

Forschungsschwerpunkt

Biogenese der Chloroplasten

Die eukaryotische Zelle ist aus der Vereinigung einst frei und unabhängig voneinander lebenden Organismen durch Endosymbiose entstanden.

Mitochondrien sind aus sauerstoffatmenden Proteobakterien, Chloroplasten aus sauerstoffbildenden, photosynthetisierenden Cyanobakterien hervorgegangen.

Die Umwandlung der Endosymbioten in die Zellorganellen Mitochondrien und Chloroplasten zur Freisetzung potentieller Synergien bedingte einen massiven Anpassungsprozess auf genetischer, physiologischer und zellulärer Ebene. Ein entscheidender Schritt in diesem Prozess war der weitgehende Transfer der Erbinformation von den Symbionten in den Zellkern und die damit verbundene Einbindung in ein übergreifendes Kontrollsystem.

Im Fall der Chloroplasten wurden ca. 3500 – 4000 Gene in den Zellkern transferiert und nur etwa 100 verblieben im entstehenden Organell. Die Reduktion der Organellengenome umfasst nicht nur den erfolgreichen Gentransfer zum Kern, sondern auch den Verlust der verbleibenden Gen-Kopie im Organell. Voraussetzung für diesen Verlust ist der Rücktransport kerncodierter Genprodukte in die Organellen. Heute sind die kerncodierten Organell-Proteine mit einer zusätzlichen, abspaltbaren Signalsequenz ausgestattet, die für Zielsteuerung und Transport notwendig ist. Die Chloroplasten werden von zwei Membranen umgeben, der äußeren und der inneren Chloroplastenhüllmembran. Diese Membranen sind aus der Plasmamembran und der äußeren Membran des gram-negativen Cyanobakteriums hervorgegangen. Die Frage nach dem Ursprung des Proteinimportapparates bis hin zu seiner heutigen Funktionsweise sind grundlegende Probleme der Biogenese von Organellen und somit der Entstehung pflanzlicher und tierischer Zellen.

Der Transport der Proteine in die Chloroplasten wird durch zwei molekulare Maschinen ermöglicht, die in der äußeren und inneren Membran lokalisiert sind. Der Transport über die äußere Membran erfolgt durch einen energieabhängigen Motor, dessen Treibstoff die GTP-Hydrolyse ist. In einem, mit der Funktionsweise einer Nähmaschine vergleichbaren Mechanismus wird der Proteinfaden durch ein Kanalprotein, das eine wässrige Pore in der Membran bildet, hindurchgefädelt. Bemerkenswerterweise hat dieses Kanalprotein klare bakterielle Vorläufer und befindet sich in der äußeren Membran der Cyanobakterien, aber auch in der von gram-negativen Bakterien wie *Neisseria meningitidis*, *Haemophilus influenza* oder *Escherichia coli*. Es ist bereits dort am Transport von Lipiden und Proteinen beteiligt. Somit stellt die Pore den Urbaustein dieser Importmaschinerie dar. Rezeptoren und Motoren wurden im Verlauf der Evolution hinzugefügt, um Spezifität und Direktionalität des Imports zu gewährleisten. Der translozierende Proteinfaden wird dann von der Importmaschine der inneren Membran übernommen und in einem

weiteren energieabhängigen Prozess vollständig importiert. Im Organell angekommen, erfolgt die endgültige Reifung des Proteins zur Erlangung der biologischen Aktivität.

Die Ausstattung des Organells mit Proteinbausteinen ist für dessen Struktur und Funktion ein essentieller Prozess. Zusätzlich sind die biochemischen Kapazitäten in den Kompartimenten eng in ein zelluläres metabolisches Netzwerk eingebunden. Es ist daher konsequent, dass jeder Schritt des Proteinimportes in Chloroplasten hochreguliert ist. Mechanismus und Regulation gemeinsam zu verstehen, ist eine Herausforderung für die Zukunft, die wir in einem System-orientierten Ansatz von der Pflanze bis zum *in vitro* vollständig rekonstituierten System erforschen wollen.

Die Umwandlung eines photosynthetischen Bakteriums in ein zelluläres Organell, den Chloroplasten, bedingte weitere Anpassungs- und Veränderungsprozesse, wovon zwei dieser Vorgänge weitere Forschungsschwerpunkte der Arbeitsgruppe darstellen.

Die Photosynthese, die Licht, Luft und Wasser in Sauerstoff und Biomasse als Grundlage für unser Leben verwandelt, findet in Cyanobakterien und Chloroplasten auf einem speziellen Membransystem, den Thylakoiden, statt. Als die Pflanzen vor ca. 350 Millionen Jahren vom Wasser aus das Land eroberten, musste der Photosyntheseapparat in den Thylakoiden den neuartigen Umweltbedingungen angepasst werden. Dazu war ein dramatischer, struktureller Umbau der Thylakoide notwendig, den die Chloroplasten jedoch nicht aus eigener Kraft bewerkstelligen konnten. Die elterliche Zelle installierte und transferierte zu diesem Zweck ein Vesikeltransportsystem im Organell, das sonst im Cytosol der Zelle vorkommt. Diese in der Evolution der Pflanzen späte Akquisition scheint essentiell für das Leben an Land zu sein.

Der Chloroplast gleicht einer chemischen Fabrik und synthetisiert Stoffwechselprodukte, die in eng koordinierten, metabolischen Netzwerken innerhalb der Zelle einfließen. Der Stofftransport über die beiden Hüllmembranen erfolgt durch spezifische Transportproteine in der inneren Membran und durch weniger selektive Ionenkanäle bzw. Porine in der äußeren Membran. Während die bakteriellen Vorläufer der Mitochondrien und Chloroplasten eine Vielzahl von Porinen in ihrer äußeren Membran enthielten, haben die Mitochondrien alle bis auf eines eliminiert. Die Chloroplasten haben scheinbar in der Evolution eine andere Strategie verfolgt und das Prinzip vieler Ionenkanäle in der äußeren Membran erhalten. Warum und mit welchen Auswirkungen auf den Stoffwechsel untersuchen wir an der Modellpflanze *Arabidopsis thaliana*.