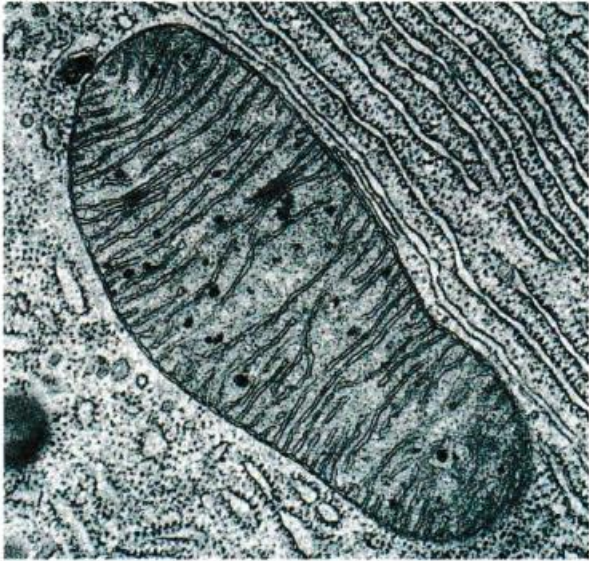


Endosymbiontentheorie



01 Elektronenmikroskopische Aufnahme eines Mitochondriums mit doppelter Zellmembran

ENDOSYMBIOSE · Lange Zeit stand man vor der Frage, weshalb Mitochondrien und Chloroplasten von einer doppelten Zellmembran umgeben sind. Ein Hinweis ergab sich unter anderem aus der Beobachtung, dass die beiden Zellorganellen nicht neu gebildet werden, sondern sich wie Bakterien teilen.

Dafür müssten Vorläuferzellen der heutigen Eukaryoten ursprünglich frei lebende prokaryotische Zellen, zum Beispiel Bakterienzellen, umflossen und in ihr Zellinneres aufgenommen haben. Die durch diese *Phagozytose* aufgenommene Zelle wäre dann nicht verdaut worden. Stattdessen wäre es zu einer wechselseitigen Beziehung zwischen der aufnehmenden und der aufgenommenen Zelle gekommen, wovon beide profitiert hätten. Eine solche Wechselbeziehung nennt man **Symbiose**. Dabei bezeichnet man die aufnehmende Zelle als Wirt und die aufgenommene als Symbiont. Da der Symbiont innerhalb der Wirtszelle lebt, spricht man von **Endosymbiose**.

UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE · Wenn Chloroplasten und Mitochondrien Endosymbionten sind, müsste es weitere Befunde geben, die diese Annahme unterstützen. Tatsächlich wur-

den bei strukturellen, genetischen und biochemischen Untersuchungen an Chloroplasten und Mitochondrien weitere Hinweise gefunden, die die anfangs aufgestellte Vermutung bestätigten:

- Chloroplasten und Mitochondrien besitzen eine Hülle aus zwei Biomembranen. Nur die innere Membran enthält das bakterientypische Kardiopin und nur in der äußeren Membran kommt das für Eukaryoten typische Cholesterol vor. Dies kann man so erklären, dass die innere Membran vom Symbionten stammt und die äußere vom Wirt, der den Symbionten eingeschlossen hat. Das kann als Beleg für einen möglichen Phagozytosevorgang ohne anschließende Verdauung angesehen werden.
- Chloroplasten und Mitochondrien besitzen eigene DNA, die wie bei den Bakterien ringförmig ist.
- Chloroplasten und Mitochondrien besitzen kleinere Ribosomen als die Wirtszelle. Solche kleinen Ribosomen kommen auch in frei lebenden Bakterien vor.
- Die Proteinbiosynthese verläuft in den Mitochondrien und Chloroplasten auf ähnliche Weise wie in Bakterien. Demgegenüber ist die Proteinbiosynthese in der Wirtszelle komplizierter.
- Die in den Ribosomen von Mitochondrien enthaltene RNA, die mitochondriale rRNA, zeigt erstaunliche Übereinstimmungen mit der rRNA aus dem Bakterium *Rhizobium*. Bakterien aus der Verwandtschaft von *Rhizobium* sind daher wahrscheinlich prokaryotische Vorläufer der Mitochondrien.
- Die rRNA aus Chloroplasten ist der rRNA aus bestimmten Cyanobakterien sehr ähnlich. Diese Prokaryoten gelten als Vorläufer der Chloroplasten.

Aufgrund dieser Untersuchungsergebnisse wurde aus der ursprünglichen Endosymbiontenhypothese die inzwischen allgemein anerkannte **Endosymbiontentheorie**.

MODELLORGANISMUS · Es gibt viele heute lebende Organismen, die ohne endosymbiontische Einzeller, vorwiegend Algen, nicht leben könnten. Dazu gehören Steinkorallen, verschiedene Einzeller, Hohltiere, Muscheln oder Schwämme. Man kann sie jeweils als Modellorganismen für Abläufe heranziehen, die in der Frühzeit der Zellentwicklung stattgefunden haben können.

In einigen Amöben und farblosen eukaryotischen Algen kommen Zellbestandteile vor, die ebenfalls von Cyanobakterien abstammen. Diese **Cyanellen** besitzen aber noch eine dünne Bakterienzellwand aus Murein. Ihr Erbmateriale hat etwa den Umfang wie das der Chloroplasten. Cyanellen können daher als eine noch lebende Zwischenstufe auf dem Weg von Cyanobakterien zu Chloroplasten aufgefasst werden.

ENTSTEHUNG DER EUZYTE · Nach heutigen Vorstellungen könnte die Euzyte etwa so entstanden sein: Zuerst bildete eine Vorstufe einer Euzyte ein inneres Membransystem aus. Es entstanden die Umhüllung des Chromosomenmaterials, das endoplasmatische Retikulum und der Golgi-Apparat. Dies war der Anfang des **Ur-Eukaryoten** mit einem Zellkern.

Diese Zelle konnte Stoffe aus der Umgebung durch Phagozytose aufnehmen.

In einem nächsten Schritt nahm der Ur-Eukaryot ein **α -Protobakterium** auf, ohne es zu verdauen. Stattdessen gingen die beiden Zellen eine Symbiose ein, wobei der Symbiont seine Fähigkeit zur Synthese der eigenen Zellbestandteile allmählich verlor. Stattdessen wurden viele der eigenen Gene in das Erbgut der Wirtszelle integriert. So entstand das Mitochondrium, das allein nicht lebensfähig ist, sondern vollständig von der Wirtszelle abhängt. Gentechnische Untersuchungen belegen die Verwandtschaft von Mitochondrien mit der Gruppe der α -Protobakterien.

In einem weiteren Schritt nahm die Euzyte, die bereits Mitochondrien enthielt, ein **Cyanobakterium** durch Phagozytose auf. Auch das Cyanobakterium wurde nicht verdaut. Es entwickelte sich in gleicher Weise zu einem

Chloroplasten, der ebenfalls allein nicht mehr ohne die Wirtszelle überleben konnte und dessen Gene zum großen Teil in den Zellkern übertragen wurden.

Die so entstandene Zelle ist die Urzelle aller Pflanzen. Aus den so geformten Euzyten ohne Chloroplasten entwickelten sich schließlich Tiere und Pilze.

