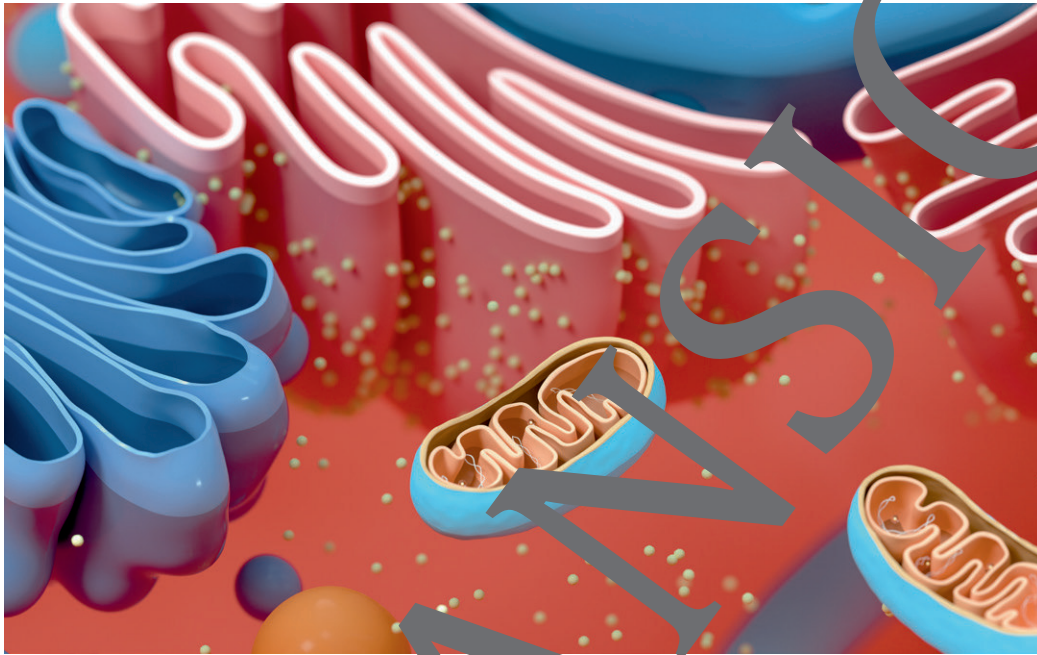


II.A.1.6

Cytologie – Organisation der Zelle

Die Endosymbiontentheorie – der Ursprung der eukaryotischen Zelle

Dr. Christoph Weiglin



© RAABE 2024

© Jian Fan/iStock/Getty Images Plus

Im Zentrum dieser Einheit steht ein zentrales Forschungsfeld der modernen Evolutionsbiologie: die Frage nach dem Ursprung der eukaryotischen Zellen aus prokaryotischen Vorläufern. Ihre Lernenden vergleichen pro- und eukaryotische Zellen und stellen den Bezug zu Mitochondrien und Chloroplasten her. Sie erarbeiten sich die Endosymbiontentheorie als Phagozytoseprozess und betrachten Belege dieser Theorie. Abschließend betrachten die Lernenden experimentelle Fallbeispiele aus der Zellbiologie, die den endosymbiotischen Ursprung der Mitochondrien und Chloroplasten belegen.

KOMPETENZPROFIL

Klassenstufe: 11, 12, 13

Dauer: 6 Unterrichtsstunden (Minimalplan: 4)

Kompetenzen: Sachkompetenz, Bewertungskompetenz

Inhalt: Evolution, Zellbiologie, Mitochondrium, Chloroplast, Biomembran, Phagozytose, Prokaryoten,

Auf einen Blick

1./2. Stunde

Thema: Reaktivierung des Vorwissens zur Zellbiologie

M 1 Protozyten und Euzyten – ein Vergleich

M 2 Eubakterien, Zyanobakterien und Archaeen

3./4. Stunde

Thema: Grundlage und Belege der Endosymbiontentheorie

M 3 Die Endosymbiontentheorie

Benötigt: ggf. das Video <https://raabebits.de/Endosymbiontentheorie> für den Einstieg

5./6. Stunde

Thema: Weitere Belege und Beispiele für die Endosymbiontentheorie








M 4 Sekundäre Endosymbiose

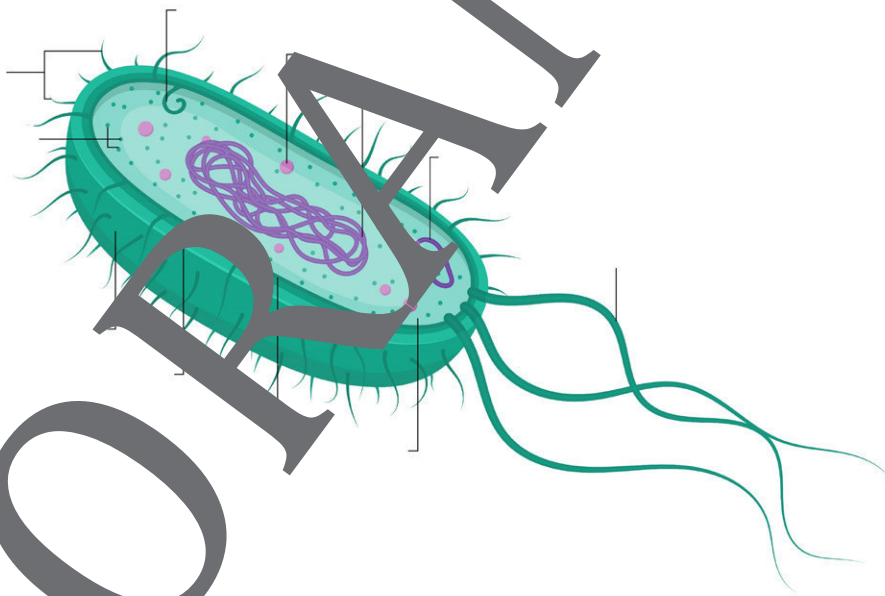
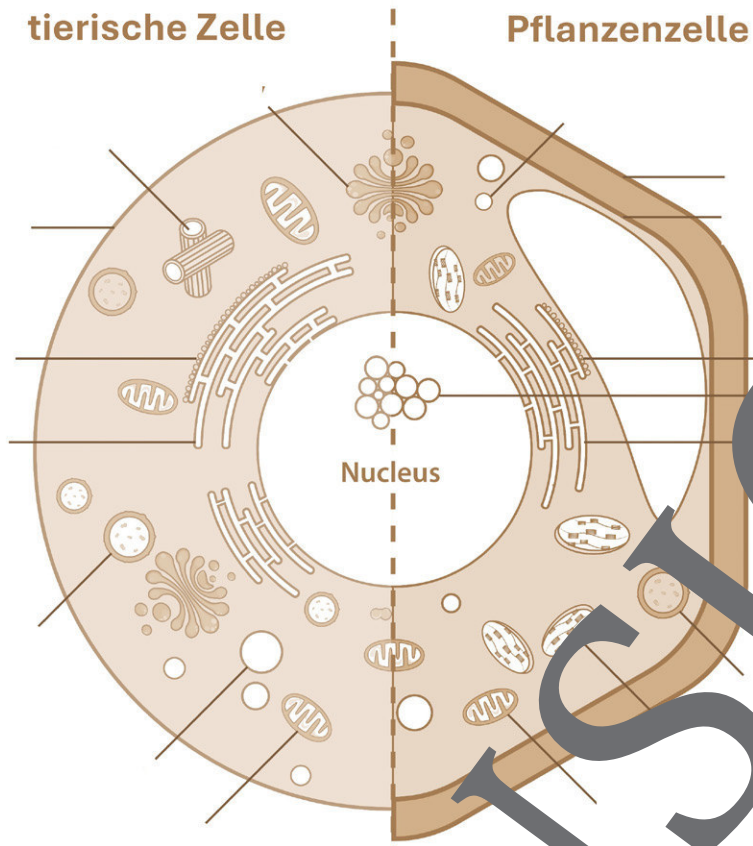
M 5 Endosymbiose – auf frischer Haut erpapt!

Minimalplan

Falls Sie weniger Zeit für diese Unterrichtseinheit haben, wenn diese beispielsweise im Grundkurs unterrichtet wird, geben Sie **M 1** als vorbereitende Hausaufgabe auf. Starten Sie in der darauffolgenden Stunde mit **M 2**. **M 3** bildet das Herzstück der Einheit und sollte nicht entfallen. **M 4** und **M 5** sind als Erweiterungen und Vertiefungen der Einheit zu betrachten. Die Inhalte könnten alternativ in Form von Präsentationen von Lernenden vermittelt werden.

Erklärung der Symbolen

	Dieses Symbol markiert differenziertes Material. Wenn nicht anders ausgewiesen, befinden sich die Materialien auf mittlerem Niveau.				
	leichtes Niveau		mittleres Niveau		schwieriges Niveau
	Zusatzaufgabe		Alternative		Selbsteinschätzung



Bakterium: © Vitalii Dumma/iStock/Getty Images Plus (mod.)

Eukaryotische Zellen: © toonishwarhead/iStock/Getty Images Plus (mod.)

© RAABE 2024

VORANSICHT

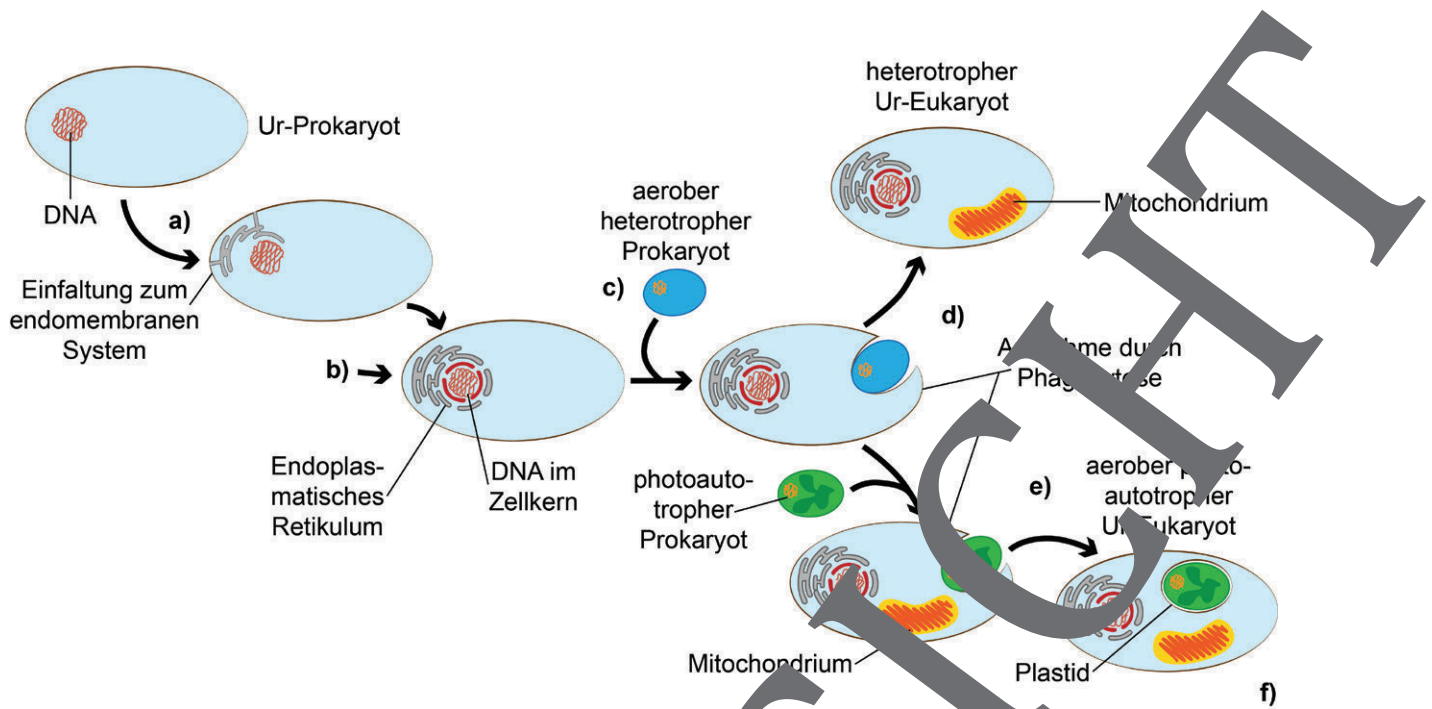


Abb. 1 Entstehung von Mitochondrien und Chloroplasten nach der Endosymbiontentheorie

Grafik: Sylvana Timmer

Tatsächlich zeigen Chloroplasten und Mitochondrien eine Reihe von Besonderheiten, die diese Theorie unterstützen:

- Elektronenmikroskopische Aufnahmen zeigen, dass Mitochondrien und Chloroplasten etwa die **Größe und Form** von lebenden Bakterien bzw. Zyanobakterien besitzen.
- Beide Organellen besitzen eine Hülle aus **zwei Membranen**. Die innere Membran der Mitochondrien enthält das Phospholipid **Cardiolipin**, das sonst nur bei Prokaryoten vorkommt. Die äußere Membran ähnelt der einer Fuzyte, sie enthält das Steroid **Cholesterol**, das andererseits bei Prokaryoten nicht vorkommt.
- Chloroplasten und Mitochondrien enthalten wie eigenständige Zellen eine **eigene DNA**. Diese ist wie bei Prokaryoten **ringförmig** und liegt in mehreren Kopien als „nackte“ DNA vor und enthält keine **Histone**. Die DNA der Eukaryoten besteht aus mehreren linearen Chromosomen und ist mit Histonen assoziiert. Die **Gene der Mitochondrien (mt-DNA)** und **Chloroplasten (ct-DNA)** zeigen eine für Prokaryoten typische Anordnung, z. B. die **Operonstruktur**. Die Anzahl der Gene ist jedoch gegenüber frei lebenden Prokaryoten deutlich niedriger.
- **Chloroplasten und Mitochondrien** besitzen wie frei lebende Eukaryoten eigene **Ribosomen**, synthetisieren also einen Teil der Organellproteine selbst. Die meisten Proteine werden jedoch von Genen der Zellkern-DNA gebildet (semiautonome Organellen). Die Ribosomen sind wie bei Prokaryoten vom **70 S-Typ** und damit kleiner als die **80 S-Ribosomen** im Zytoplasma).

Histone sind basische Proteine im Zellkern von Eukaryoten, die bei der Verpackung der DNA bei der Zellteilung entscheidend sind.

Das „S“ der Ribosomen steht für **Svedberg-Einheiten**, ein Maß für die Sinkgeschwindigkeit bei der Auftrennung von Zellbestandteilen in der Ultrazentrifuge.

Endosymbiose – auf frischer Tat ertappt!

M 5

Aufgaben

1. **Vergleichen** Sie die Situation von *Hatena* und *Nephroselmis* mit dem Endstadium einer Endosymbiose.
2. Die Evolution von Zellorganellen wird häufig als zweistufiger Prozess bezeichnet. **Erläutern** Sie dies am Beispiel von *Paulinella Chromatophora*.
3. **Erklären** Sie, warum das Chromatophor von *Paulinella* auch als „Chloroplast im Kindesalter“ bezeichnet wird.

Hatena und *Nephroselmis*

Ein Einzeller, der an japanischen Stränden gefunden und von seinen Entdeckern „*Hatena*“ (*Hatena* bedeutet auf Japanisch „rätselhaft“) genannt wurde, gibt einen Einblick in die **einzelnen Schritte** bei der Entwicklung einer **Endosymbiose**. Der Flagellat (Geißeltierchen) *Hatena* führt sich in einer Phase seines Lebens räuberisch von kleineren Einzellern. Nimmt jedoch die grüne Alge *Nephroselmis* auf, verdaut er sie nicht. Die Alge lebt im **Zellinneren** von *Hatena* weiter und entwickelt sich dort weiter. Ihr **Chloroplast** wächst auf die **zehnfache Größe** im Vergleich zu ihren frei lebenden Artgenossen an und zahlreiche Zellstrukturen bilden sich zurück. Sie versorgen ihren Wirt mit **Fotosyntheseprodukten**, der daraufhin seine **räuberische Lebensweise** aufgibt und keine weitere Nahrung mehr aufnimmt. *Hatena* besitzt wie die Schönauge *Euglena* einen Augenfleck, mit dessen Hilfe sich der Flagellat nach dem Licht ausrichten kann.

Bei Zellteilungen von *Hatena* erhält **nur eine Tochterzelle die Alge**, es entstehen also Tochterzellen mit und ohne symbiontische Algen. Die farblosen Tochterzellen ernähren sich räuberisch von kleineren Einzellern und bilden an der Stelle, wo bei der Mutterzelle der Augenfleck sitzt, einen besonderen Fressapparat aus bis zur Aufnahme einer *Nephroselmis*-Alge.

Paulinella – Chloroplast im Kindesalter

Die meisten **Amoeben** sind **räuberische Einzeller**, die durch Phagozytose kleinere Einzeller oder Bakterien durch **Phagozytose** aufnehmen und verdauen. Die **Ausnahme** bilden drei fotosynthetische Vertreter der Gattung *Paulinella*, die nicht mehr in der Lage sind, Phagozytose zu betreiben. *Paulinella*-Arten sind Schalenamoeben, die im Inneren einer von der Zelle erzeugten und nach außen abgeschiedenen Schale aus Kieselgruppen leben. *Paulinella Chromatophora* besitzt zwei fotosynthetisch aktive wurstförmige Chloroplasten (Chromatophoren), die der Amöbe die Fähigkeit verleihen, Fotosynthese zu betreiben. Die **Chromatophoren ähneln Chloroplasten** und besitzen wie diese Thylakoide, sind von zwei Membranen umhüllt, besitzen jedoch zwischen diesen eine dünne Zellwand aus Silizium. Man nimmt an, dass sie ursprünglich durch Endosymbiose von Zyanobakterien entstanden sind. Wegen seiner Ähnlichkeit mit den zyanobakteriellen Vorfahren wird es als Chromatophor oder auch als **Zyanell** (Zyanobakterienartiges Organell) bezeichnet. Die Vermehrung erfolgt durch einfache Zellteilung. Hierbei erbt **jede der beiden Tochterzellen einen der Chromatophoren**, der sich anschließend durch Teilung wieder **verdoppelt**. Die Teilung von Mutterzelle und Endosymbiont erfolgt hier also nicht unabhängig.

Man geht davon aus, dass die **Endosymbiose von Zyanobakterien** bei den Vorfahren von *Paulinella Chromatophora* sich vor ca. 90–140 Millionen Jahren ereignete, also wesentlich später als das vor ca. 1,1–1,2 Milliarden Jahren primäre Symbioseereignis, das zur Entstehung der Euzyte führte. Dies ist das **zweite bekannte primäre Endosymbioseereignis** mit fotosynthetischen Zyanobakterien. Es handelt sich hierbei um eine andere Verwandtschaftsgruppe der Zyanobakterien als die, die zur Entstehung der Chloroplasten aller anderen bekannten fotosynthetischen Eukaryoten geführt hat.

Mehr Materialien für Ihren Unterricht mit RAAbits Online

Unterricht abwechslungsreicher, aktueller sowie nach Lehrplan gestalten – und dabei Zeit sparen.
Fertig ausgearbeitet für über 20 verschiedene Fächer, von der Grundschule bis zum Abitur: Mit RAAbits Online stehen redaktionell geprüfte, hochwertige Materialien zur Verfügung, die sofort einsetz- und editierbar sind.

- ✓ Zugriff auf bis zu **400 Unterrichtseinheiten** pro Fach
- ✓ Didaktisch-methodisch und **fachlich geprüfte Unterrichtseinheiten**
- ✓ Materialien als **PDF oder Word** herunterladen und individuell anpassen
- ✓ Interaktive und multimediale Lerneinheiten
- ✓ Fortlaufend **neues Material** zu aktuellen Themen



Testen Sie RAAbits Online
14 Tage lang kostenlos!

www.raabits.de

