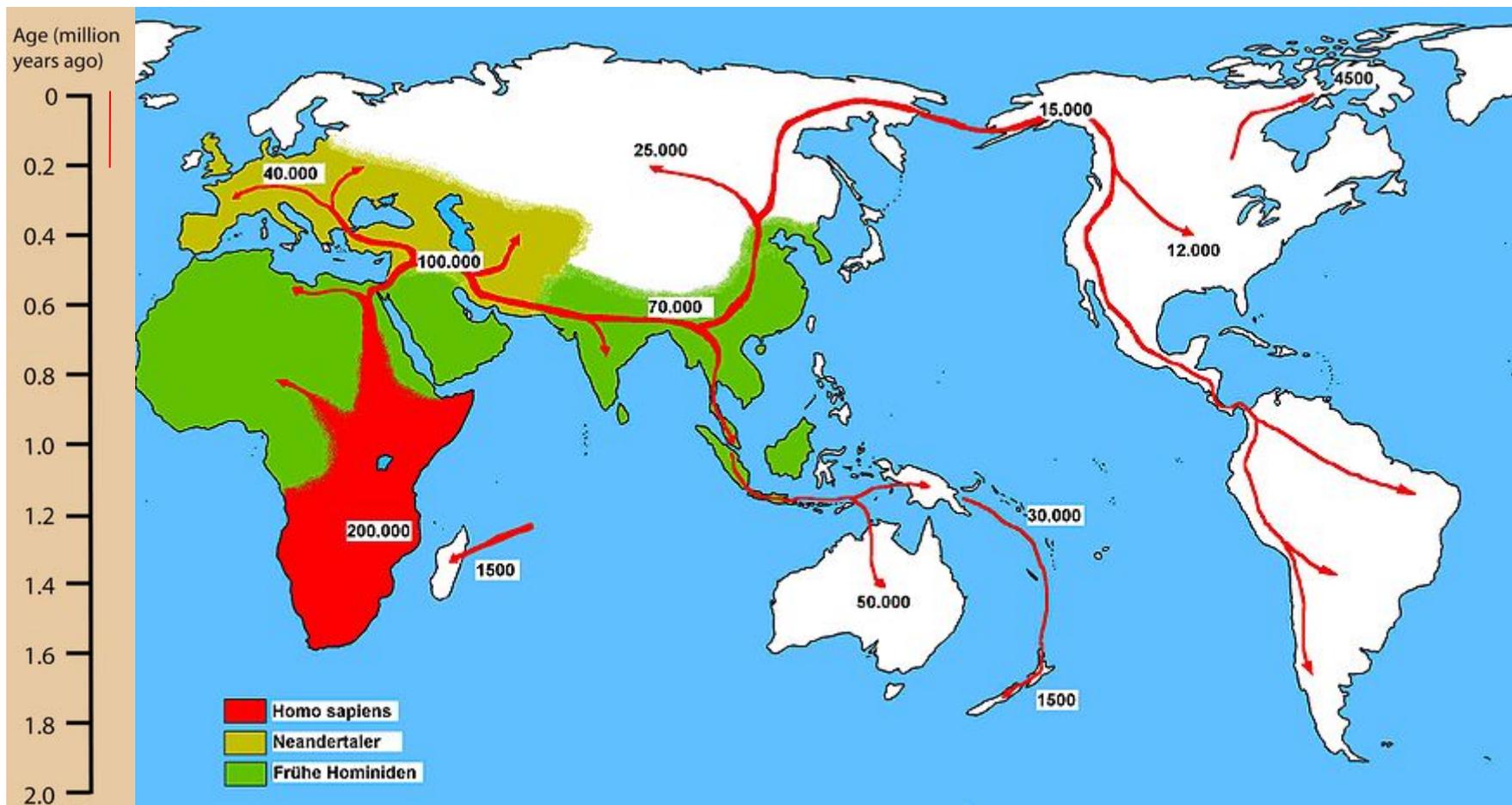
Früher ebenso bekannt als Exobiologie, Xenobiologie, Geobiologie.

## Zentrale Fragen

- Was ist Leben?
- Wie entstanden die Erde und andere Planeten?
- Wie entstand Leben auf der Erde?
- Wie ist seine Zukunft auf der Erde?
- Wie ist menschliches Leben außerhalb der Erde möglich?
- Ist unsere Erde der einzige belebte Planet?
- In welchen Umgebungen kann Leben auftreten?
- Können wir solche Umgebungen auch im All erzeugen?
- Wie können wir Leben woanders im All finden?
- Welche Wege hat Leben woanders genommen?
- Wie häufig sind komplexes oder intelligentes Leben?
- Welche Dinge sind überhaupt komplex oder intelligent?

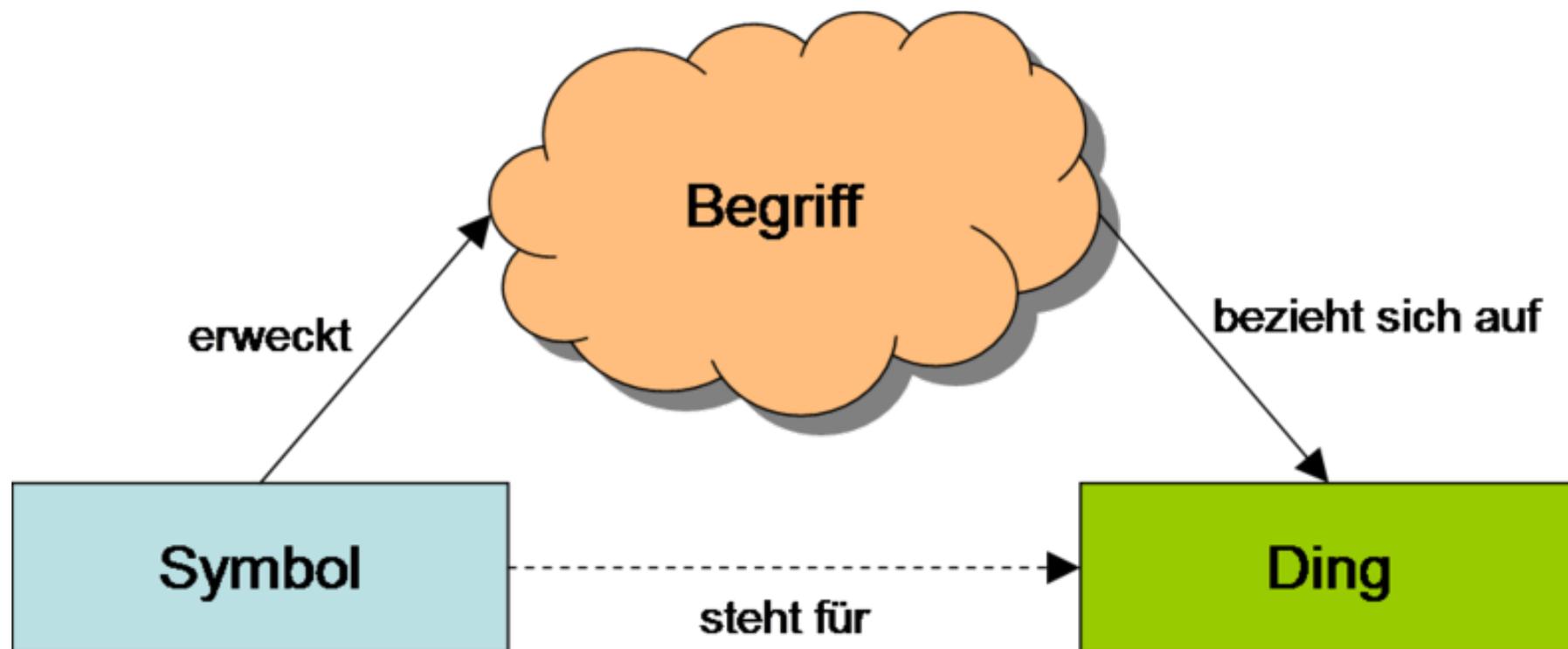


# Entwicklung und Ausbreitung des Menschen



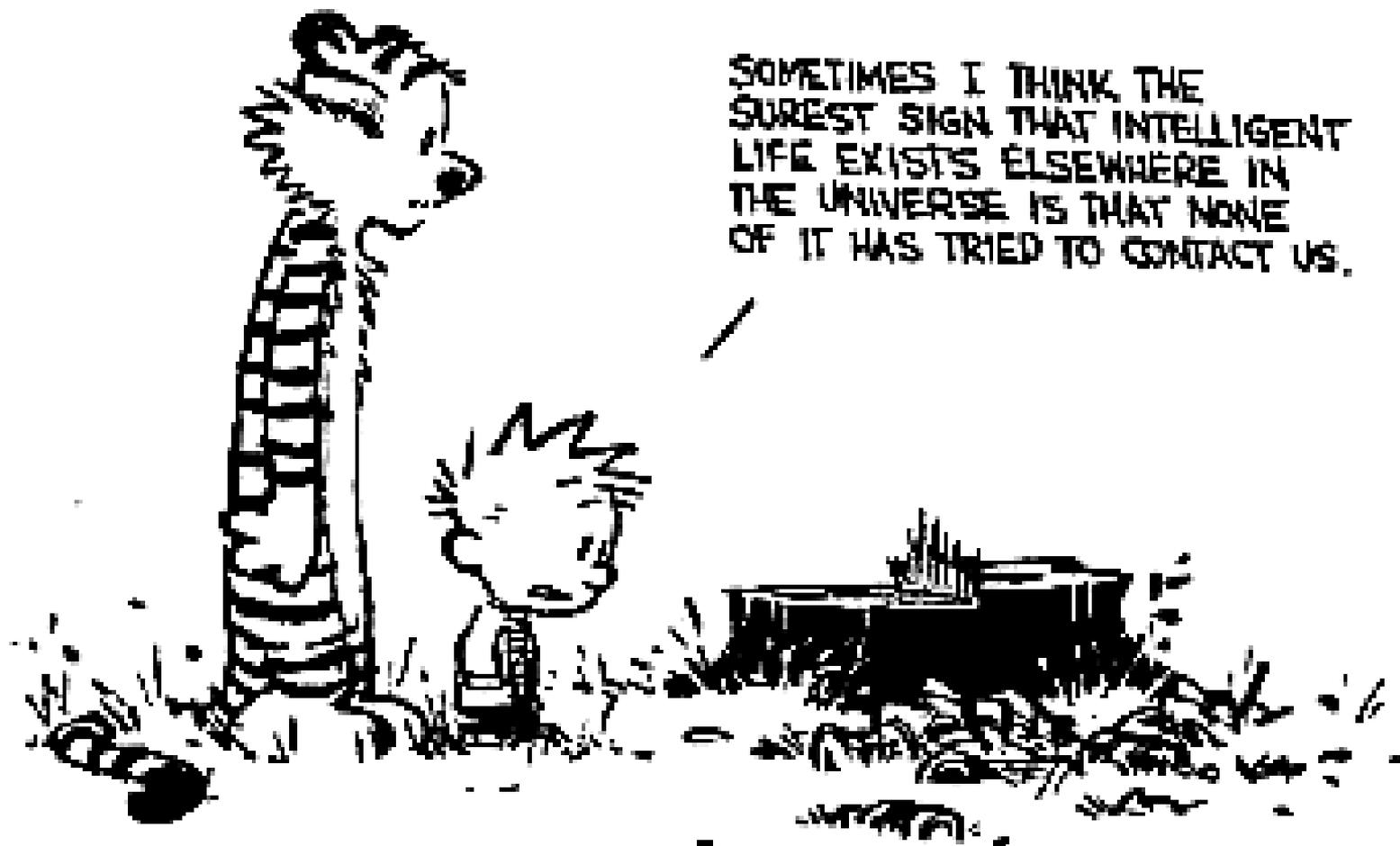


# Kommunikation: Sprache und Denken





# Gibt es Außerirdische?



SOMETIMES I THINK THE  
SUREST SIGN THAT INTELLIGENT  
LIFE EXISTS ELSEWHERE IN  
THE UNIVERSE IS THAT NONE  
OF IT HAS TRIED TO CONTACT US.



# Spracherkennung

Die **etruskische Schrift** ist die Schrift der Etruskischen Sprache. Sie wurde von den Etruskern seit dem 7. Jahrhundert v. Chr. bis zur Assimilation durch die Römer in einer Variante des altitalischen Alphabets geschrieben. Die Schrift hat sich aus einer frühen Stufe des griechischen Alphabets entwickelt und wird von rechts nach links geschrieben.

ABΓDEFIΘ⊗IKΛΜΝΞΟΠΡΣΤΥΧΦΥ8  
ABΓDEFIΘ⊗IKΛΜΝΞΟΠΡΣΤΥΧΦΥ8  
8ΥΦΧΥΤΖ49Μ10ΒΥΛΚΙ⊗ΒΙΦΞΔΓΒΑ

ETRUSCAN ΕΤΡΥΞΓΑΖ, korrekt allerdings andersherum

ετρυξγαζ



# Beispiel

## Der Diskos von Phaistos

(griechisch Δίσκος της Φαιστού, auch *Diskos von Phaestos* oder *Diskos von Festos*), eine Scheibe aus gebranntem Ton, ist eines der bedeutendsten Fundstücke aus der Bronzezeit.



Gelungene Entzifferungsversuche der Vergangenheit zeichneten sich immer dadurch aus, dass es gelang, zum Beispiel mit Hilfe einer Bilingue, eine eindeutige Zuordnungsvorschrift für die einzelnen Silbenwerte zu finden. Die bisher für den Diskos vorgeschlagenen Deutungen diskutieren die verwendeten Lösungsschritte entweder nicht oder aber greifen auf Ideen zurück, die letztlich auf das Durchprobieren von Silben hinauslaufen. Keine dieser Deutungen fand daher wissenschaftliche Anerkennung.



# Kommunikation mit Außerirdischen

$10^{11}$  Galaxien im observablen Universum

meisten Galaxien sind 1.000 bis 100.000 parsecs  
( $\approx$  3.000 bis 300.000 ly) im Durchmesser

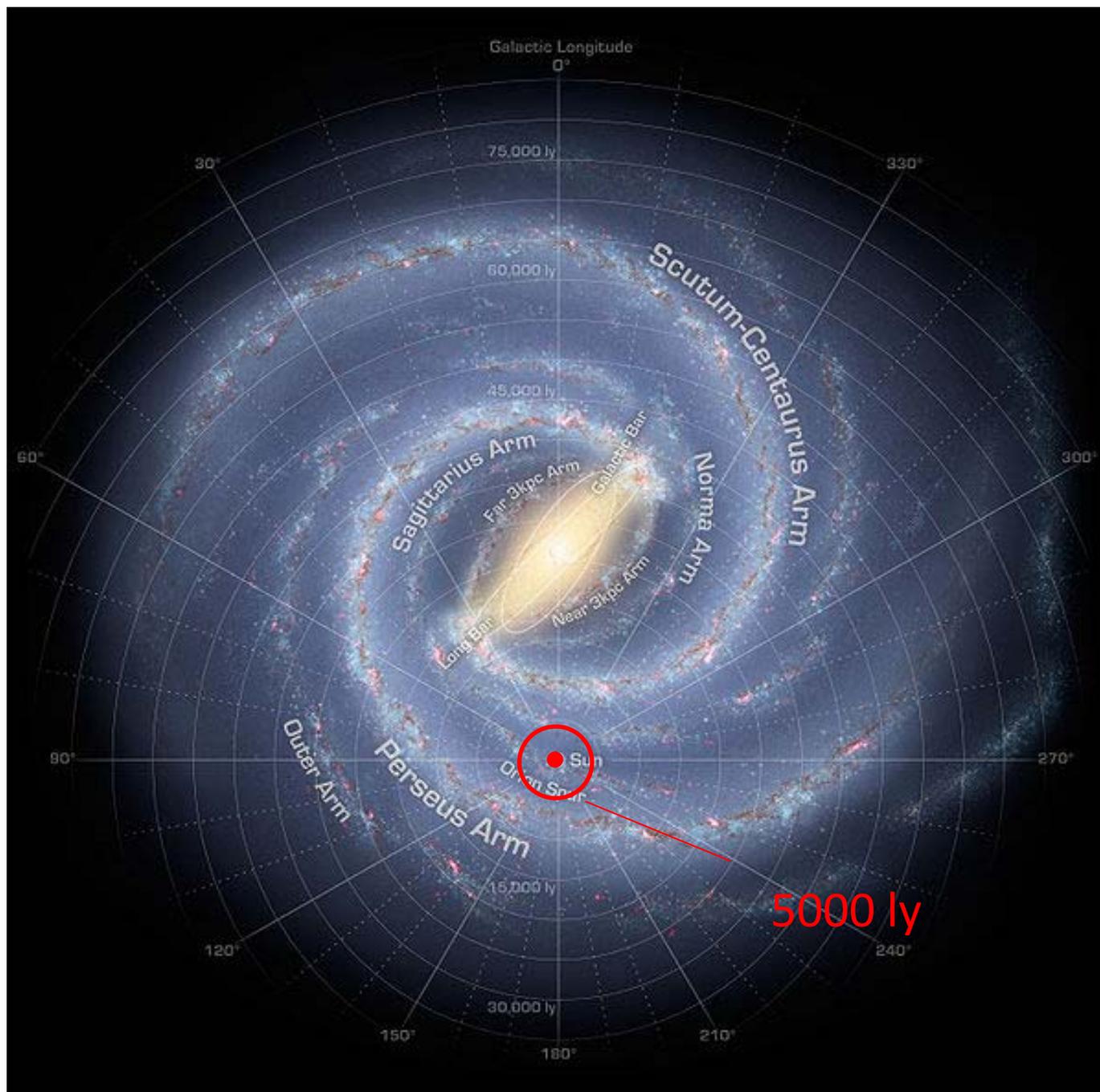
Milchstraße:

ist eine der größeren Galaxien

besitzt etwa  $3 \cdot 10^{11}$  Sterne

Durchmesser von 70.000 bis 100.000 ly

Sonne 26.000 bis 35.000 ly vom Zentrum





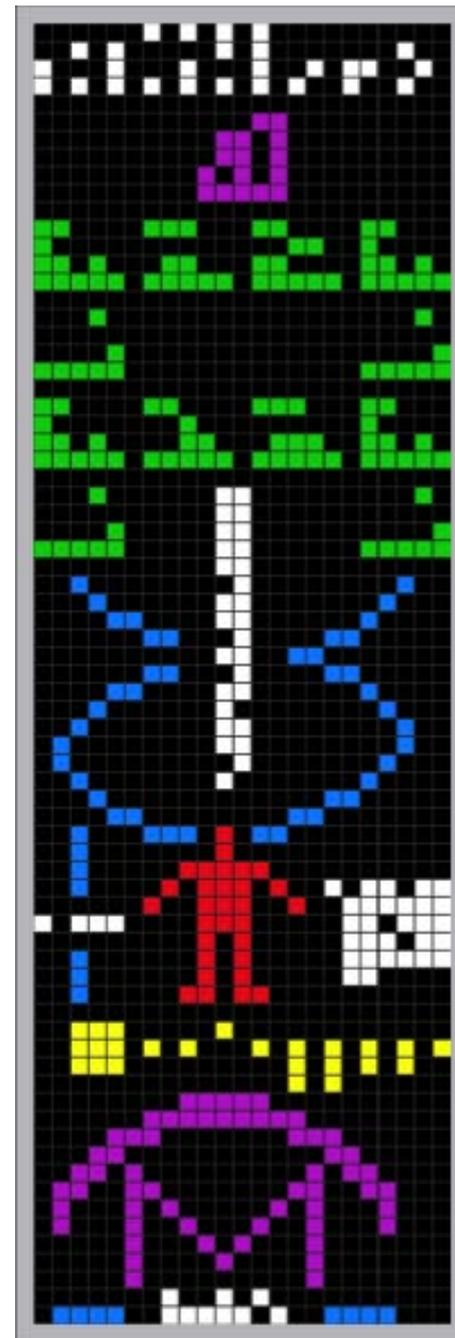


## Arecibo Nachricht

Arecibo Radioteleskop, 16 November 1974

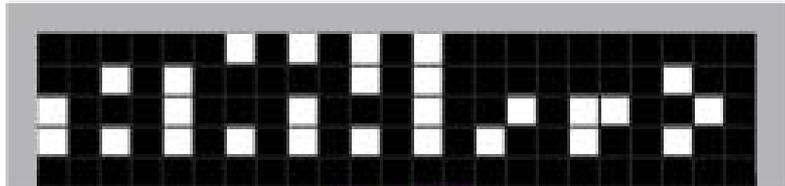
- 1679 bits
- $P = 1\text{GW}$
- $f = 2380\text{ MHz}$
- Modulation mit 10Hz
- pro Bit 10 sec

Ziel Kugelsternhaufen Messier13 (22,800 ly)



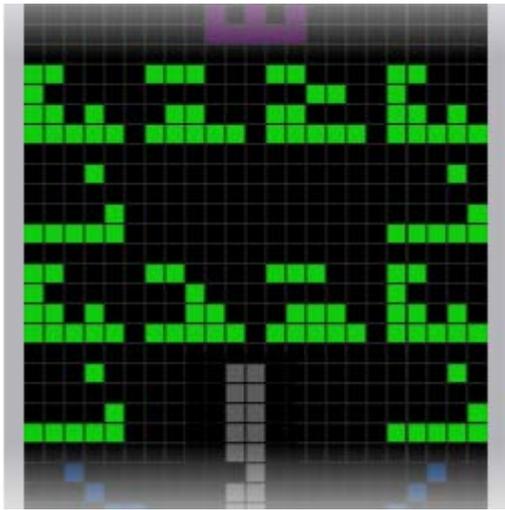
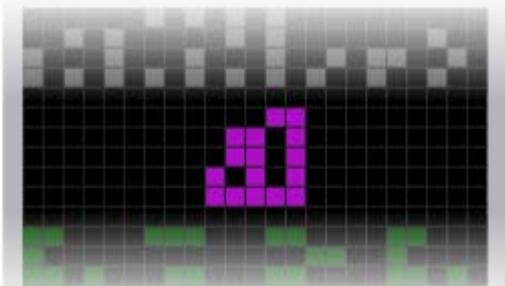


# Inhalt der Arecibo Nachricht



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	1	1	1	1	00	00	00
0	1	1	0	0	1	1	00	00	10
1	0	1	0	1	0	1	01	11	01
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Ordnungszahlen der Elemente: H, C, N, O, P



Desoxyribose  
(C<sub>5</sub>H<sub>7</sub>O<sub>7</sub>)

Adenin (C<sub>5</sub>H<sub>4</sub>N<sub>5</sub>)<sup>1</sup>

Thymin  
(C<sub>5</sub>H<sub>5</sub>N<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)<sup>1</sup>

Desoxyribose  
(C<sub>5</sub>H<sub>7</sub>O<sub>7</sub>)

Phosphat (PO<sub>4</sub>)

Phosphat (PO<sub>4</sub>)

Desoxyribose  
(C<sub>5</sub>H<sub>7</sub>O<sub>7</sub>)

Cytosin (C<sub>4</sub>H<sub>4</sub>N<sub>3</sub>O)<sup>1</sup>

Guanin (C<sub>5</sub>H<sub>4</sub>N<sub>5</sub>O)<sup>1</sup>

Desoxyribose  
(C<sub>5</sub>H<sub>7</sub>O<sub>7</sub>)

Phosphat (PO<sub>4</sub>)

Phosphat (PO<sub>4</sub>)



# Inhalt der Arecibo Nachricht

Das erste, in der Grafik blau-weiß eingefärbte Objekt zeigt die Größe des Menschen. Die Höhe errechnet sich aus der dargestellten Zahl 14 multipliziert mit der Wellenlänge der Nachricht, 12,6 cm. Das Ergebnis lautet 176,4 cm.

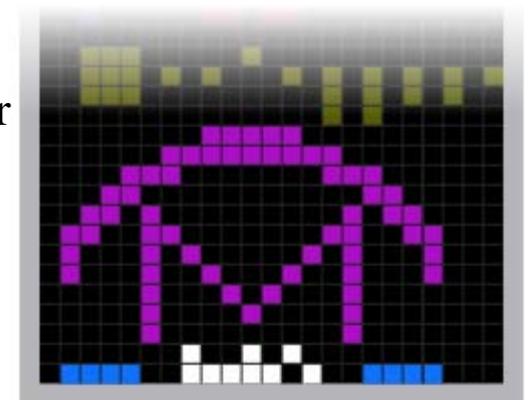
Das mittlere, rot eingefärbte Objekt zeigt die grobe Skizze der menschlichen Gestalt.

Das rechte Objekt zeigt die Zahl 4.292.853.750 (von rechts nach links und von oben nach unten gelesen), die ungefähre Anzahl der Erdbevölkerung zur Zeit der Absendung der Botschaft (1974).

Planetensystem

Skizze des Observatoriums.

Der weiß eingefärbte Teil zeigt die binär codierte Zahl 2430 in der Mitte eines waagerechten Balkens. Dieser deutet an, dass es sich um eine Breitenangabe handelt. Die Breite errechnet sich aus der dargestellten Zahl 2430 multipliziert mit der Wellenlänge der Nachricht, 12,6 cm. Das Ergebnis lautet ca. 306 m, der ungefähre Durchmesser der Antenne (eigentlich 304,8 m).





# Astrobiologie & Astrobiophysik III



seit 20. 11. 1998

Höhe: 350 km über der Erdoberfläche;  
Inklination  $51,6^\circ$   
Umlaufzeit ca. 91 min,  $v_1 = 7,7$  km/s



# Astrobiologie & Astrobiophysik III

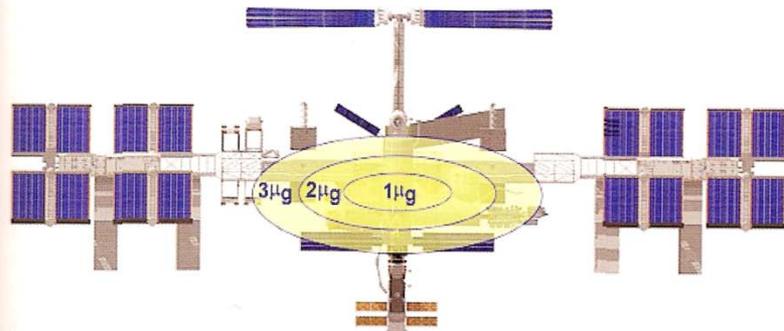
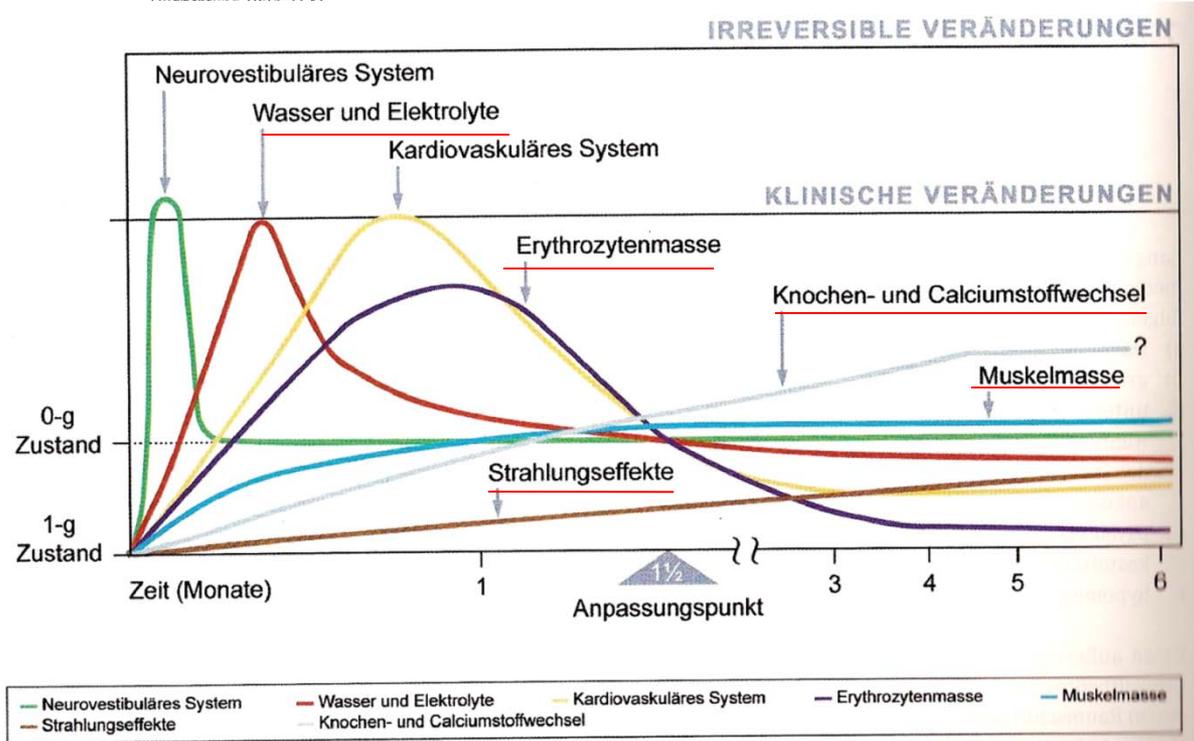
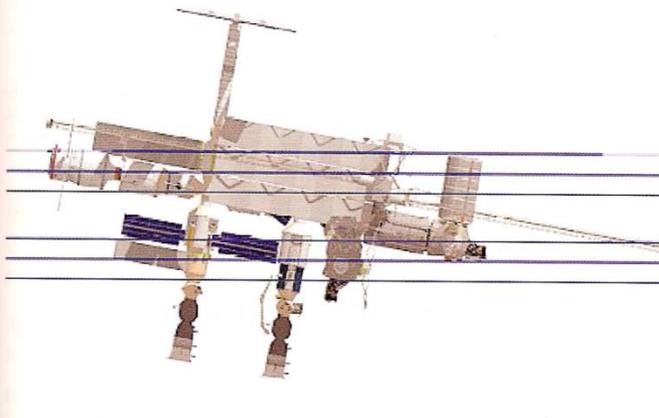


Bild 7.5.1: Linien gleicher Restbeschleunigung auf der ISS, Sicht gegen Flugrichtung (DLR, ESA)





# Strahlenbiophysik & Strahlenbiologie

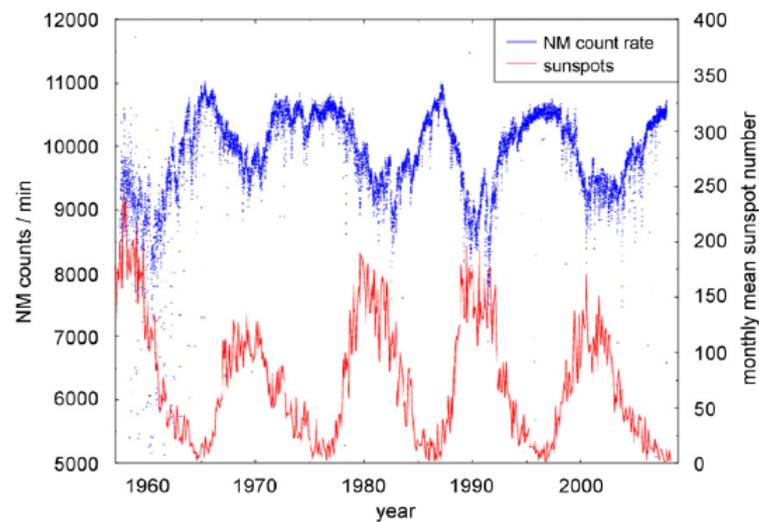
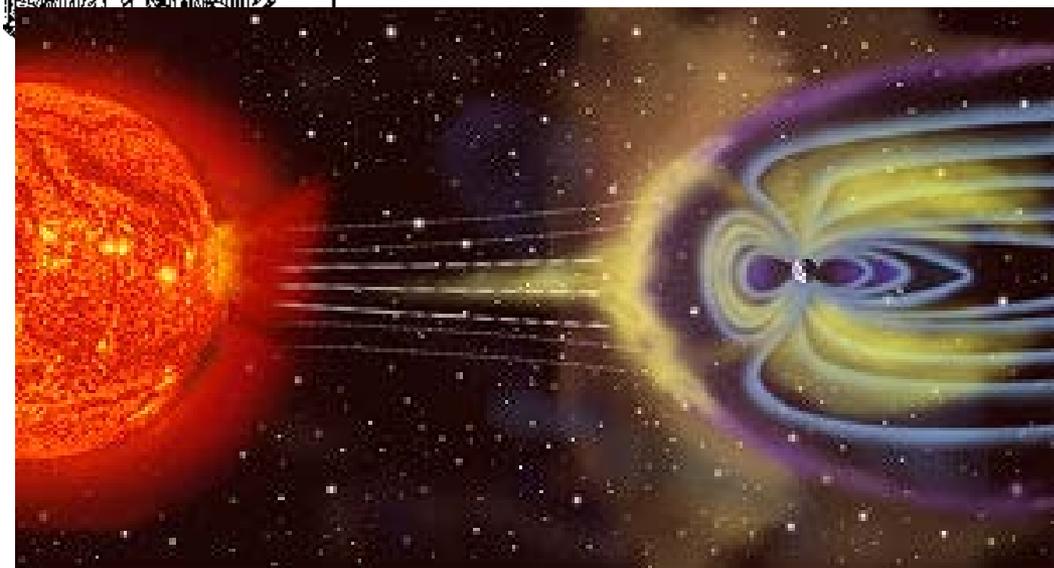


Figure 3. Cosmic ray variation with the solar cycle measured by the Neutron Monitor (NM) in Kiel (<http://134.245.132.179/Kiel/Main.html>). The cosmic rays show an inverse relationship to the sunspot numbers because Sun's magnetic field is stronger during sunspot maximum.



# Astrobiologie & Astrobiophysik

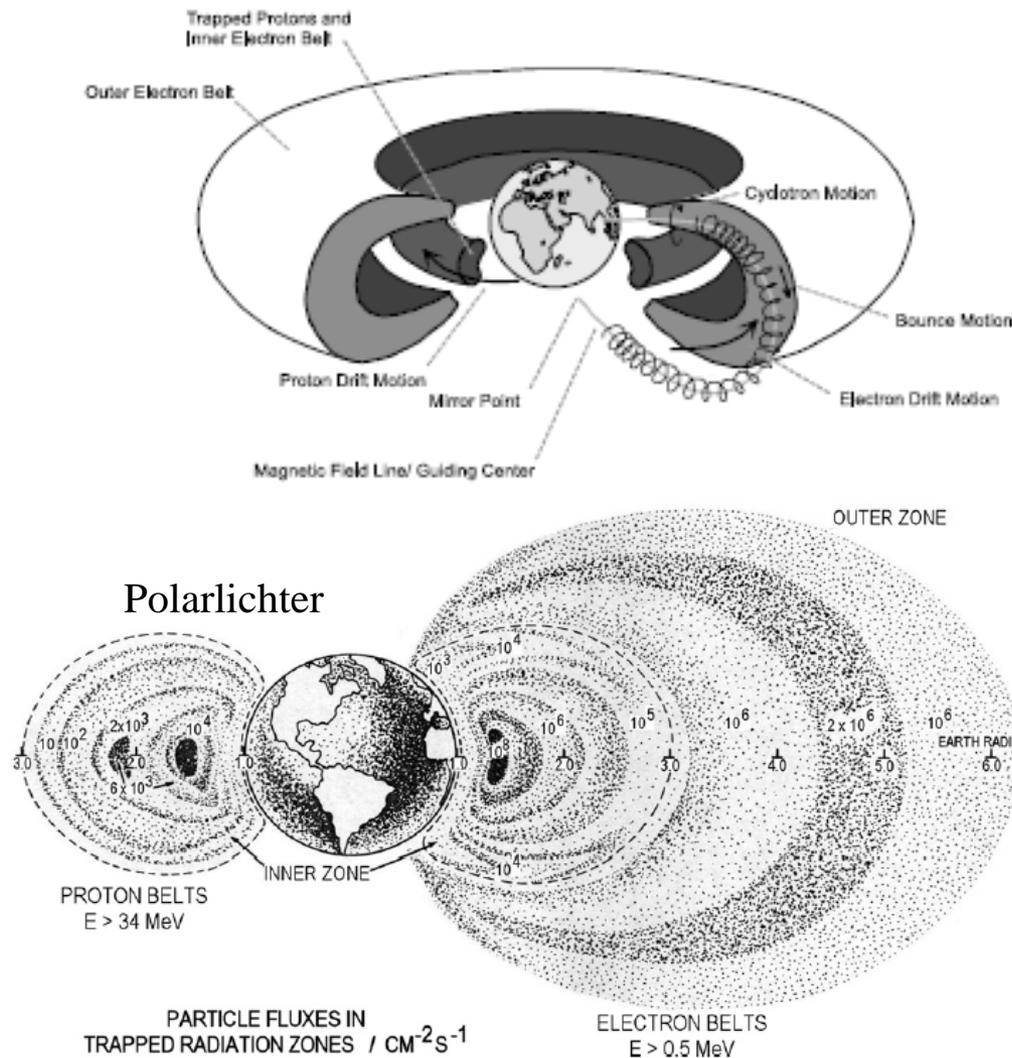
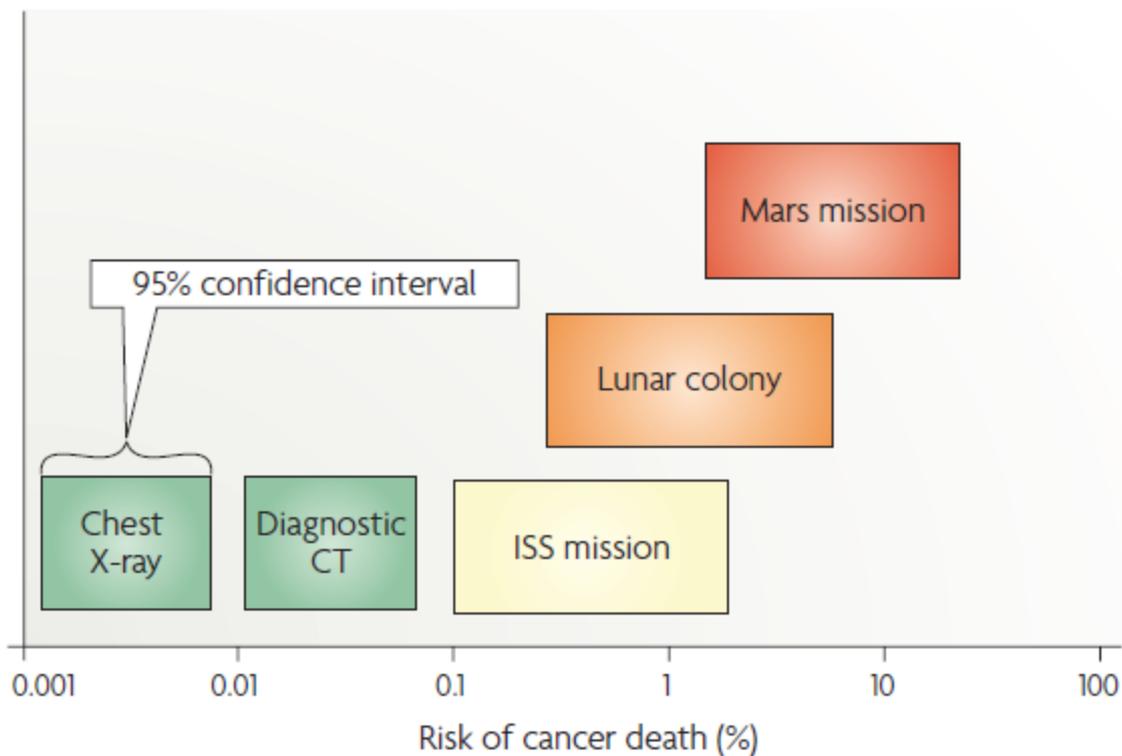


Figure 6. Integral flux densities in inner and outer terrestrial radiation belts for trapped protons and electrons in particles  $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ .



# Astrobiologie & Krebs



“Cancer is not a random bunch of selfish rogue cells behaving badly, but a highly-efficient pre-programmed response to stress, honed by a long period of evolution,” claims professor [Paul Davies](#), director of the BEYOND Center for Fundamental Concepts in Science at ASU and principal investigator of a major research program funded by the National Cancer Institute designed to bring insights from physical science to the problem of cancer.



# Astrobiologie & Krebs

In a paper published online Feb. 7 in the UK Institute of Physics journal *Physical Biology*, Davies and [Charles Lineweaver](#) from the Australian National University draw on their backgrounds in astrobiology to explain why cancer cells deploy so many clever tricks in such a coherent and organized way.

They say it's because cancer revisits tried-and-tested [genetic pathways](#) going back a billion years, to the time when loose collections of cells began cooperating in the lead-up to fully developed multicellular life. Dubbed by the authors "Metazoa 1.0," these early assemblages fell short of the full cell and organ differentiation associated with modern multicellular organisms – like humans.

But according to Davies and Lineweaver, the [genes](#) for the early, looser assemblages – Metazoa 1.0 – are still there, forming an efficient toolkit. Normally it is kept locked, suppressed by the machinery of later genes used for more sophisticated body plans. If something springs the lock, the ancient genes systematically roll out the many traits that make cancer such a resilient form of life – and such a formidable adversary.

"Tumors are a re-emergence of our inner Metazoan 1.0, a throwback to an ancient world when multicellular life was simpler," says Davies. "In that sense, cancer is an accident waiting to happen."

"Our new model should give oncologists new hope because cancer is a limited and ultimately predictable atavistic adversary," says Lineweaver. "[Cancer](#) is not going anywhere evolutionarily; it just starts up in a new patient the way it started up in the previous one."

# Astrobiologie & Astrobiophysik

Vorlesung: Di 17 – 19 Uhr, KIP INF 227  
[www.kip.uni-heidelberg.de/user/hausmann](http://www.kip.uni-heidelberg.de/user/hausmann)  
studentische Arbeitsgruppe (interdisziplinär):  
<http://astrobio-heidelberg.wikispaces.com/>  
*HERZLICH WILLKOMMEN*

**Danke für Ihre  
Aufmerksamkeit !**

