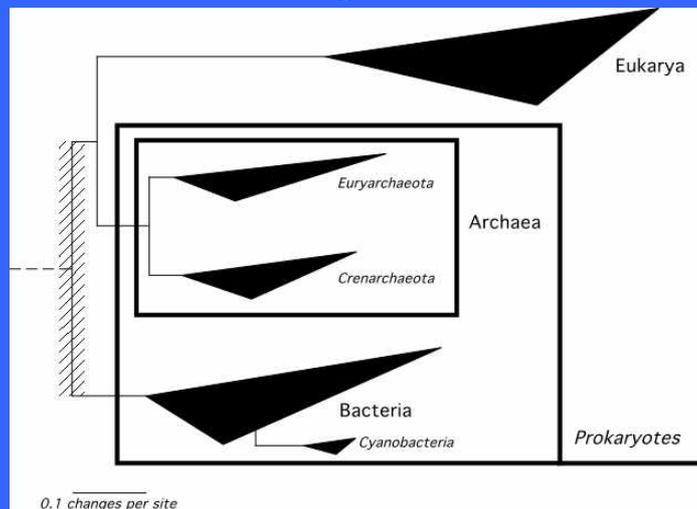


# Evolution und Phylogenetischer Stammbaum der Organismen



## Evolution:

Veränderung in der Abstammungslinie über die Zeit, die zur Entstehung neuer Arten oder zur Variation innerhalb einer Art führt.

## Phylogenie:

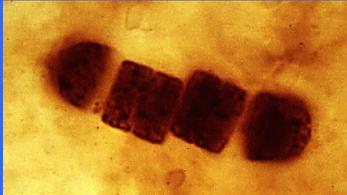
Einordnung von Arten in übergeordnete Taxa und die Erstellung von evolutionären Bäumen basierend auf evolutionären Beziehungen.

## Fragen:

Wann und wie ist das Leben entstanden?  
Woher wissen wir, dass es Evolution gibt?  
Wie ordnen wir Organismen in Stammbäume ein?

## Fossile Beweise für mikrobielles Leben auf der Erde

Cyanobakterien („Blau-Grün Algen“) aus dem Präkambrium  
(ca. 3,5 Milliarden Jahre alt), älteste bekannte Fossilien



Fossiles Cyanobakterium aus  
Nord-Australien  
(ca. 1 Milliarde Jahre alt)



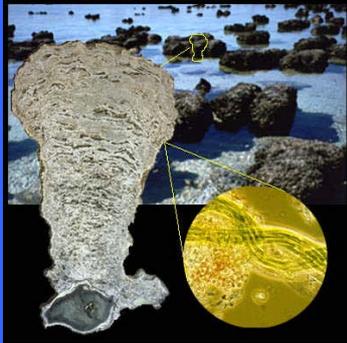
Heutiges Cyanobakterium (*Oscillatoria*)

## Stromatolite

Cyanobakterien können Stromatolite bilden:  
Geschichtete Struktur, die Sedimente einschließt;  
Bakterien produzieren z.T. Calciumcarbonat  
Sehr dünn geschnittene Fossilien zeigen Cyanobakterien und Algen



## Stromatolite



Fossil

### STROMATOLITE LOCALITIES IN WESTERN AUSTRALIA

- Stromatolite Localities
  - Living
  - 3.45 billion year old egg-carton Stromatolites
  - Fossil stromatolites

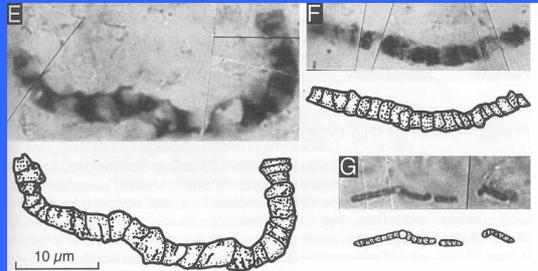
400 km

Shark Bay

Neben Cyanobakterien nur wenig fossile Bakterien erhalten.  
Unter bestimmten chemischen Bedingungen Austausch der  
Bakterien durch Mineralien – Erhalt der Zellform  
Problem: Solche Formen können auch unter anderen Bedingungen,  
ohne Bakterien, entstehen (Bakterien auf dem Mars?)



Photo (EM-Aufnahme)  
von Mars-Meteoriten



Fossile Cyanobakterien

Evolution des Lebens auf der Erde  
Hinweise durch geologische und fossile Belege

Millionen Jahre  
vor heute

- 4600 Entstehung des Planeten Erde
- 3500 Mikrobielles Leben (Stromatolite)
- 2800 O<sub>2</sub>-produzierende Photosynthese durch Cyanobakterien
- 2000-1800 O<sub>2</sub> beginnt in der Atmosphäre zu akkumulieren

Millionen Jahre  
vor heute

- 2000 Entstehung von eukaryotischem Leben (?)
- 1400 Fossile Ansammlungen von relativ großen Zellen (25-200 µm), die Hinweise auf eukaryotisches Leben liefern
- 800 Fossile Hinweise auf ca. 20 verschiedene Eukaryoten (Protozoen, Grünalgen)
- 640 O<sub>2</sub> erreicht ca. 3 % der heutigen Konzentration
- 650-570 Älteste Hinweise auf multizelluläre Tiere
- 570 Erste Hinweise für massives Vorkommen von Leben
- 400 Entwicklung der Landpflanzen

### Bedingungen auf der frühen Erde

Reduzierende Atmosphäre. Kein Sauerstoff ( $O_2$ )

Vorhandene Gase:  $H_2O$ ,  $CH_4$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$ ,  $NH_3$ ,  
 $CO$ ,  $H_2$ ,  $H_2S$

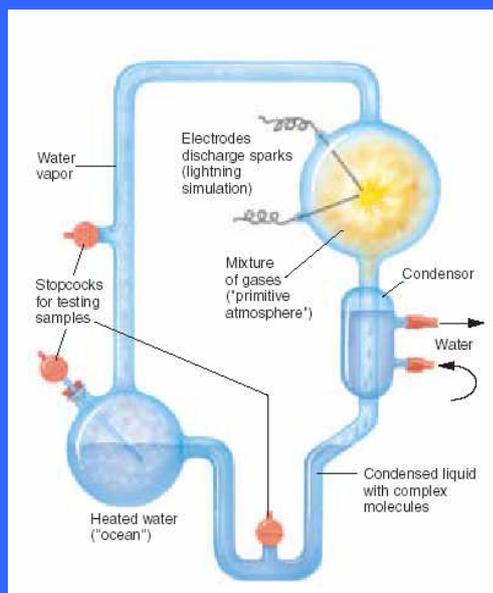
Oberflächentemperatur z.T. höher als  $100^\circ C$

Starke UV-Strahlung, elektrische Entladungen

Simulation dieser Bedingungen im Labor (Miller-Urey Experiment) führt zur Bildung von biochemisch relevanten Molekülen (Zucker, Aminosäuren, Purine und Pyrimidine, Nucleotide, Thioester, Fettsäuren) und deren Polymerisierung.

Fehlender Abbau durch Organismen führte zur Akkumulation dieser Verbindungen

Offene Frage: Wie entstand daraus ein Organismus?



### Miller-Urey Experiment (1953)

Verwendete Gase:  
Methan ( $CH_4$ ), Ammoniak ( $NH_3$ ),  
Wasserstoff ( $H_2$ ), Wasser ( $H_2O$ )

Simulation von Gewittern  
(elektrischen Entladungen)

Kondensator kühlt die Gase ab

Wassertropfen transportieren  
die Moleküle in den heißen „Ozean“

Dauer: Eine Woche

Danach 10 – 15% des Kohlenstoffs  
als organische Verbindungen

## Frühe Organismen

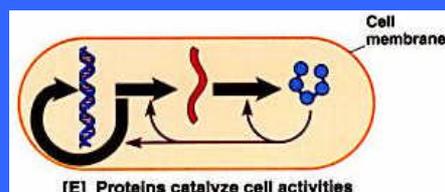
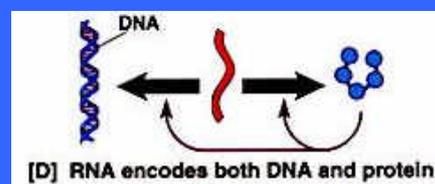
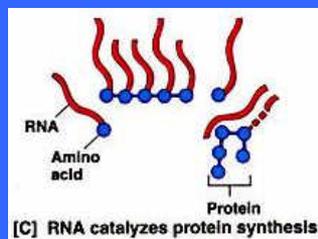
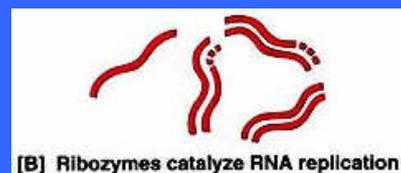
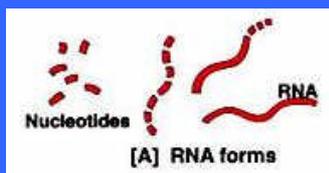
vermutlich vor 3,6 bis 4,0 Milliarden Jahren entstanden

-Stoffwechsel: Fähigkeit Nährstoffe zu sammeln, umzuformen und Energie daraus zu gewinnen

-Vererbungsmechanismen: Fähigkeit die eigenen Eigenschaften zu replizieren und auf die Nachkommen zu übertragen

Beides erfordert eine zelluläre Struktur.

## RNA-Welt



Stoffwechsel musste anaerob ablaufen, da kein O<sub>2</sub> in der Atmosphäre.

chemoorganotroph (Energiegewinn durch Oxidation organischer Verbindungen),

chemolithotroph (Oxidation anorganischer Verb.)

oder phototroph (Energiegewinn aus Licht)

Vermutlich einfacher Stoffwechselweg

z.B.



nur wenig Enzyme notwendig

Highlight in Evolution des Stoffwechsels:

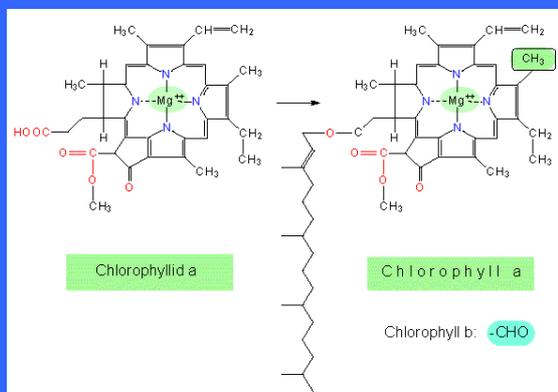
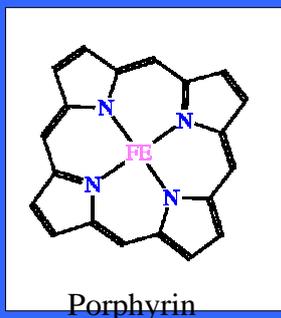
Synthese des Porphyrins (Leitstruktur)

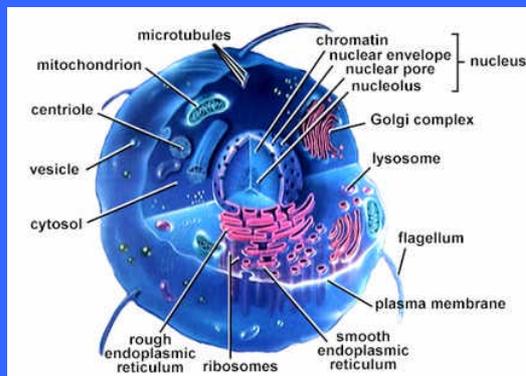
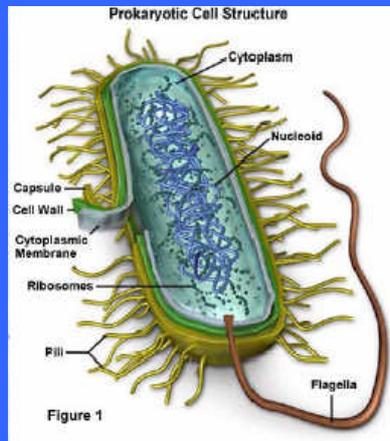
Voraussetzung für Bildung

von Cytochromen (Elektronentransportkette)

und für Bakteriochlorophyll (Photosynthese)

? Nutzung von Sonnenenergie





### Prokaryoten

Zellwand, Zytoplasmamembran, manchmal Kapseln

Kein Zellkern, DNA ist in einer Region, dem Nucleoid, konzentriert  
Besitzen einige Organellen, die aber nicht membrangebunden sind,  
z.B. Ribosomen (Proteinbiosynthese), Flagellum (Beweglichkeit),  
Pili (kleine haarähnliche Strukturen, zur Anheftung an Oberflächen)

### Endosymbiontentheorie

Große Prokaryoten verschlangen kleinere Prokaryoten, verdauten diese aber nicht.

Die kleineren Prokaryoten entwickelten sich zu Zellorganellen (Mitochondrien, Chloroplasten).

Beweise:

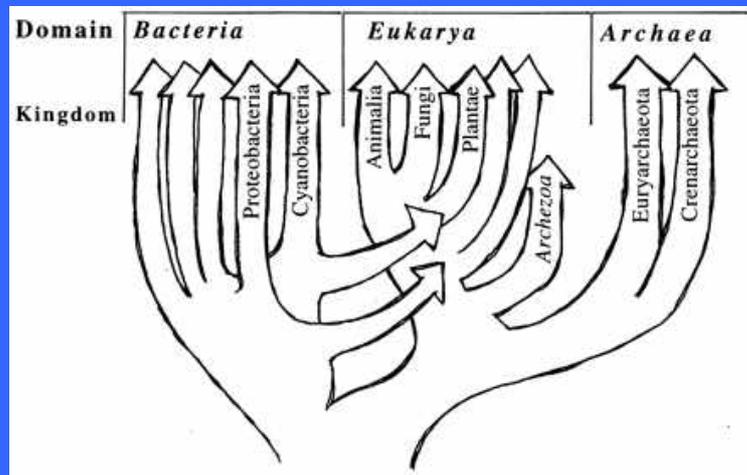
Größe von Mitochondrien und Chloroplasten entspricht der von kleinen Prokaryoten

Haben ähnliche Enzyme wie moderne Prokaryoten

Teilen sich ähnlich wie moderne Prokaryoten (binäre Teilung)

Haben ringförmige DNA (wie Bakterien)

Sind auf molekularer Ebene Prokaryoten ähnlich (z.B. 16S rRNA)



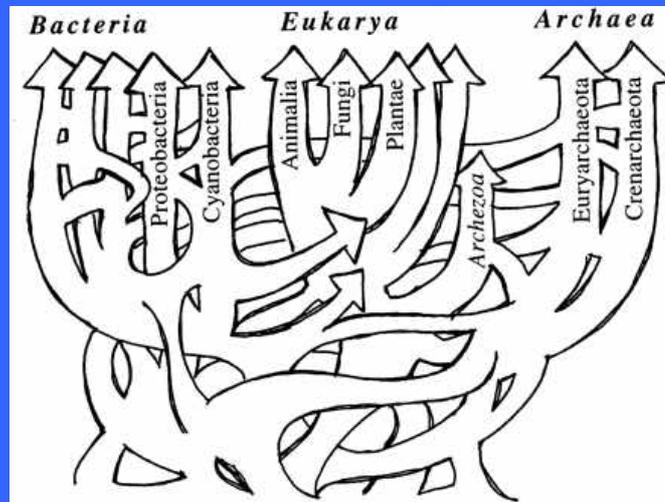
Endosymbiontentheorie:  
*Proteobacteria* ? Mitochondrien  
*Cyanobacteria* ? Chloroplasten

Neue Theorie: Es gab nicht DIE Urzelle, aus der sich alles Leben entwickelt hat, sondern eine Vielfalt ursprünglicher Zellen.

Einige konnten sich durchsetzen und wurden zu Vorfahren von Bakterien, Archaeen und Eukaryoten.

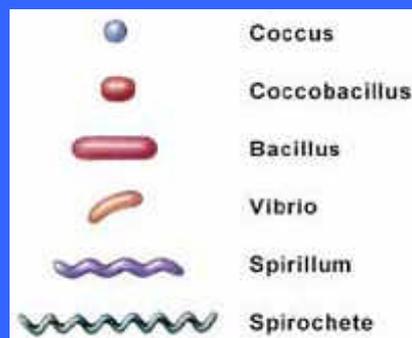
Horizontaler Gentransfer (HGT) zwischen Organismen (auch verschiedener Domänen) spielte grosse Rolle in der Evolution.

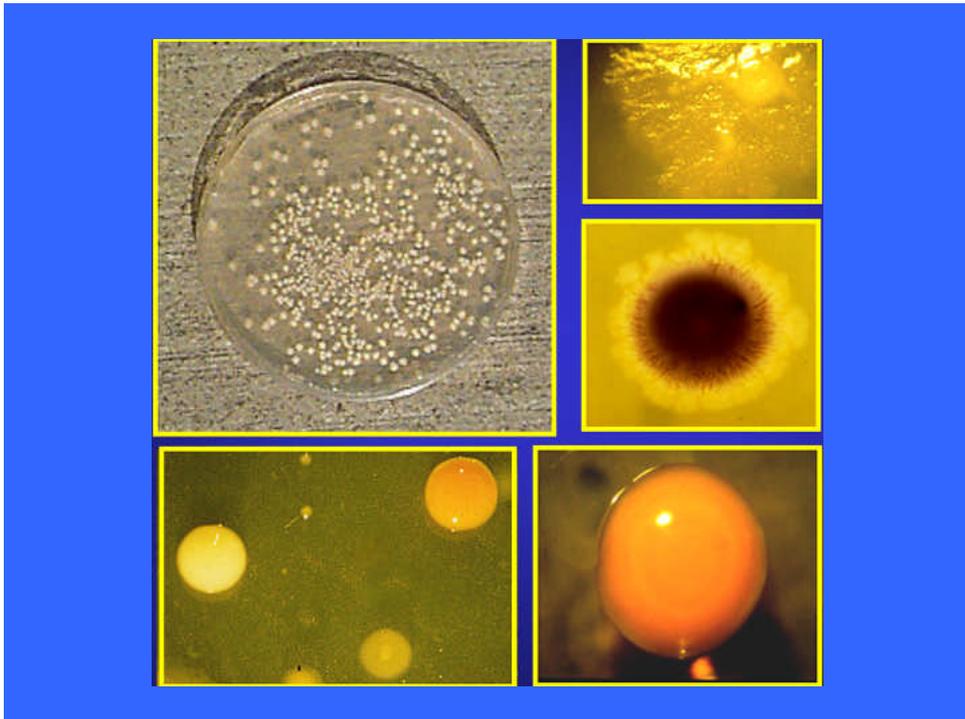
„Darwinsche Schwelle“: Vorher horizontaler Gentransfer (Systeme der Zellen noch sehr offen), danach Etablierung der Zellbestandteile und viel geringerer HGT.



- Vielfalt ursprünglicher Zellen
- Horizontaler Gentransfer zwischen den Organismengruppen

Bakterielle Morphologie ist nur sehr begrenzt zur Unterscheidung verwendbar





Identifizierung eines Bakteriums mit mikrobiologischen Methoden

Isolierung aus Säugetier

Gram-Färbung

Gram-negativ

~~Gram-positiv~~

stäbchenförmig

~~nicht stäbchenförmig~~

fakultativ aerob

~~obligat aerob~~

Fermentation von Lactose,  
Säureproduktion, Gasproduktion

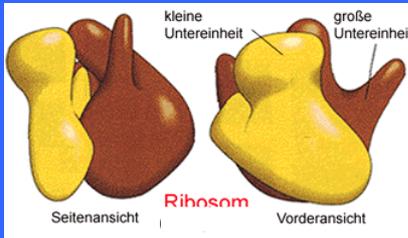
~~keine Fermentation von Lactose~~

weitere Tests auf StoffwechsellLeistungen

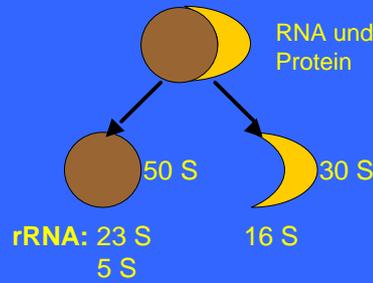
Identifizierung als *Escherichia coli*



## Analyse von ribosomalen Nucleinsäuren



### Prokaryoten (70 S)



Orte der Proteinbiosynthese

Nucleinsäuren-Protein Komplex

Bakterien: 70 S, Eukaryoten 80 S (S = Svedberg-Einheit, beschreibt das Sedimentationsverhalten)

In Bakterien zwei Untereinheiten: 30S and 50S [Eukaryoten 40S und 60S]  
 Kleine Untereinheit (small subunit) ? 16S rRNA und 21 verschiedene Proteine  
 Große Untereinheit ? zwei rRNA's, 5S und 23S und 32 verschiedene Proteine

Hochkonserviert, da essentiell für alle Organismen

### Die prokaryotische 16S rRNA

Länge von ca. 1500 Basen ist ausreichend um Unterschiede erkennen zu können  
 (5S rRNA - 120, 23S rRNA - 2900 → zu groß)

Hochkonservierte Struktur (Bereiche die eindeutig vergleichbar sind),

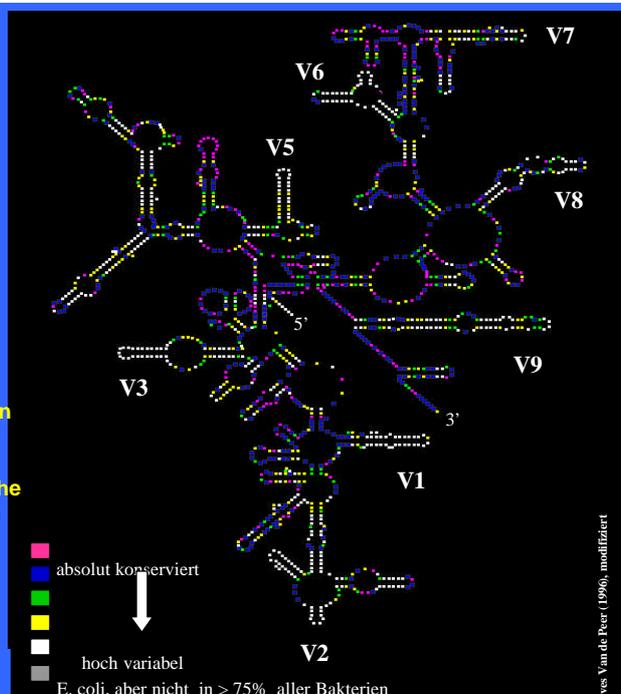
aber auch variable Abschnitte

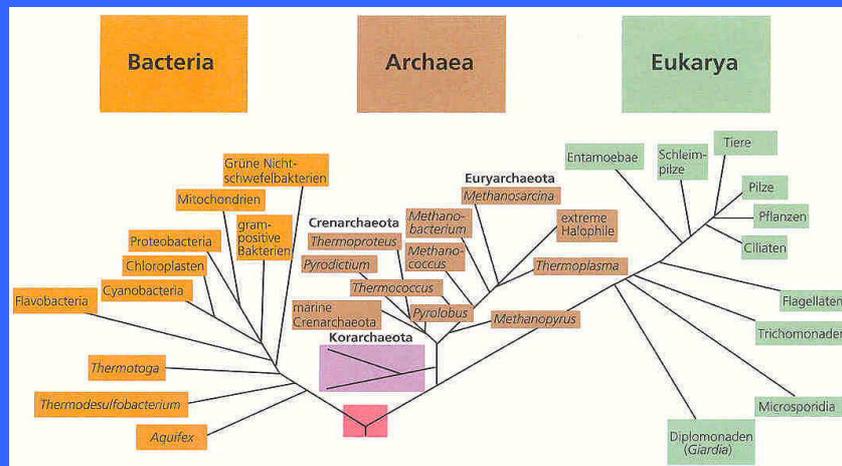
In allen Prokaryoten vorhanden (18S rRNA in Eukaryoten)

Funktionell homolog (identische Funktion in allen Organismen)

Verwendung als evolutionärer Chronometer

1% Sequenz-Abweichung in 50 Millionen Jahren

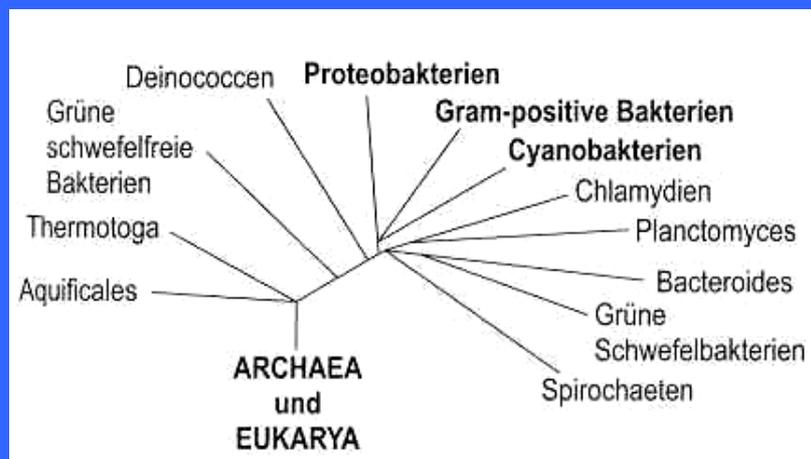




16S rRNA Sequenzen aus Umweltproben können benutzt werden, um Bakterienpopulationen zu analysieren, ohne die Organismen isolieren zu müssen!

### Phylogenetischer Überblick über die Bacteria

12 Hauptlinien innerhalb der Bacteria



Aquifex-Hydrogenobacter-Gruppe: hyperthermophil (Opt.  $>80^{\circ}\text{C}$ ), chemolithotroph, *Aquifex* vermutlich ähnlichster Verwandter zur Urzelle der Bacteria

Thermotoga: hyperthermophil, chemoorganotroph

Grüne-Nichtschwefel-Bakterien/Chloroflexus-Gruppe: z.T. phototroph, thermophil (Opt.  $45-80^{\circ}\text{C}$ ), chemoorganotroph

Deinococcus-Gruppe: z.T. sehr Strahlungsresistent gegen UV- und Gamma-Strahlung (*D. radiodurans* sehr effektive DNA-Reparaturmechanismen), z.T. thermophil

Spirocheten: auffallende Morphologie, besonderer Bewegungsapparat; z.T. Krankheitserreger



Grüne Schwefelbakterien: strikt anaerob, obligat phototroph, können einfache organische Verbindungen verwerten, vorausgesetzt, dass reduzierte Schwefelverbindungen vorhanden sind

Bacteroides-Flavobacteria: aerob und anaerob, Polymerabbauer, einige gleitende Bakterien

Planctomyces: Vermehrung durch Knospung, kein Peptidoglycan in der Zellwand, aerob, überwiegend aquatisch

Chlamydia-Gruppe: obligat intrazelluläre Parasiten, viele Krankheitserreger

Gram-positive Bakterien: große heterogene Gruppe mit einer Vielzahl von Eigenschaften. Zwei Untergruppen: Hoch GC- und Niedrig GC-Grampositive

Cyanobakterien: oxygen, phototroph

Proteobacteria: größte Gruppe, sehr große physiologische Vielfalt. Fünf Untergruppen (alpha, beta, gamma, delta, epsilon)

### Hierarchische Struktur in der Taxonomie

Bacteria	Domäne
Proteobacteria	Phylum
Gammaproteobacteria	Klasse
Enterobacteriales	Ordnung
Enterobacteriaceae	Familie
Escherichia	Gattung
Escherichia coli	Art
Escherichia coli K12	Stamm

[Gen-Datenbanken im Internet](#)

**National Center for Biotechnology Information**

National Library of Medicine

National Institutes of Health

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>



**Ribosomal Database Project II**

MICHIGAN STATE UNIVERSITY

CENTER FOR MICROBIAL ECOLOGY

- Home Page
- Announcements
- Online Analyses
- Citation
- Download Area
- Documentation
- Contacts



<http://rdp.cme.msu.edu/html/>