Verbindende Übung Biowissenschaften

Teil des Moduls "Einführung in die Biowissenschaften"

Sonja J. Prohaska

Computational EvoDevo Group
Universität Leipzig

Leipzig, WS 2025/26

Biologie – Leben

The most thrilling questions in biology:

"What distinguishes life from non-living matter?"

"How, when and where did life arise?"

"Does extraterestrial life exist?"

- **top-down approach**:
  analyze and characterize life (classic biology)
- **bottom-up approach**:
  build synthetic life from non-living matter (sythetic biology)

Biologie – Leben

Merkmale des Lebens

- **Organistation** in Form einer **Zelle**

  Die Zelle ist die Einheit des Lebens. (siehe Zelltheorie)

  Sie ist erkennbar an ihren (inneren) Strukturen.
- **chemische Komplexität** biogene Verbindungen

  z.B. **DNA** als Träger der Erbinformation

  oder das Ribosomen als hocheffiziente Translations-"maschinerie"
- **Homöostase**: die Aufrechterhaltung des Gleichgewichtszustandes eines offenen dynamischen Systems
- **Substanz- und Energiestoffwechsel** (Metabolismus)

  Katabolismus (Abbau) zur Energiegewinnung

  Anabolismus (Aufbau) zur Bildung von Zellkomponenten
- **Wachstum (und Entwicklung)**

  Anabolismusrate $>$ Katabolismusrate $\rightarrow$ Biomasse entsteht
- **Reizbarkeit** (engl. response to stimuli)

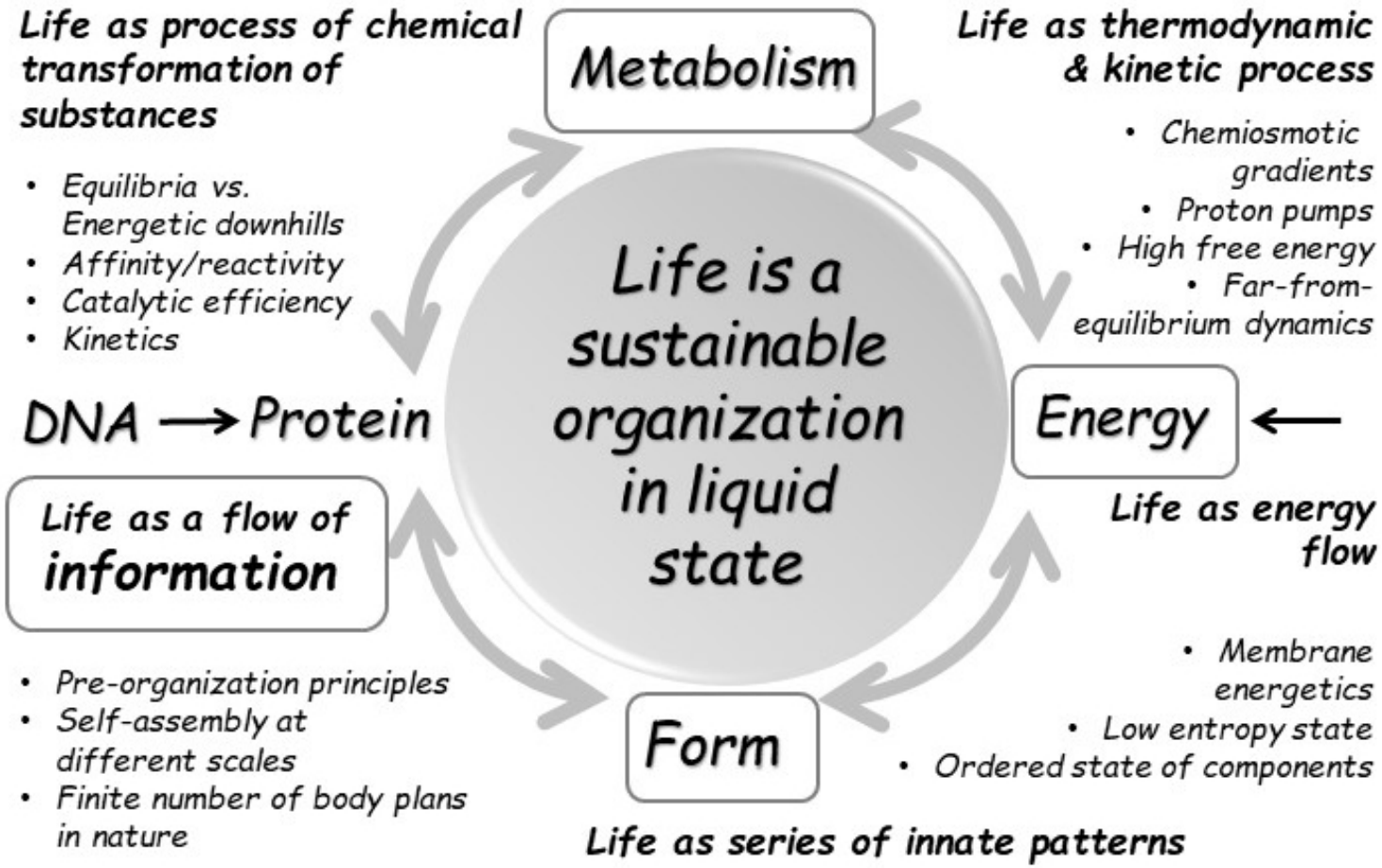
  die Fähigkeit auf Umwelteinflüsse zu reagieren

  z.B. Bewegung; ausserdem relevant für Kommunikation und Regulation
- **Reproduktion** und Vermehrung

eine mögliche Darstellung
https://de.wikipedia.org/wiki/Leben

Biologie – Leben

"life is a characteristic of something that preserves, furthers or reinforces its existance"



eine andere mögliche Darstellung
https://en.wikipedia.org/wiki/Life

Zellen – Einheit des Lebens

Die Rolle der Zellmembran

- eine Zelle ist von einer **Zellmembran** umgeben
- Die Zellmembran trennt das **Zellplasma** (innen), von der äußeren Umgebung

  $\rightarrow$ bildet ein Kompartiment

  $\rightarrow$ Abgrenzung ermöglicht Erhalt/Etablierung von Unterschieden zwischen innen und aussen
- die Zellmembran ist **permeabel** (in beide Richtungen durchlässig)

  $\rightarrow$ unterschiedliche Moleküle passieren die Zellmembran mit unterschiedlichem Energieaufwand
- chemische Gradienten, die an Membranen anliegen können zur Energiegewinnung genutzt werden
- von einer Membran umgebene Vesikel können fusionieren (verschmelzen) oder sich teilen
- *sythetische Biologie*: Liposomen sind syntetische, sphärische Vesikel und dienen als Model für die Zellmembran

Video: "https://www.youtube.com/watch?v=hu37M7pQa-M"

DNA – Träger der Erbinformation

- Das Erbmaterial, die Erbinformation, das Genom, (die DNA)
- **Funktion**: ein Abschnitte, **Gene** genannt, **kodieren** funktionale Produkte
  - ein Gen muss beliebig oft dekodiert werden können

    $\rightarrow$ durch die Dekodierung darf das Gen nicht zerstört werden
  - die Herstellung der Produkte übernimmt eine *"molekulare Dekodiermaschinerie"*
- **Funktion**: **kopierbar**
  - ein Gen muss beliebig oft repliziert werden können

    $\rightarrow$ durch die Replikation soll das Gen möglichst exakt "vervielfältigt" werden
  - erfolgt durch semikonservative Replikation
- **Funktion**: **vererbbar** (zusammen* mit der *"Dekodiermaschinerie")*
  - Weitergabe an Nachkommen (i.e. neuer Organismus)
- **Funktion**: **robust/widerstandsfähig**
- genetische Variation (i.e. Mutation) finden auf der Ebene der DNA statt

Question: "Does a DNA-less cellular organism exist on Earth?"
Answer: "No, but it is possible that an organism carrying an RNA genome exists on Earth."

* Zellen sind geeignet, um das Zusammenbleiben der Komponenten zu gewährleisten

Die molekulare "Dekodiermaschinerie"

- **Funktion**: Herstellen des funktionalen Genprodukts nach **Vorlage** des Gens

  1. Schritt: **Transkription** – "abschreiben" des Gens

  von Gen (aus DNA) nach Transkript (aus RNA)

  benötigt Transkriptionsregeln/-"code"

  2. Schritt: **Translation** – "übersetzen" oder "dekodieren" des Transkripts

  von Transkript (aus RNA) nach Genprodukt (aus Protein)

  benötigt Translationregeln, i.e. den **genetischen Code**
- Die *Maschinerie* ist universell, sie kann das Genprodukt jedes beliebige Gens herstellen
- Die *Maschinerie* muss mit Energie versorgt werden
- Der *Maschinerie* müssen Bausteine zur Herstellung des Produkts zur Verfügung stehen
- Die *Maschinerie* selbst, wird bei der Herstellung des Produkts nicht verbraucht

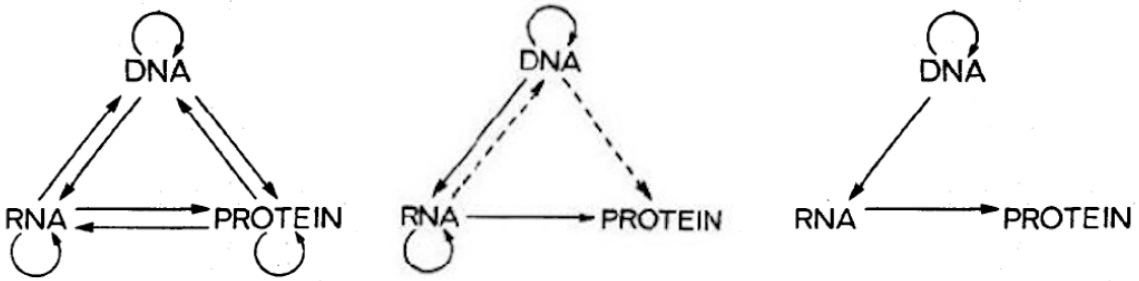
  sie agiert als Enzyme bzw. Katalysator (Chemie)
- Die Bestandteile der *Maschinerie* sind selbst Genprodukte, deren Gene Teil des Erbmaterial (DNA) sind

DNA → RNA → protein

"DNA makes RNA makes protein" by James Watson

Flow of Information: What Crick wanted to say

The Central Dogma (of molecular biology) by Francis Crick



All possible routes of information flow | **Central Dogma** | **"DNA makes RNA makes protein"**

Question: *"Does an organism exist that produces protein directly from DNA?"*
Answer: *"No, but from a theoretical point of view such a process could exist."*

Meinungen und online Dikussionen zum "central dogma":

- `https://sandwalk.blogspot.com/2007/01/central-dogma-of-molecular-biology.html`
- `https://judgestarling.tumblr.com/post/177554581856/the-fallacious-commingling-of-two-unrelated`

Das funktionale Genprodukt

- **Funktion**: eine Funktion haben, i.e. etwas spezifisches tun

  die Funktionen von Genprodukten sind vielfältig

  Genprodukte sind an allen Prozessen beteilt, die "Leben" ausmachen

  die **molekulare Funktion** eines Genprodukts ist seine **chemische Aktivität**

  elementare chemische Aktivitäten sind das **Binden** und die **Katalyse**
- Selektion findet (zu grossen Teilen) auf der Ebene der Fuktion von Genprodukten statt
- **Gene Ontology (GO)** ist eine internationale Bioinformatik-Initiative zur Vereinheitlichung eines Teils des Vokabulars der Biowissenschaften

  sie klassifiziert Geneprodukte unter anderem nach ihrer molekularen Funktion "molecular function"
- `http://geneontology.org/`

Question: *"Can RNAs be functional gene products?"*
Answer: *"Yes, they can. Many RNAs have functions similar to proteins."*

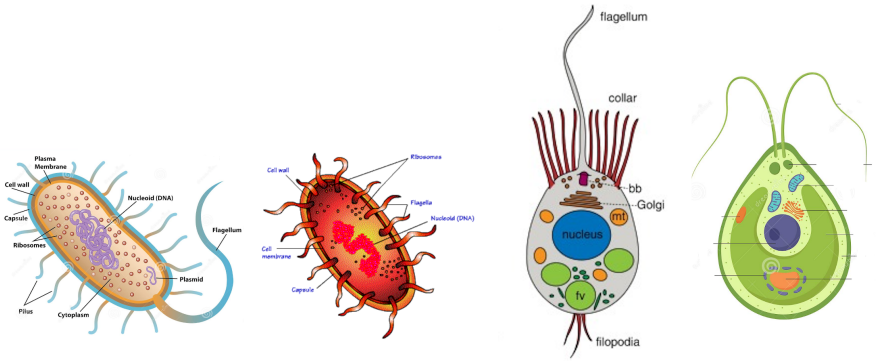
Minimale Zellen – “natural” and “synthetic”

- *Mycoplasma genitalium*, a human urogenital **pathogenic** bacterium
  has only 475 protein-coding genes
  has the smallest number of genes of any known **self-replicating** organism
- *Carsonella ruddii* is a symbiotic bacterium, which lives off sap-feeding insects
  has only 182 protein-coding genes
  requires host for reproduction

Die bisher minimalste, nicht-parasitisch/symbiontisch lebende Zelle wurde **synthetisch** durch schrittweises entfernen von Genen aus dem Genom von *Mycoplasma mycoides* hergestellt. Sie enthält 473 Gene wovon 31% unbekannter Funktion sind.

Nature News 2016: `https://www.nature.com/news/minimal-cell-raises-stakes-in-race-to-harness-synthetic-life-1.19633`

An der Basis der Stammesgeschichte der Lebewesen

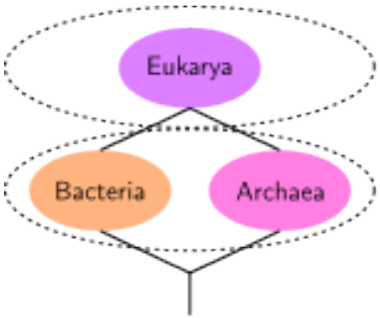


Bakterium – Archaeon – (Eukaryot ("Unikonta") – Eukaryot ("Bikonta"))

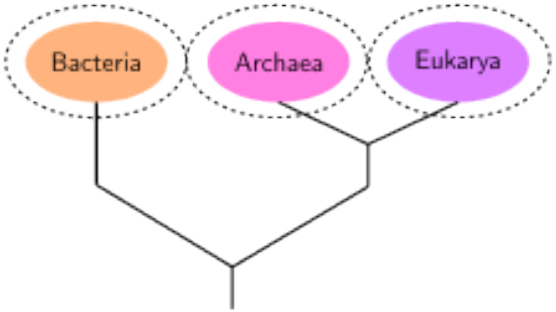
- Alle Lebewesen werden in **drei** Gruppen eingeteilt
  - **Bacteria**, **Archaea** und **Eukarya** (scientific names)
  - (deutsch) Bakterien, Archaeen und Eukaryoten
  - (english) bacteria, archaea, and eukaryots
- **Bakterien und Archaeen**
  - besitzen keinen (echten) Zellkern
  - sind ausschließlich **einzellige** Lebewesen, können aber "communities" bilden
- **Eukaryoten** ("eu" für "echt", "karyon" für Kern)
  - besitzen einen echten Zellkern/**Nucleus**
  - es gibt sowohl einzellige als auch **vielzellige** Lebewesen
  - Eukaryoten werden/wurden in zwei Hauptgruppen eingeteilt:
    - Unikonta (eine Geißel oder ein Scheinfuß): u.a. Tiere, Pilze
    - Bikonta (zwei Geißeln): u.a. Pflanzen
  - Vielzelligkeit in Eukaryoten ist mindestens 3 mal unabhängig entstanden (in den "Pflanzen", "Pilzen" und "Tieren")

Alternative Klassifikationssystems der Lebewesen

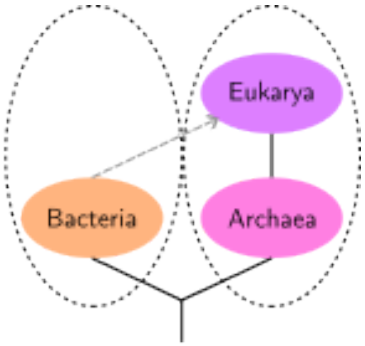
- **Two-empires**: prokaryotes (Bacteria *plus* (Archae)-bacteria) and eukaryotes
  introduced around 1900
  eukaryotes arose from multiple *symbiogentic* events
- **Three-domains**: (Eu-)Bacteria, Archaea and Eukarya
  eukaryotes are relatives of (a monophyletic group of) Archaea
  introduced by Carl Woese et al. (1990s)
  based on sequence comparison of 16S rRNA genes
- **Two-domains**: Bacteria and Archaea *plus* Eukarya
  eukaryotes are descendents of archaea
  first proposed by James A. Lake (1980s) – "eocyte hypothesis"
  revival around 2015
  due to metagenome analysis which provided lots of new archaeal genomes



Two empires of life



Three domains of life



Two domains of life

Charakteristische Unterschiede der drei Gruppen

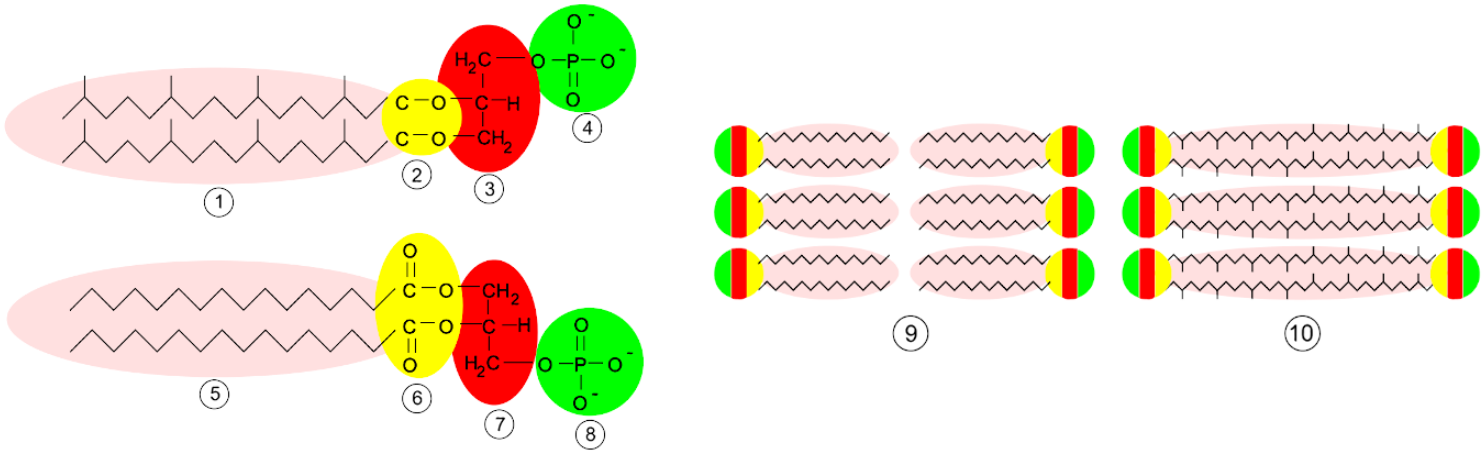
Trait	Bacteria	Archaea	Eukarya
Carbon linkage of lipids	Ester	*Ether*	Ester
Phosphate backbone of lipids	Glycerol-3-phosphate	*Glycerol-1-phosphate*	Glycerol-3-phosphate
Metabolism	Bacterial	Bacterial-like	Eukaryotic
Nucleus	No	No	Yes
Organelles	No	No	Yes
Spliceosomal introns	No	No	Yes
Telomeres	No	No	Yes
Chromosome shape	Mostly circular	Circular	Linear
DNA replication	Bacterial	Eukaryotic-like	Eukaryotic
Transcription	Bacterial	Eukaryotic-like	Eukaryotic
Translation	Bacterial	Eukaryotic-like	Eukaryotic

blau – Prokaryoten unterscheiden sich von Eukaryoten
grün – Archaeen sind den Eukaryoten ähnlich
rot – Archaeen unterscheiden sich von (Bakterien und Eukaryoten)

Hinweis: Die Tabelle zeigt nur einen Bruchteil der Gemeinsamkeiten/Unterschiede. Die Anzahl an roten, grünen und blauen Zeilen soll **nicht** auf eine größere Ähnlichkeit/einen höheren Verwandschaftsgrad hindeuten.

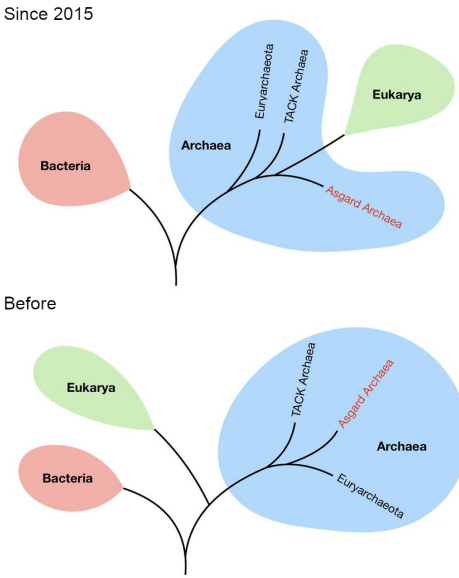
Die Zellmembran der Archaeen

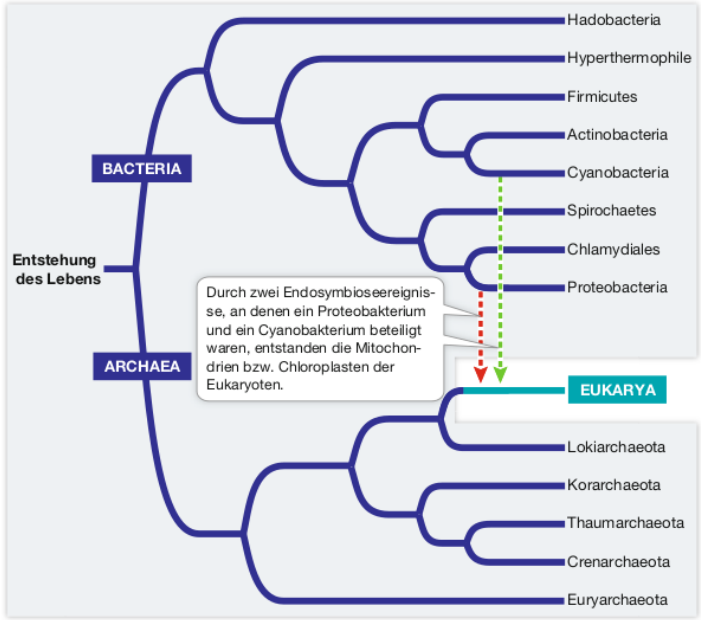
Eukaryoten und Bakterien	Archaeen
Unterschiede	
(5) unverzweigte Kohlestoffketten	(1) verzweigt Kohlestoffketten
(6) Esterbindung	(2) Etherbindung
(7)+(8) Glycerol-3-phosphat	(3)+(4) Glycerol-1-phosphat
(9) Lipid**doppel**schicht	(10) einfache Lipidschicht
stabiler bei hohen Temperaturen	generell flexibler
Gemeinsamkeiten	
etwa selbe dicke der Lipidschicht	
hydrophiler Glycerolphosphat-"Köpfe" nach aussen gerichtet	
hydrophobe Kohlenstoff-"Schwänze" nach innen gerichtet	



Der andersartige Aufbau er Zellmembran von Archaeen könnte mit ihrer extremophilen Lebensweise zusammenhängen.

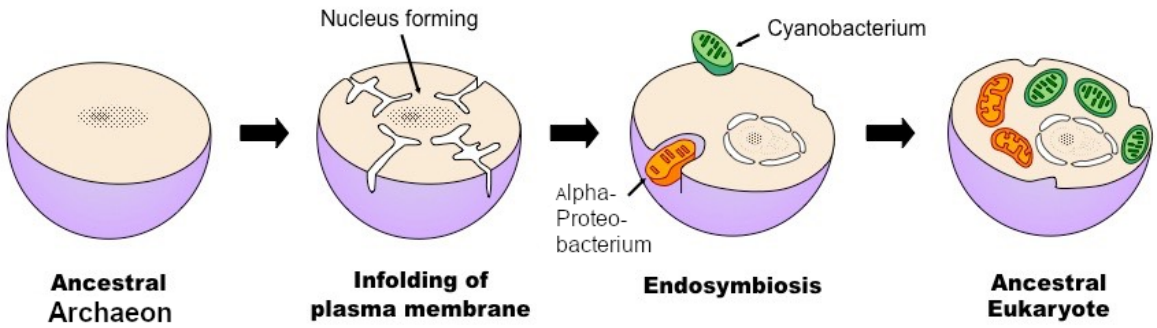
Eukaryogenesis: Der Ursprung der Eukaryoten





Endosymbiontentheorie – eine **Theorie zur Entstehung von Eukaryoten**

- einige Gene der Endosymbionen werden in den Zellkern integriert
  die notwenigen Genprodukte müssen in die Organellen transportiert werden



Der Ursprung der Zellmembran von Eukaryoten

Wenn ein Archaeon Bakterien in sich aufgenommen hat, warum ähnelt die Zellmembran der Eukaryoten nicht der von Archaeen, sondern der von Bakterien?

- the membrane of the bacterial endosymbiont replaced the host's original archaeal membrane lipids
- this could have happened by the transfer of bacterial lipid synthesis genes to the host genome
- the archaeal lipid synthesis pathway was lost, and the bacterial pathway took over

Fun Facts: Stammesgeschichte der Eukarya

- 2015 wurde die Gruppe der **Asgardarcheota** entdeckt/bekannt.
- Sie sind nicht nur die nächsten verwandten der Eukarya,

  ihre Namem haben erstaunlich viel Ähnlichkeit zu den Marvel Movie Charakteren.

