

# *Extremophile - Relikte aus der Urzeit?*



*Vortrag von Susanne Bickel  
zur Jahrestagung des VBIO-NRW am 6.9.08*



Verband | Biologie, Biowissenschaften  
& Biomedizin in Deutschland

# *Über was will ich sprechen?*

- ✧ Wer oder was ist „extremophil“?
- ✧ Lebensräume
- ✧ Extreme Halophilie - Leben in Salz
- ✧ Was haben alle Archaea gemeinsam?
- ✧ Verwandtschaften und Stammbäume
- ✧ Waren die ersten Zellen autotroph?

# *Prokaryoten der Erde*

✧ geschätzte Zellzahl:  $5 \times 10^{30}$

(5 Quintillionen)

davon leben

im Sediment des Meeresbodens.....	66%
auf der terrestrischen Oberfläche.....	26%
im Boden .....	5%
im Seewasser.....	2%
in Süßwasser- und Salzseen.....	0,004%
im Meereseis.....	0,000075%
im Menschen.....	0,000007%

# Wer ist extremophil?

- ❑ Prokaryoten (Bakterien und Archaea)
- ❑ Eukaryoten (einzellig und vielzellig): Beispiele:



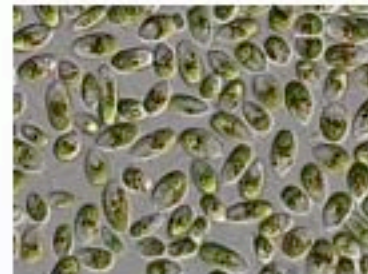
*Salinenkrebs*  
*Artemia salina*



Krill im Meereis  
*Euphausia superba*

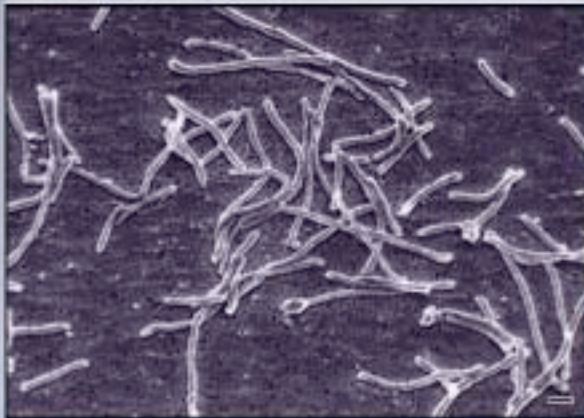


Salzfliegenlarve  
*Ephydra spec.*

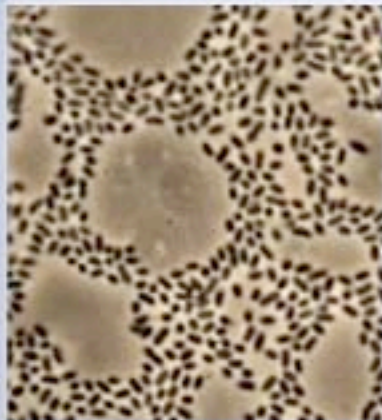


Grünalge  
*Dunaliella salina*

# Extremophile Eubakterien



- ✧ *Thermus aquaticus* (obligat thermophil):  
T<sub>aq</sub>-Polymerase; lebt  
aerob, veratmet Zucker und  
organ. Säuren



- ✧ *Acidithiobacillus ferrooxidans* (obligat acidophil)  
„Eisenlaugung“; aerob

# *Archaea*

„Extremophile“ wird häufig  
synonym für „Archaea“  
verwendet, weil der weitaus  
größte Anteil zu den  
**Archaea** gehört - und: man  
findet immer mehr!

Archaeobacteria -->

Eubacteria -->

Eukaryota ?

# Hyperthermo- phile Archaea

Leben bei 70 - 100 °C:

- ☒ anaerob,
- ☒ chemoorganotroph,

Elektronendonator:

- ☒ Stärke, Zucker, Proteine

Elektronenakzeptor:

- ☒ elementarer Schwefel
- ☒ es entsteht  $H_2S$



(a) *Thermococcus celer*



(b) *Pyrococcus furiosus*



*Pyrococcus furiosus*

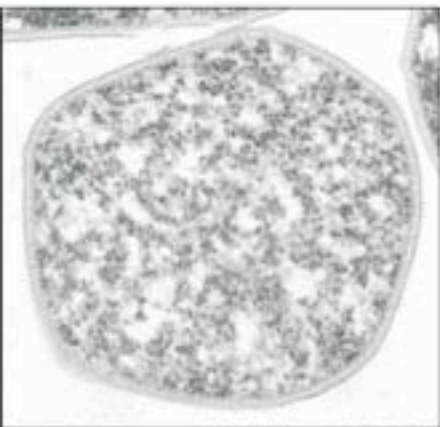
# Acidophile Archaea

*Sulfolobus acidocaldarius*  
lebt in heißer Schwefelsäure



## *Sulfolobus solfataricus* P2

- Pisciarelli, Italy [Zillig et al. 1980]
- Optimal growth at 80°C (60-92°C) and pH 2.0-4.0
- Strict aerobe
- Heterotrophe



*Sulfolobus solfataricus*  
(D. Janekovic & W. Zillig)



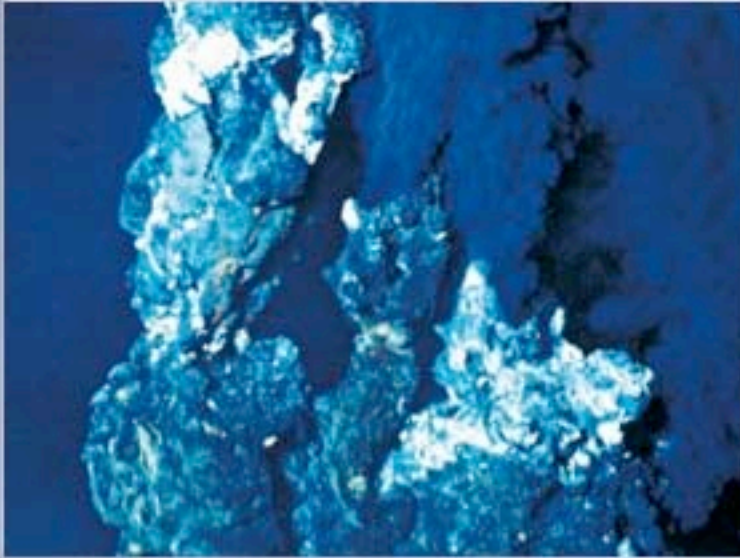
Pisciarelli, Italy  
(S.-V. Albers)

Source: Bettina Sjöberg

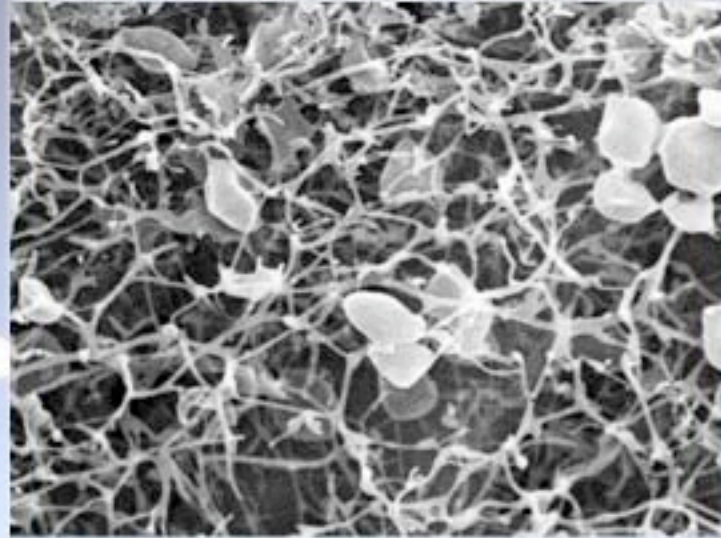


9  
Yellowstone National Park

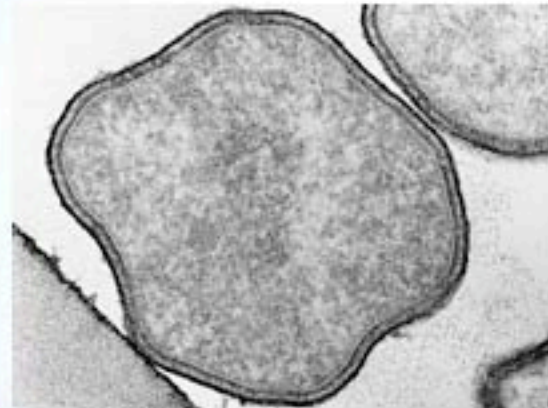
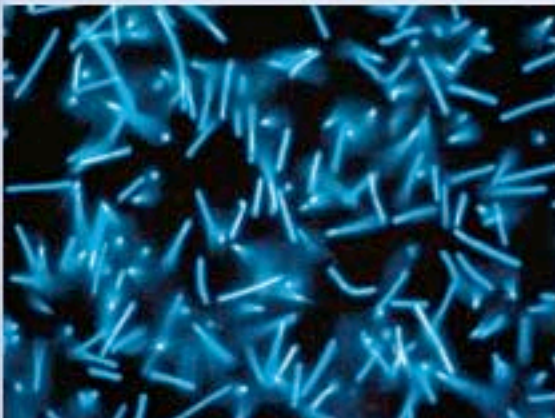
# Hyperthermophile, submarine Archaea



Ein „Schwarzer Raucher“, hydrothermale Quelle, 2500 Meter tief im Ostpazifik, unten: *Methanopyrus kandleri*



*Pyrodictium abyssi* aufgespürt in einem Black Smoker vor Vulcano, unten: *Pyrolobus fumarii*



Durchmesser 1,4  $\mu\text{m}$ , Max. 113°, kann im Autoklaven überleben! (121°), lebt in den Wänden von B. Smokern

# Halophile Archaea



**Links:** Natürlich entstandener Meerwassertümpel mit Halobakterien;

**unten:** *Halobacterium halobium*;

**Mitte:** *Haloferax mediterranei*, Zelle mit Bioplastik-Einschlüssen (weiß);

**Spalte rechts:** *Haloferax volcanii* aus dem Toten Meer.

# *Leben im Salz*



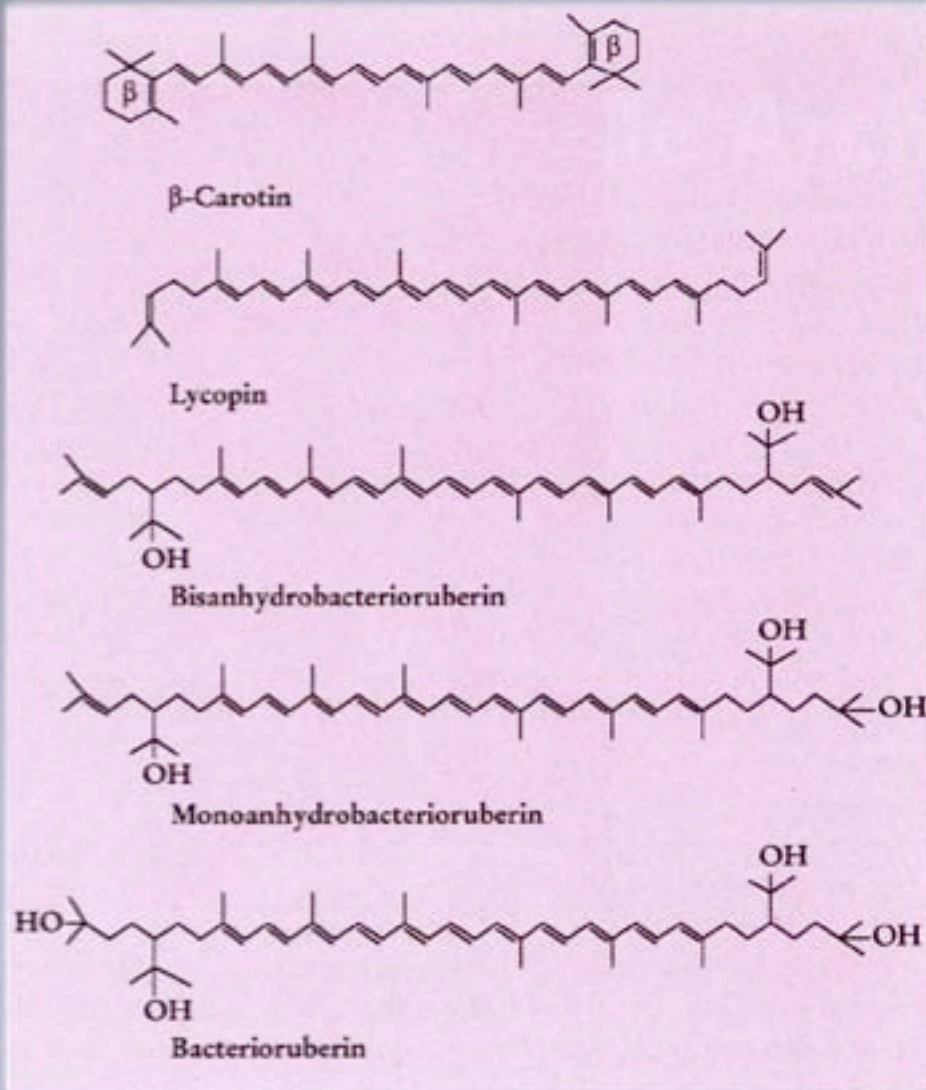
rot gefärbte  
Salinenbecken; die  
Rotfärbung zeigt  
unterschiedliche  
Populationsdichten  
verschiedener  
Spezies extrem  
halophiler Archaea  
an.

# *extreme Lebensräume*

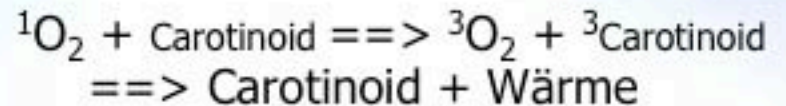
- ✧ Thermophil: **optimales Wachstum** bei 60°
- ✧ Hyperthermophil: bei 80° - 106°
- ✧ Psychrophil (bei 4°, im Eis)
- ✧ Acidophil (Wachstum in Säure, pH 1-4)
- ✧ Alkaliphil (Wachstum in Lauge, pH 8-11)
- ✧ Halophil (> 3 Mol/l Kochsalz)
- ✧ Barophil (bei hohem Druck, > 400 atm)



# Bakterioruberin

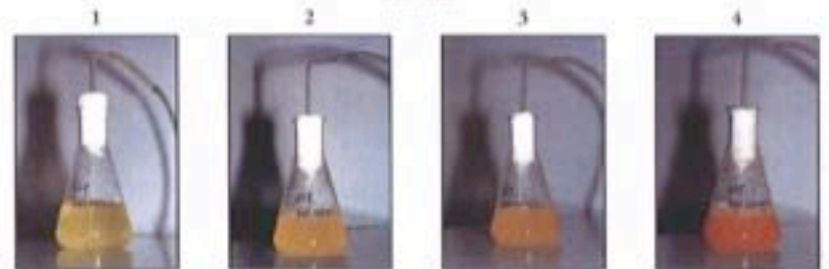
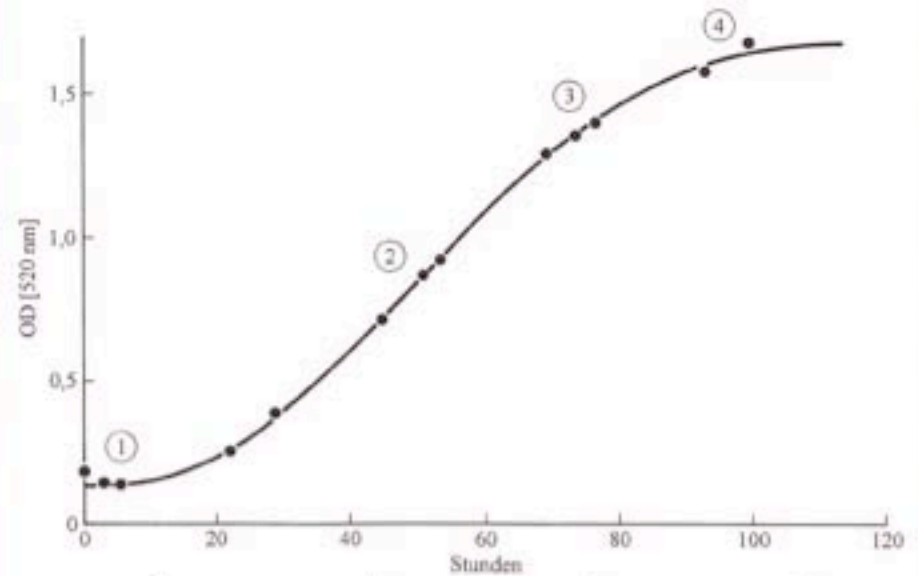
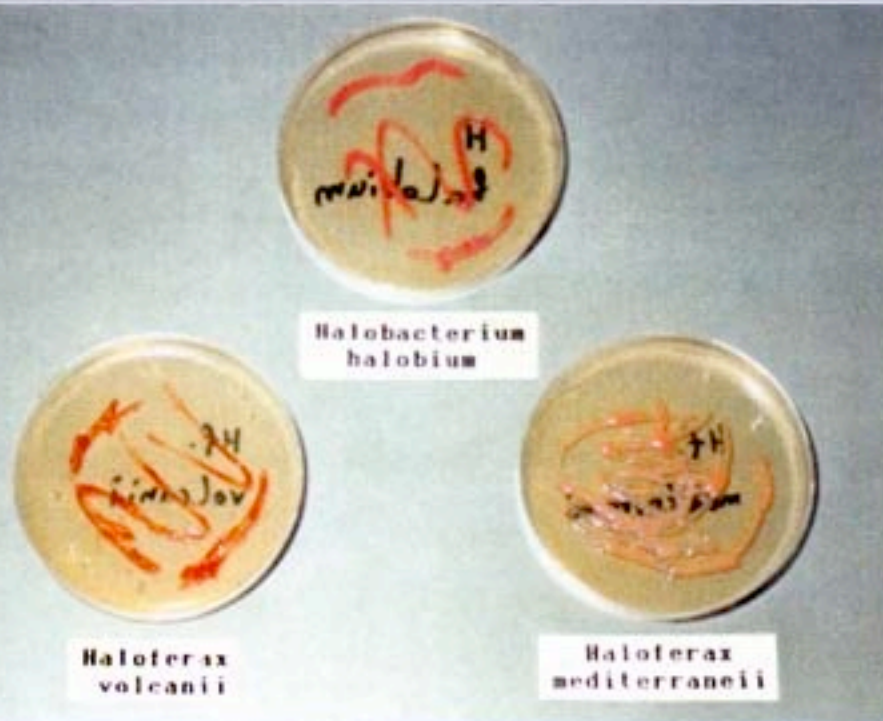


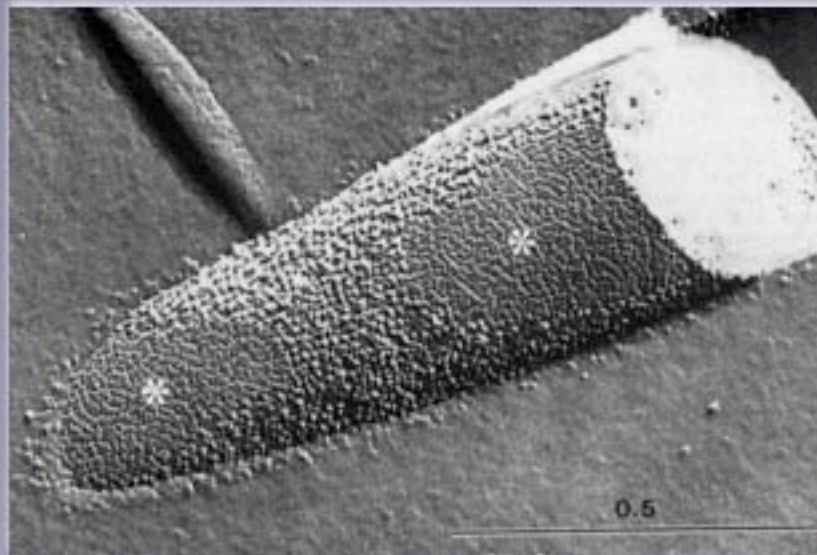
- ☒ verschiedene Anteile dieser Isoprenoide in den Cytoplasmamembranen der Halobakterien bewirken die unterschiedliche Färbung der Stämme.
- ☒ Funktion: Schutz vor UV-Einstrahlung (Photooxidation):



- ☒ Die C<sub>40</sub>- und C<sub>50</sub>-Isoprenoide werden über den Mevalonat-Weg synthetisiert.

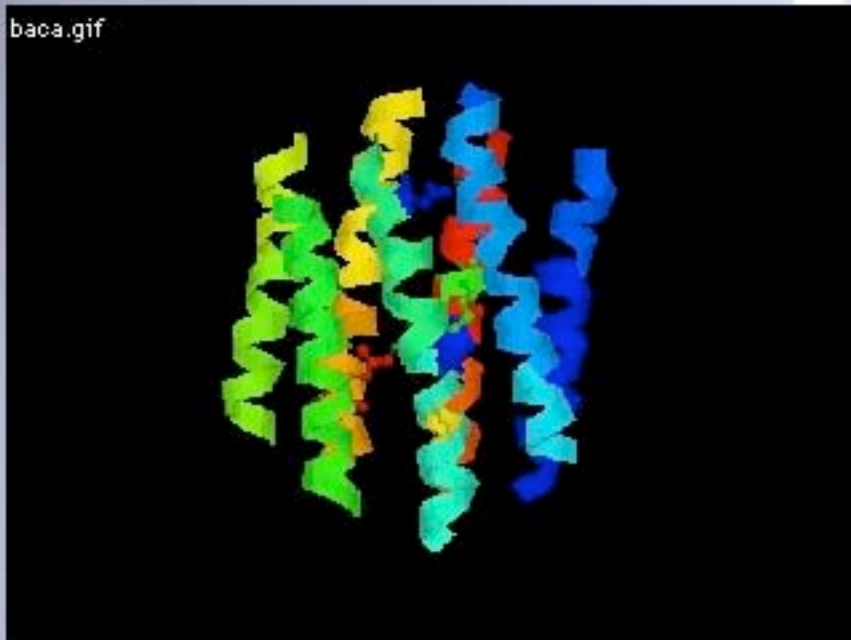
# Wachstumskurve von *Haloferax volcanii*





# Purpurmembran

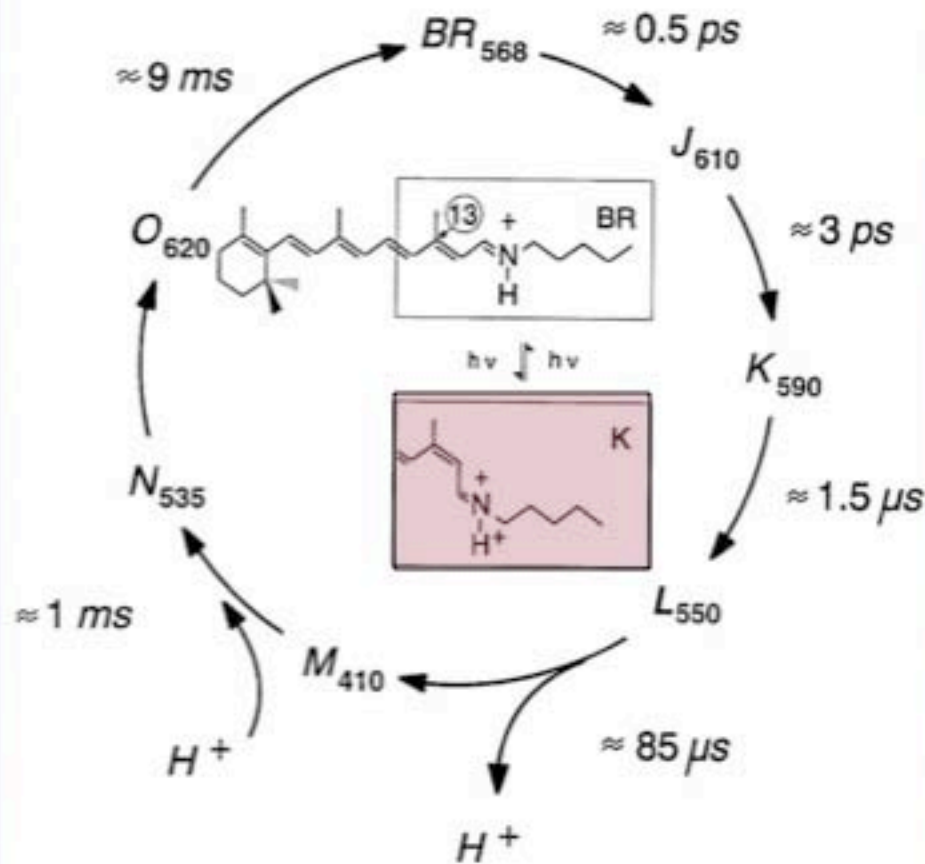
- ❏ Die Purpurmembranen von *Halobacterium salinarium* enthalten quasi-kristalline Bereiche aus dem transmembranen Protein Bacteriorhodopsin.
- ❏ Ein Molekül BR enthält 7 transmembrane Helices, die einen Kanal formen. Im Inneren des Kanals befindet sich ein Molekül all-trans-Retinal (Aldehyd des Vitamins A)
- ❏ Purpurmembranen werden bevorzugt bei Sauerstoffmangel gebildet.



# Photozyklus

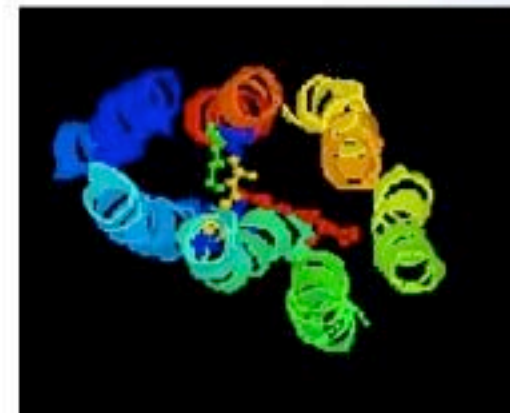
Der Chromophor **all-trans Retinal** ist kovalent über eine C=N-Bindung (Schiff'sche Base SB) an das Protein gebunden. Lichtabsorption durch den Chromophor führt innerhalb von 400 fs zur Isomerisierung in die **13-cis Geometrie**. Danach werden Protonentransferschritte induziert und Protonen von innen nach außen in den periplasmatischen Raum gepumpt (s. nächste Folie).

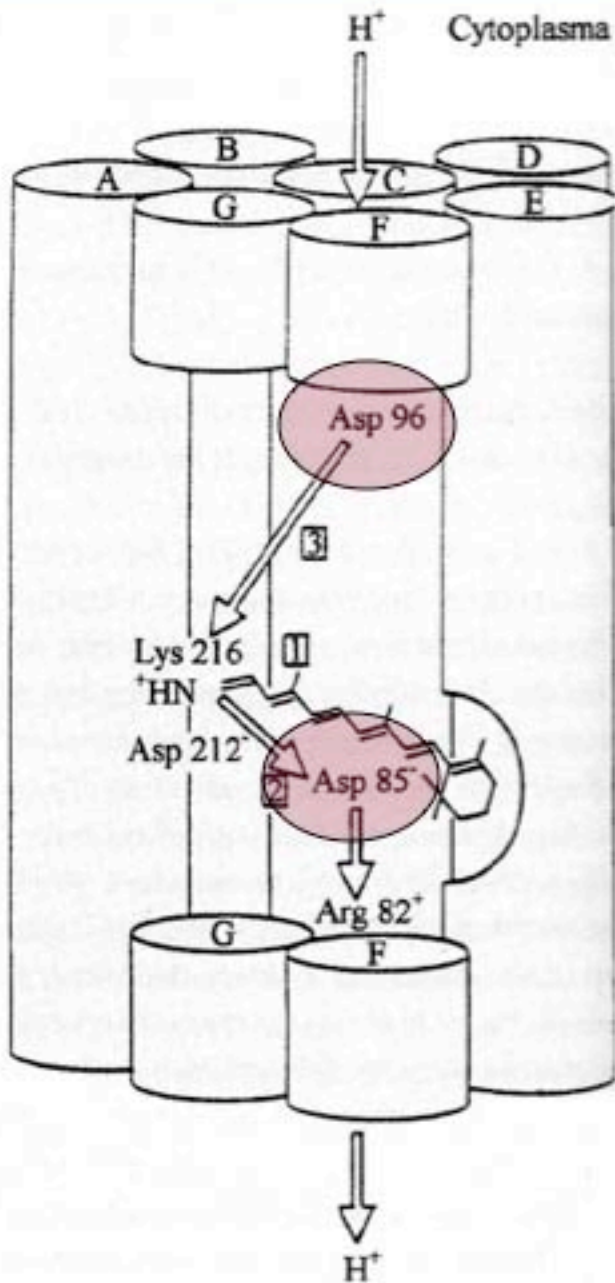
Die Gesamtdauer eines Zyklus beträgt ca. 10 ms.



**Fig.2** Photocycle of bacteriorhodopsin. The half times of intermediate formation are given for ambient temperature. Subscripts denote absorbance maxima of the intermediates. Values for intermediates N and O are estimates due to the low steady-state concentration of these intermediates under physiological conditions. Center, the primary photochemistry of bacteriorhodopsin, the 13–14 double bond photoisomerization. Also depicted is the known photoreversibility between bacteriorhodopsin and the intermediate K

© Bickel

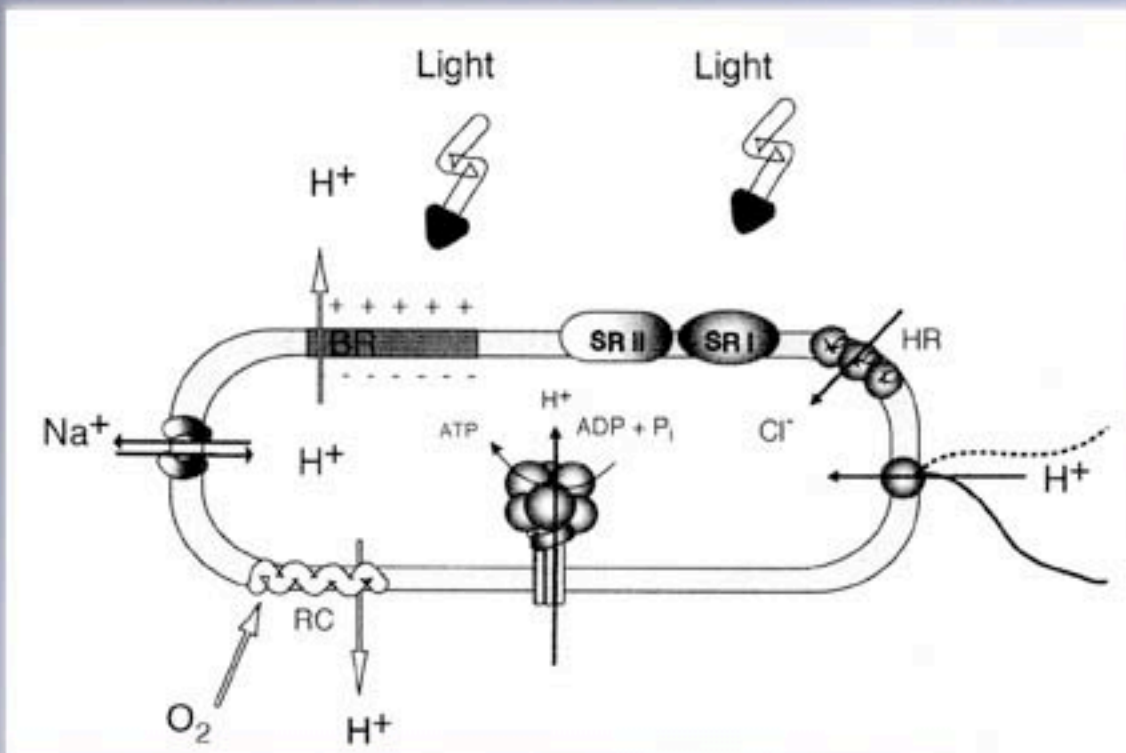




# Protonentransfer

- ✧ Zunächst wird das Proton von der SB auf **Asp-85** übertragen. Simultan wird von der Proteinoberfläche ein Proton in das extrazelluläre Medium abgegeben. Danach wird die SB von **Asp-96** reprotiniert, welche wieder von der cytoplasmatischen Seite reprotiniert wird. Nachdem der vektorielle Protonentransport durchgeführt ist, isomerisiert der Chromophor wieder zurück und das Protein befindet sich wieder im Grundzustand.

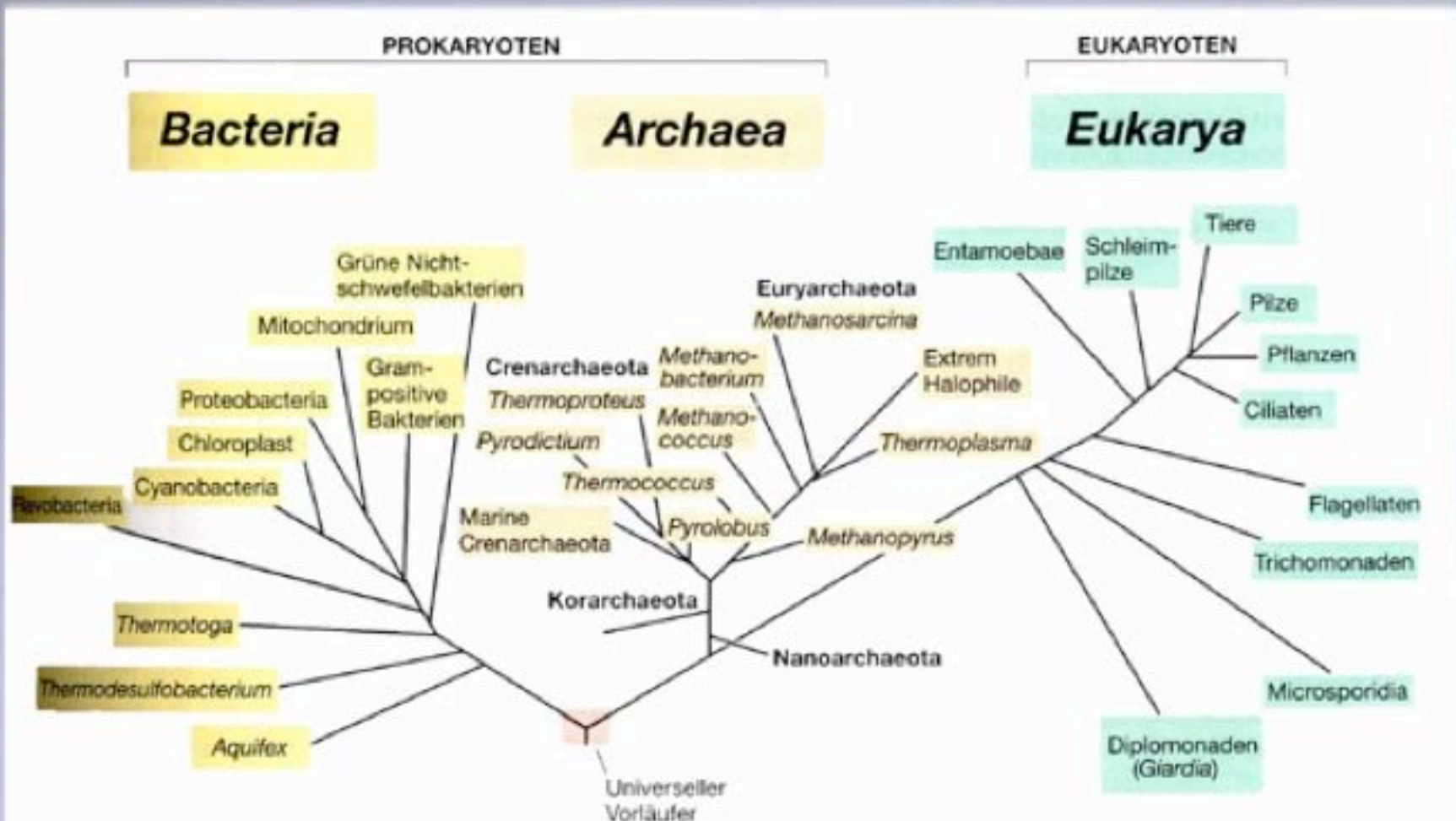
# Modell einer Halobakterien-Zelle



außerdem gibt es eine Prokaryoten-Geißel, Atmungskettenproteine, Na<sup>+</sup>-Protonen Pumpen und A-ATP-Synthasen.

- ✧ Es gibt 4 verschiedene **Retinalproteine** in *H. halobium (salinarium)*, die von einem gemeinsamen Vorläufer abstammen.
- ✧ Alle enthalten ein Retinalmolekül im Zentrum.
- ✧ SRI und SRII: beteiligt an Photo- und Chemotaxis;
- ✧ HR (Halorhodopsin): Chloridpumpe;
- ✧ BR: Protonenpumpe;

# Stammbaum der Organismen



Universeller phylogenetischer Baum, der durch die vergleichende ribosomale RNA-Sequenzierung aufgestellt wurde. Nur einige Schlüsselorganismen oder Linien sind in jeder Domäne dargestellt.

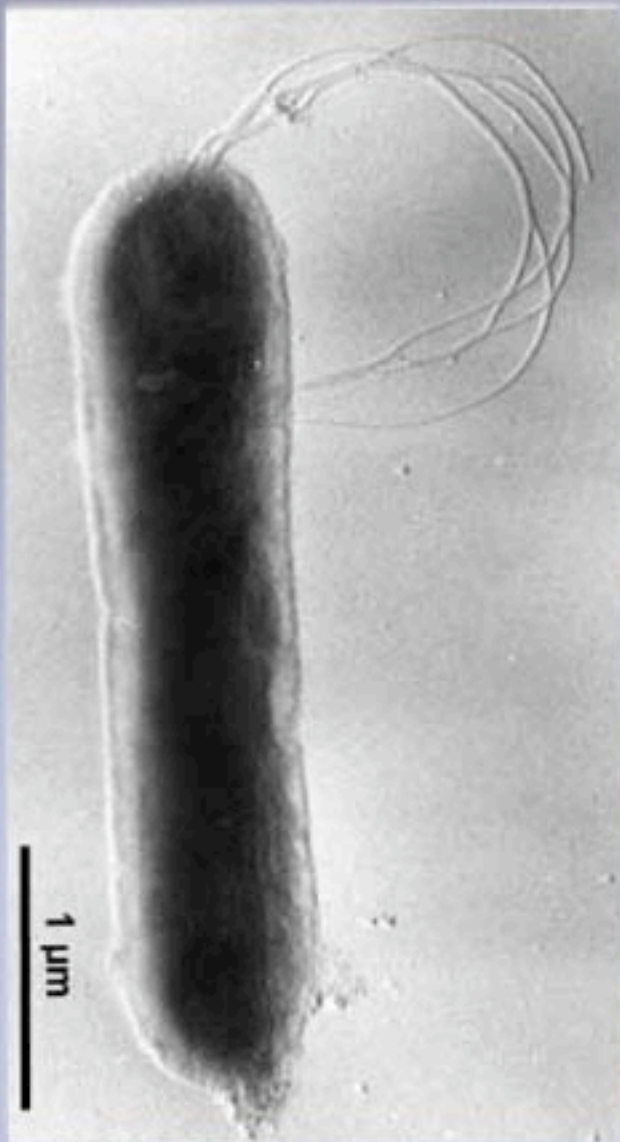




## *16s rRNA als Zeitmesser*

- ✧ ist universell verteilt
- ✧ ist funktional homolog
- ✧ besitzt zahlreiche Regionen mit konservierten Sequenzen (in allen drei Gruppen)
- ✧ gab es schon sehr früh auf der Erde
- ✧ unterliegt nicht dem horizontalen Gentransfer (wahrscheinlich.....)

# rezent, hyperthermophil und autotroph



*Aquifex pyrophilus* (platinum shadowed).

© K.O. Stetter & Reinhard Rachel, University of Regensburg.

- ✧ Aquifex ist ein hyperthermophiles Bakterium mit sehr kleinem Genom (1/3 des Genoms von *E. coli*),
- ✧ es ist autotroph, oxidiert Wasserstoff, kommt in der Nähe von Tiefseevulkanen vor (95°)
- ✧ Es benötigt nur Wasserstoff, wenig Sauerstoff, Kohlendioxid und Mineralsalze zum Leben.
- ✧ Aquifex gehört wahrscheinlich zu den ältesten Bakterien.

# *Literatur*

- ✧ Brock Mikrobiologie, Pearson Studium, 11. Auflage 2006
- ✧ K. Hausmann, B.P. Kremer, Extremophile - Mikroorganismen in ausgefallenen Lebensräumen, VCH, 1994
- ✧ S. Bickel-Sandkötter et al., Conversion of energy in halobacteria: ATP synthesis and phototaxis, Arch. Microbiol (1996) 166: 1-11
- ✧ S. Bickel-Sandkötter et al., Leben im Salz, halophile Archaea, BIUZ 1995, Nr. 6: 380-389