

System Erde (36) Die Entstehung des Lebens auf der Erde (Teil 2)



Warum ist es so schwierig, die Frage nach der Entstehung des Lebens zu beantworten?

1. Es ist noch nicht klar, ab wann und ab welchem Komplexitätsgrad man überhaupt bei einem molekularen System von „Leben“ sprechen kann

Teilproblem: Allgemeingültige Definition von „Leben“

2. Welche molekularen Grundbausteine sind für die Entstehung molekularer lebender Systeme notwendig und wie und unter welchen Umständen entstehen sie

Teilprobleme: Entstehung molekularer monerer Stoffe wie Aminosäuren, organischer Basen, Lipide und Kohlenhydrate aus anorganischen Stoffen

3. Das Henne – Ei – Problem. Was war „zuerst“ da, funktionelle Proteine oder Informationsmoleküle bzw. Hybride aus beiden?
4. Ab wann und auf was wirkte die Darwinsche Evolution, um molekulare Baupläne und Prozesse schrittweise zu optimieren?

Warum ist es so schwierig, die Frage nach der Entstehung des Lebens zu beantworten?

5. Was waren die Energiequellen der ersten Lebensformen?

Teilprobleme: Effektive autotrophe Metabolismen (Gärung, Photosynthese) wurden erst einige Zeit später „erfunden“.

Und noch einige grundlegende Fragen:

Ist Leben etwas Einzigartiges oder eine einzigartige Ansammlung von gewöhnlichen Dingen ?

Ist die Entstehung des Lebens ein wahrscheinlicher Vorgang oder benötigt es spezielle Umstände?

Ist Leben eine physikalische Notwendigkeit?

Die drei wesentlichen Charakteristika lebender System (M.Eigen, 1999)

Selbstreproduktion

ohne diesen Prozeß ginge nach jeder Generation Information verloren

Mutation

ohne sie wäre Information unveränderlich – und daher keine Fortentwicklung möglich

Metabolismus

ohne Stoffwechsel entwickelt sich ein lebendes System zu einem Gleichgewichtszustand, aus dem eine Weiterentwicklung nicht möglich wäre

„Arbeitsdefinition“ des Lebens (NASA)

Leben ist ein sich selbst erhaltenes chemisches System, das zur Darwinschen Evolution fähig ist.

- Kompartimentierung
- Energiestoffwechsel
- Katalyse
- Regulation
- Wachstum
- Programm
- Reproduktion
- Anpassung

Das Leben zeichnet sich durch eine in der unbelebten Natur einzigartigen Komplexität aus, die eine Reduktion auf einfache chemische und physikalische Gesetzmäßigkeiten aussichtslos erscheinen lassen. Lebensvorgänge sind aber prinzipiell physikalisch- chemisch erklärbar.

Was spricht dafür, dass die Entstehung von Leben und dessen Entwicklung ein natürlicher Prozess ist?

Die Funktionsweise von lebenden Zellen wird auf molekularem Niveau immer besser verstanden. Alle metabolischen, homöostatischen und replikativen Prozesse beruhen auf normaler Physik und Chemie, nirgends ist eine *vis vitalis* zu erkennen ...

Alle Lebewesen auf der Erde arbeiten mit dem gleichen genetischen Code

Die grundlegendsten biochemischen Prozesse sind bei allen Lebewesen gleich (z.B. Energiestoffwechsel auf der Grundlage von ATP)

Im Genom jedes Lebewesens ist seine Phylogenese rudimentär enthalten
--> Aufbau von phylogenetischen Stammbäumen

Die Proteome von allen Lebewesen bauen sich aus 23 Aminosäuren auf, von denen 20 in der DNA durch Basen-Triplets codiert sind.

Das irdische Leben verwendet zum Aufbau von Proteinen (fast) nur L-Aminosäuren (Chiralitätsproblem)

Die Naturwissenschaft geht davon aus, dass es prinzipiell eine natürliche Erklärung für die Entstehung des Lebens auf der Erde gibt, die logisch und folgerichtig nachvollziehbar ist.

Ein metaphysischer „Schöpfungsakt“, wie ihn die Kreationisten und Anhänger des „Intelligent Design“ propagieren, ist zur Erklärung nicht notwendig. Insbesondere sind letztgenannte Anschauungen der wissenschaftlichen Methode nicht zugänglich und damit außerhalb der Naturwissenschaften anzusiedeln.

Stand der Dinge (2017)

Wie Leben im Allgemeinen entsteht und wie dieser Vorgang auf der Erde stattgefunden hat, ist weiterhin nicht geklärt (d.h. die Untersuchungen stehen in den Stadien mehr oder weniger gut begründeter Hypothesen).

Der „rote Faden“ der Lebenentstehung auf molekularem Niveau zeichnet sich jedoch immer mehr ab:

Bildung monerer Grundbausteine – Autokatalytische chemische Prozesse (Hyperzyklus) – RNA als Informationsträger und Enzym – Entstehung des genetischen Codes – natürliche Auslese und Optimierung

Die molekularen Grundbausteine des Lebens und ihre Entstehung

Die elementaren Bestandteile organischer Moleküle sind in der kosmischen Häufigkeitsskala weit vorn angesiedelt: Wasserstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Kohlenstoff, Phosphor, Schwefel ...

1. Stufe: Abiotische Synthese monomerer organischer Moleküle

- Aminosäuren, kurzkettige Peptide
- organische Basen als Grundlage von Informationsmolekülen
- mehr oder weniger komplexe aliphatische und aromatische Kohlenwasserstoffe

Die Molekülbildung setzt bereits in den interstellaren Gas- und Staubwolken ein

- Eintrag von organischen Molekülen durch Kometenkerne während der Epoche des großen Bombardements
- Entstehung von organischen Molekülen durch chemische Prozesse in der reduzierenden Uratmosphäre
- Bildung von Molekülen innerhalb der Hydrosphäre der Erde durch katalytische Prozesse an Pyritablagerungen im Bereich untermeerischer vulkanischer Entgasungsschlote



Kometenmaterie besteht zu einem wesentlichen Teil aus dem Material der primordialen Staubscheibe um die Ursonne.

Silikatpartikel sind mit organischem Material belegt und von einem Eismantel umgeben.

Das organische Material besteht u. a. aus Aminosäuren, die z.T. bereits spektroskopisch nachgewiesen bzw. bei Simulationsexperimenten erzeugt werden konnten.



Es ist durchaus möglich, dass ein Teil der organischen Stoffe, die für die Entstehung der ersten minimalistischen Lebensformen notwendig waren, durch Kometen eingetragen worden sind.

Die Idee, dass voll funktionsfähiges Leben (z.B. in Form von Bakteriensporen) auf Kometen quasi durch den Weltraum wandern und dort, wo sie auf günstige Bedingungen stoßen, quasi auskeimen, nennt man **Panspermie**

Die Ursuppe ...

Charles Darwin in einem Brief an Joseph Dalton Hooker (1871):

...dass das Leben in einem „warmen, kleinen Teich, in dem alle Arten von Ammoniak und Phosphor-Salzen, Licht, Hitze, Elektrizität usw. vorhanden waren,“ begonnen haben könnte ...

Der Inhalt dieses kleinen warmen Teiches wurde später als „Ursuppe“ bezeichnet.

Bis Mitte des 18. Jahrhunderts war die Entstehung des Lebens kein Problem für die Wissenschaft.

- Theorie der Urzeugung (Abiogenese)

Zuerst für quasi alle Lebewesen postuliert (Mäuse entstehen aus Lumpen, gemischt mit alten Getreide)

Später nur noch für Kleinlebewesen angenommen

Luis Pasteur: *Omne vivum ex vivo* – Alles Leben stammt von Leben ab

Entstehung der Ursuppentheorie

Idee: Auf der jungen Erde bestand eine mehr oder weniger stark reduzierende Atmosphäre aus Kohlendioxid, Methan, Ammoniak und einigen anderen Gasen, die Blitzen, solarer UV-Strahlung und vulkanischer Prozesse ausgesetzt waren. Durch diesen Energieeintrag sollten im Meer chemische Reaktionen ablaufen, die zur Bildung der Grundmoleküle des Lebens (d.h. Aminosäuren, organische Basen, Fettsäuren, monere Kohlenhydrate) führen. Diese Moleküle reichern sich im Meer an und bilden eine Art „Brühe“, in der durch Selbstorganisation über viele Zwischenschritte selbstreproduzierende molekulare Systeme entstehen.



J. B. Haldane (1892-1964)

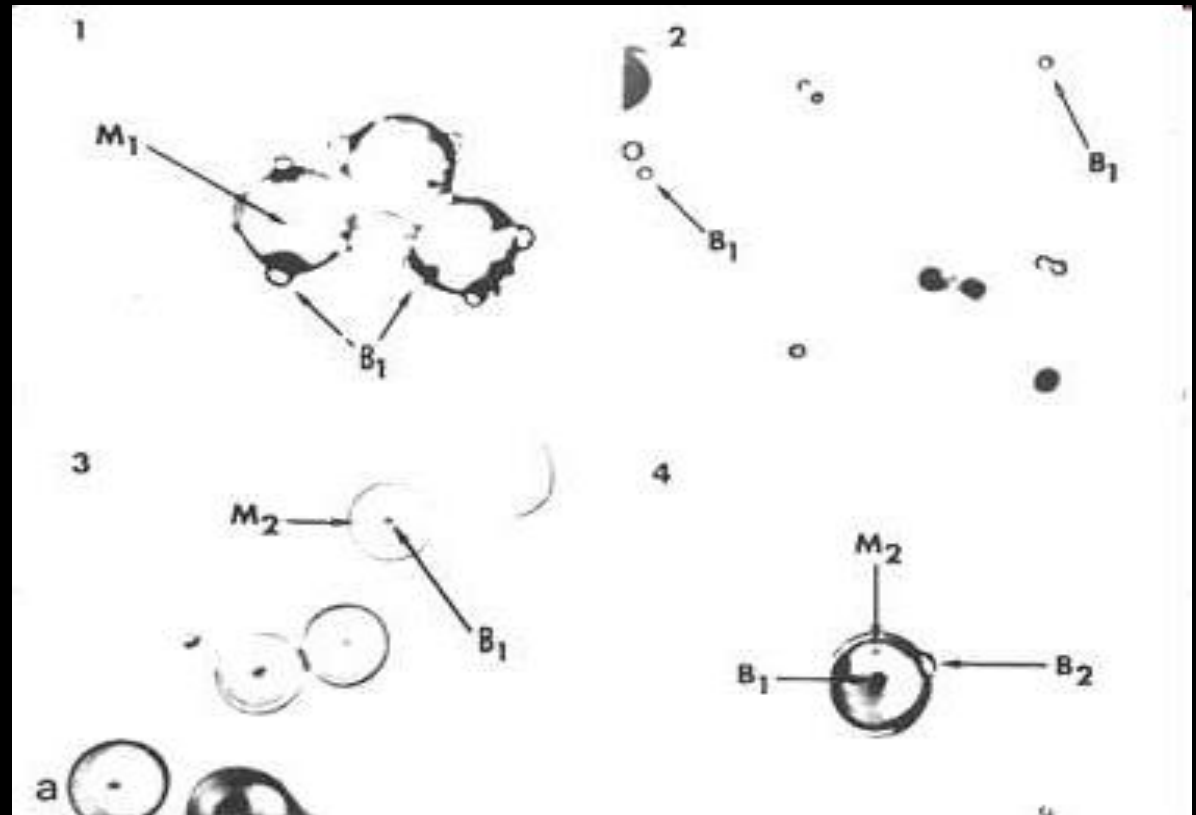
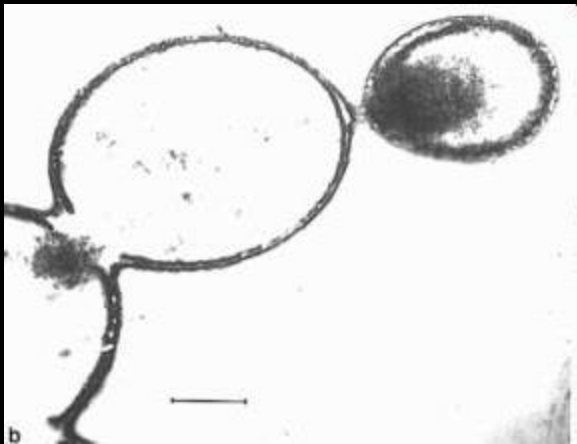


A. I. Oparin (1894-1980)

- Koazervate
- Mikrosphären

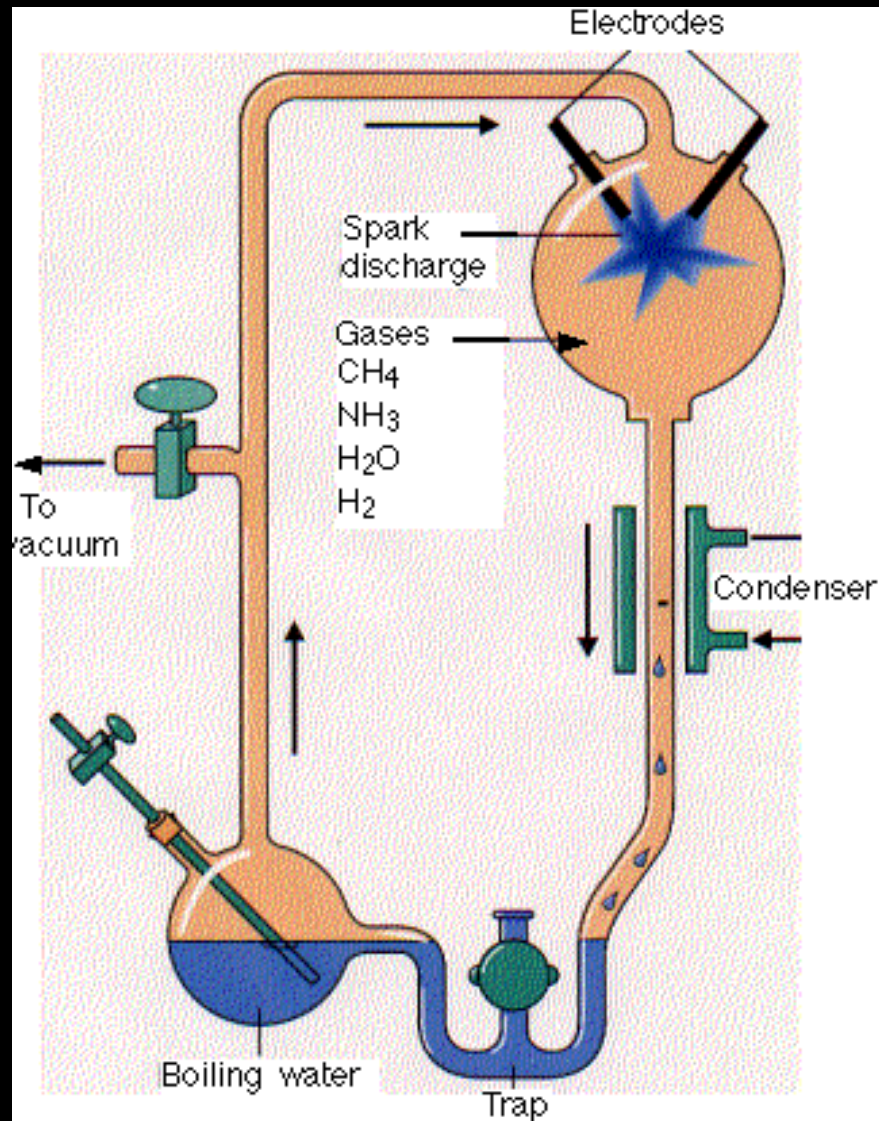
Mikrosphären

Sidney Fox (1950): Aminosäuren können bei Erwärmung dazu gebracht werden, sich zu polymerisieren und dabei kleine Hohlkugeln zu bilden die aus einer geschlossenen Membran bestanden. Bei genügender Konzentration von Aminosäuren knospen aus diesen Membranen wiederum Hohlkugeln aus, die wachsen können.



Überprüfung der Ursuppentheorie durch Experimente

Urey, Miller 1953



Ausbeute (Auswahl)

Glycin / Alanin
Essigsäure
Harnstoff
Glutaminsäure
Aspariginsäure
Milchsäure
Ameisensäure

Dieses Experiment wurde seit Mitte der 50ziger Jahre viele Male wiederholt:

„Wäre der Apparat so groß wie das Meer gewesen und hätte eine Million Jahre gearbeitet, hätte er vielleicht das erste lebende Molekül erzeugt.“

Was muss weiter geschehen, wenn die Grundbausteine (Monomere) in genügender Zahl vorliegen?

- **Spezifische Polymerisation (Kondensation)**
- **Bildung von selbstreplizierenden Systemen**
- **Bildung von abgeschlossenen Reaktionsräumen (Zellen)**

Die Polymerisation von Nukleotiden, Aminosäuren und Kohlenhydraten sind chemisch nicht sonderlich anspruchsvoll (Kondensationsreaktionen), solange es nicht auf die **Reihenfolge** der einzelnen Bausteine ankommt.

Problem: Leben ist Information, wie kommt die Information in die Ursuppe?

Stichwort: Selbstorganisation / Autokatalyse / Hyperzyklus

Warum kann die Ursuppentheorie nicht richtig sein?

Aus der Analyse unzähliger Experimente mit unterschiedlichsten Zusammensetzungen der Ausgangsstoffe und der Energiequellen ergeben sich folgende Probleme:

Die Konzentrationen der organischen Stoffe – hochgerechnet auf die Größe des Urozeans – erreichen nicht die für die Entstehung minimalistischen Lebens erforderlichen Werte

Nukleobasen werden nur unter außergewöhnlichen Bedingungen synthetisiert, sind aber nicht sonderlich stabil (Zerfall durch Hydrolyse, zu geringe Konzentrationen)

Es konnten keine Reaktionsketten, die zu Pentazuckern führen (Ribose) festgestellt werden. Andere Zuckerarten zerfallen unter den primordialen Bedingungen extrem schnell.

Die Entstehung definierter Fettsäuren ist in der für die Ausbildung von Membranlipiden notwendigen Form in den Experimenten kaum zu beobachten

Unter dem Einfluss starker solarer UV-Strahlung sind die meisten größeren Moleküle instabil und zerfallen.

Diese Schwierigkeiten führten zur Suche nach anderen „Plätzen“, „Möglichkeiten“ und „Energiequellen“ der Lebensentstehung

Unter welchen anorganischen Bedingungen gelingt die endotherme Katalyse von Biomolekülen in ausreichender Menge und unter Bedingungen, wo sie längere Zeit stabil bleiben?

Existieren chemische Reaktionsketten mit Molekülen, die autokatalytisch wirken?

Was war zuerst da, Peptide oder Informationsmoleküle (RNA)?
(Rybozyme, Reverse Transkriptase)

Gibt es heute noch primitive Lebensformen, die unter extremen Bedingungen überleben und sich vermehren können?

wenn ja, könnten dann nicht diese extremen „Lebensräume“ die ursprünglichen Orte der Entstehung des Lebens sein?

Extremophile Lebewesen

Als extremophil bezeichnet werden Organismen (zumeist handelt es sich um einzellige Mikroorganismen), die sich Umweltbedingungen angepasst haben, die im allgemeinen als lebensfeindlich betrachtet werden.

Thermophile:

Organismen, die optimal an hohe Temperaturen (80 °C und mehr) angepasst sind

Psychrophile:

Organismen, die optimal an niedrige Temperaturen (15 °C und niedriger) angepasst sind

Halophile:

Organismen, die optimal an hohe Salzkonzentrationen angepasst sind

Alkaliphile:

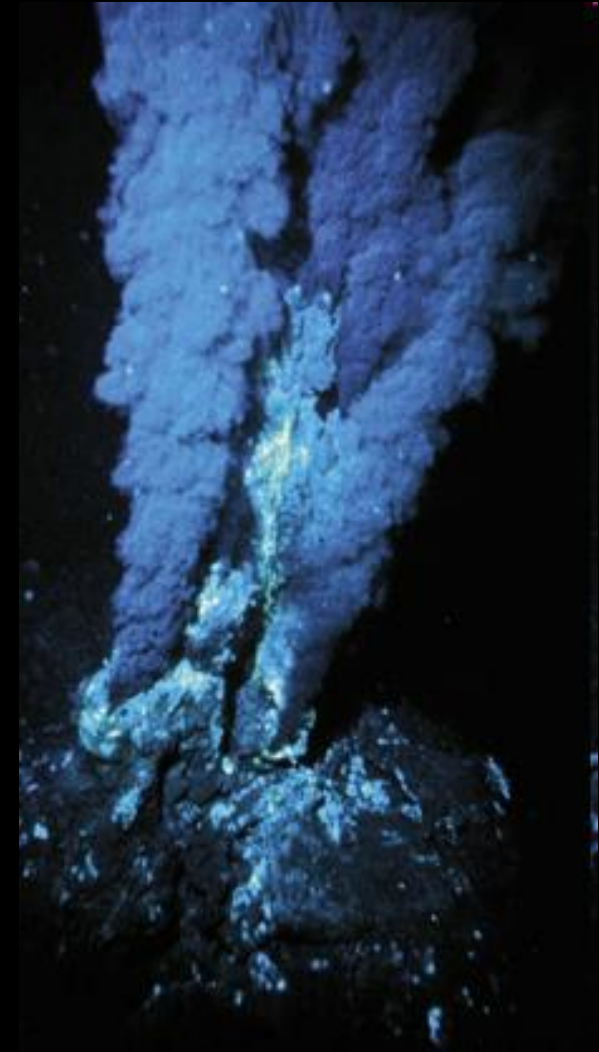
Organismen, die optimal an einen hohen pH-Wert (pH 9 und höher) angepasst sind

Acidophile:

Organismen, die optimal an einen niedrigen pH-Wert (pH 3 und niedriger) angepasst sind

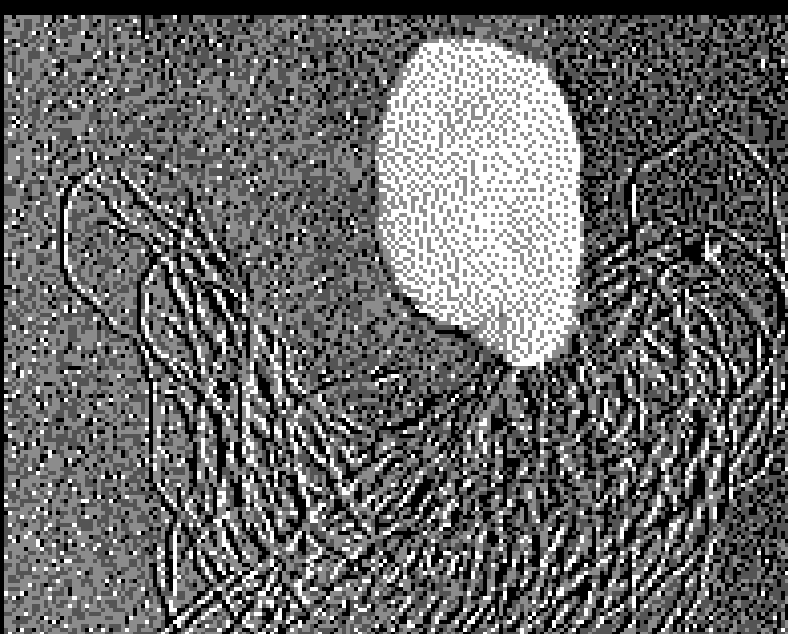
Barophile:

Organismen, die optimal an hohen hydrostatischen Druck angepasst sind

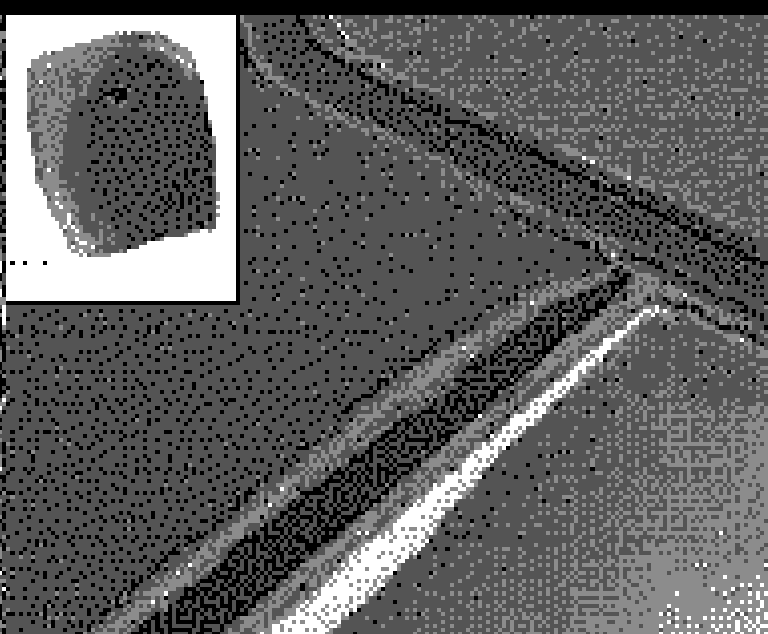








Pyrococcus sp. - sulfur dependent archaeobacterium



Halococcus sp. - aerial view of salterns



Methanogen - stomach of ruminant