...going one step further

R05

Modell der Pflanzenzelle

Deutsch

(Vergrößerung etwa 500.000 - 1.000.000-fach)

Historisches zur pflanzlichen Zelllehre (Zytologie)
Die Zytologie ist eine eigenständige Wissenschaft innerhalb der Botanik, die sich mit der Struktur und den Funktionen der pflanzlichen Zelle beschäftigt. Den Begriff Zelle (lat. cellula = Kämmerchen) prägte im Jahre 1665 Robert Hooke, nachdem er diese im Gewebe des Flaschenkorks mit Hilfe eines der ersten Lichtmikroskope entdeckte und detailliert aufzeichnete. Zu Beginn des 19. Jahrhunderts wurde die Zelle von Franz Meyen (1804 – 1840) als Elementareinheit der Pflanzenorgane erkannt. 1838/1839 begründen Matthias Jacob Schleiden und Theodor Schwann die **Zellentheorie:** „Pflanzen und Tiere sind gleichermaßen stets von Zellen aufgebaut". 1845 veröffentlichte Karl Theodor Ernst von Siebold aufgrund der Beobachtung an Protozoen (Einzeller), dass Zellen unabhängig voneinander leben können und die kleinste lebensfähige Einheit darstellen. Zur gleichen Zeit widerlegten Louis Pasteur und andere die damals geltende Theorie, dass Zellen spontan aus toter organischer Materie (generatio spontanea) entstehen können. 1855 bestätigte Rudolf Virchow die Theorie Meyens, dass jede Zelle aus einer anderen entsteht („omnis cellula ex cellula"). 1879 entdeckte Eduard Strasburger die Kernteilung bei Pflanzen. Ein wichtiger Schritt im Verständnis von Bau und Funktion der Zelle wurde mit der Entwicklung des Transmissions-Elektronenmikroskopes im Jahr 1940 durch E. Ruska und H. Mahl erzielt.
Wie im tierischen System zeichnen sich auch die pflanzlichen Zellen dadurch aus,

- dass sie komplexer organisiert sind als ihre Umgebung
- dass sie auf Reize aus ihrem Inneren und aus ihrer Umgebung reagieren
- dass sie die Fähigkeit haben, sich zu vermehren.

Unterschiede im Grundbauplan von pflanzlichen und tierischen Zellen
Trotz der 1838 von Schleiden und Schwann gefundenen Übereinstimmung im zellulären Aufbau von Pflanzen und Tieren gibt es wichtige Unterschiede in deren Grundbauplan. So unterscheidet sich die Mehrzahl der Pflanzenzellen von den tierischen Zellen in folgenden drei Merkmalen:

1. Die pflanzlichen Zellen sind von einer **Zellwand** umhüllt, die dem osmotischen Innendruck der Zelle (= Turgor) entgegensteht und ihr dadurch eine hohe Festigkeit verleiht.
2. Nur die pflanzlichen Zellen besitzen als Organellen die **Plastiden**, dazu gehören z.B. die grünen Chloroplasten, die Orte der Photosynthese.
3. Sie besitzen die pflanzentypischen **Zellsaftvakuolen**, in denen gelöste Stoffe gespeichert und Makromoleküle abgebaut werden.

Die pflanzliche Zelle besitzt eine durchschnittliche Größe von 10 - 100 µm und kann mit einfachen Lichtmikroskopen beobachtet werden. Ein Baum besteht aus bis zu 10^{13} (= 10 Billionen) Zellen! In mehrzelligen Organismen bilden sie Verbände aus gleichartigen, zum Teil stark differenzierten und dadurch spezialisierten Zellen (= Gewebe).

Bau und Funktion der pflanzlichen Zelle
(Nummerierung siehe Abbildung)

Wichtig: Im Gegensatz zum vorliegenden Modell sind in einer lebenden Zelle alle Bestandteile ständig in Bewegung und im Fluss !!!

Die einzelnen Zellbestandteile, besitzen unterschiedliche Ausstattungen z.B. an Proteinen/Enzymen, Ionenmilieu etc. und lassen sich am sinnvollsten entsprechend ihrer Funktionen einteilen. Ein wichtiger Begriff in der pflanzlichen Zytologie ist der **Protoplast**, darunter versteht man eine von einer Zytoplasmamembran umgebenen Zelle bei der die **Zellwand entfernt** wurde.

Zytoplasma mit Zytoskelett (1)
Im Laufe der Evolution wurde eine Art Arbeitsteilung innerhalb einer Zelle eingeführt, die man **Kompartimentierung** nennt. Dies wird erreicht indem spezielle Reaktionsbereiche, die Organellen (griechisch: Organon = Werkzeug), durch Membranen umhüllt und abgegrenzt werden. Diese Organellen kann man im flüssigen und farblosen Zytoplasma des Protoplasten (60 bis 90 % Wasser, Proteine,

Modell der Pflanzenzelle
(Vergrößerung etwa 500.000 - 1.000.000-fach)

Lipide, Nukleinsäuren) bereits mit dem Lichtmikroskop erkennen. Nach außen wird die Zelle durch die Zellmembran (2) abgegrenzt. Diese besteht aus zwei monomolekularen Schichten von Phospholipiden und Proteinen, welche sich in der Lipidmatrix bewegen können ('fluid mosaic' - Modell). Im Übrigen basieren alle pflanzlichen und tierischen Membranen auf diesem gleichen Grundbauprinzip (= Einheitsmembran).

Durch die Membranen wird der selektive Transport in und aus der Zelle sowie in und aus den Organellen kontrolliert. Das aus Proteinen aufgebaute Zytoskelett im Zytoplasma gewährleistet die Stabilität der Zelle aber auch vielfältigste intrazelluläre Bewegungen (z. B. sichtbare Plasmaströmungen).

Zellkern (Nucleus) (3a) mit Kernkörperchen (Nucleolus) (3b)
Der Zellkern (ca. 5-25 µm) ist das Informationszentrum für die Zelle. Er wird von einer doppelten Membranhülle mit definierten Kanälen (= Kernporen zur Steuerung des Stoffflusses zwischen Kern und Zytoplasma) umgeben und enthält den Hauptanteil der genetischen Information der Zelle in Form des Chromatins. Nur für eine Kernteilung wird das ansonsten lichtmikroskopisch nicht sichtbare Chromatin in die kompakte Transportform, die **Chromosomen**, umgewandelt. Dabei wird die an Proteine gebundene DNA durch Kondensation und Spiralisierung stark verkürzt. Die Kernkörperchen (Nucleoli) treten ausschließlich im Innern des Kerns auf und sind der Ort der Synthese von Vorstufen der cytoplasmatischen Ribosomen (5).

Endoplasmatisches Retikulum (glattes ER (4a) und raues ER (4b)) und Ribosomen (5)
Alle Proteine (Eiweiße) der Zelle werden an den „Nähmaschinen" der Proteine, den Ribosomen, gebildet. Diese sehr kleinen Organellen (ca. 20 x 30 nm) können frei im Zytoplasma liegen oder an das sack- oder röhrenförmige Membransystem des Endoplasmatischen Retikulums gebunden sein (raues ER). Im Kompartiment des ER werden die Proteine zum Teil durch Helferproteine verändert und an ihren Wirkort transportiert. Das glatte ER, ohne aufgelagerte Ribosomen, ist vor allem für die Synthese von Lipiden zuständig. Die Struktur des ER ist sehr dynamisch und einer ständigen Reorganisation unterworfen. Weiterhin steht das ER mit der Membranhülle des Zellkerns in Verbindung. Das heißt, sowohl die Membranen als auch das Lumen beider Organellen gehen direkt ineinander über.

Plasmodesmata (6)
Die Plasmodesmata stellen Kontaktstrukturen zwischen benachbarten pflanzlichen Zellen dar. Sie verbinden dabei als feine Kanäle die lebenden Protoplasten durch die Zellwand und Mittellamelle hindurch. Die Verbindung wird durch schlauchförmige ER–Zisternen beider Zellen gebildet. Die Funktion ist der Stofftransport niedermolekularer Substanzen zwischen den Zellen.

Plastiden
Die Plastiden sind für die Pflanzen typische Zellkompartimente, die stets von einer Doppelmembran umgeben sind. Die innere Membran ist zur Vergrößerung der reaktiven Oberfläche ins Innere der Plastiden ausgeformt. Plastiden gehen durch Teilung der jugendlichen Proplastiden aus sich selbst hervor und verteilen sich bei der Mitose auf die Tochterzellen. Die Chloroplasten besitzen ihre eigene genetische Information (= ringförmiges, extrachromosomales Genom; Plastiden DNA).
Die grünen **Chloroplasten** (7) sind die Orte der Photosynthese und der Synthese vieler pflanzlicher Inhaltstoffe (z. B. Fettsäuren). Die farblose flüssige Matrix wird als Stroma, die lamellen- bis sackartig vergrößerten Innenmembranen als Thylakoide bezeichnet. Die gestapelten Membranbereiche werden dabei Granathylakoide genannt. In diesen Membranen sind die Photosynthesepigmente proteingebunden lokalisiert (v.a. Chlorophylle, Carotinoide) und verantwortlich für die Lichtreaktion der Photosynthese. Im Stromabereich finden die Dunkelreaktion der CO_2-Fixierung und die Bildung von Kohlenhydraten und Stärke statt.
Weitere Plastiden:
Chromoplasten: photosynthetisch inaktive Plastiden zur Färbung der Pflanzenorgane
Leukoplasten: Speicherung von Stärke (Amyloplasten), Proteinen (Proteinoplasten), Ölen (Elaioplasten)
Etioplasten: im Dunkeln entstandene Vorstufen der Chloroplasten
Gerontoplasten: Alterstadien aller Plastiden

Modell der Pflanzenzelle

Deutsch

(Vergrößerung etwa 500.000 - 1.000.000-fach)

Mitochondrien (8)
Die Mitochondrien sind die Organellen der Zellatmung und Energieumwandlung. Sie stellen dadurch die „Kraftwerke“ der Zelle dar. Mitochondrien können nur aus sich selbst gebildet werden. Wie die Plastiden sind sie von einer doppelten Membranhülle umgeben und besitzen ihre eigene genetische Information.
An der inneren Membran sind die Bestandteile/Proteine der Atmungskette lokalisiert (Synthese von ATP). In der Mitochondrienmatrix laufen der Zitratzyklus und die Fettsäureoxidation ab.

Endosymbiontentheorie
Die Endosymbiontentheorie versucht die Herkunft der Mitochondrien und Plastiden zu erklären. Nach dieser Theorie gehen die Mitochondrien und Plastiden auf protocytische (bakterielle) intrazelluläre Symbiosen zurück. Das heißt: Plastiden sind demnach aus Cyanobakterien, Mitochondrien aus atmenden Purpurbakterien entstanden. Eine „Urzelle“ mit Zellkern (Ureuzyt) hat sich im Laufe der Evolution Prokaryoten einverleibt und in ihr zelluläres Funktionsgefüge integriert. Dafür sprechen die folgenden Gemeinsamkeiten von Mitochondrien und Plastiden:

- doppelte Membranhülle (innere und äußere Membran sind in ihrer chemischen Zusammensetzung sehr verschieden; die innere ähnelt bakteriellen Membranen)
- eigenes ringförmiges Genom
- eigene Ribosomen (entsprechen den bakteriellen Ribosomen, unterscheiden sich von den zytoplasmatischen Ribosomen)

Dictyosomen/Golgi-Apparat (9)
Die Dictyosomen sind scheibenförmige, membranumgebene Hohlräume (Zisternen). Alle Dictyosomen einer Zelle werden als Golgi-Apparat bezeichnet. Sie stehen in engem Kontakt zum ER und sind für die Umwandlung, Speicherung und Weiterleitung der Produkte des ER zuständig. Folglich kann eine Bildungsseite (dem ER zugewandt, Neubildung aus dem ER) und eine Sekretionsseite (dem ER abgewandt) unterschieden werden. Sie sind ein wichtiges zelluläres Transportsystem, zuständig für Exocytose (Ausscheidung von Stoffen aus der Zelle), dem Aufbau von Biomembranen und beteiligt an der Zellwandbildung.

Vakuole (10)
Die Vakuole ist ein rein pflanzliches Organell. Sie ist ein flüssigkeitsgefüllter Raum, der von einer einfachen Membran (= Tonoplast) umgeben ist. In ausgewachsenen Pflanzenzellen kann das Volumen der Zentralvakuole bis über 80 % des Zellvolumens ausmachen. Sie dienen in der Zelle als Reaktions–, Speicherungs- (z. B. Ionen, organische Säuren, Zucker, Proteine, Pigmente), Transport- und Abladekompartimente (für zellschädigende Substanzen z.B. Toxine, Gerbstoffe). Auch der Abbau von Makromolekülen (lytisches Kompartiment) erfolgt in der Vakuole.

Mikrosomen/Microbodies (11)
Mikrosomen sind Organellen mit einheitlichem Aufbau (einfache Membran, kugelig, Größe: 1 µm, granulöse Matrix), aber starken biochemischen und damit funktionellen Unterschieden.
Verschiedene Funktionen:

- **Lysosomen:** zuständig für den Abbau von Proteinen, Polysacchariden und Nukleinsäuren
- **Glyoxysomen:** wichtige Rolle bei der Umwandlung von Speicherfetten in Kohlenhydrate
- **Oleosomen** (Öltröpfchen): Abbau von Fetten und Ölen
- **Peroxisomen:** wichtige Rolle bei der Photorespiration. Zwangsweise bei der CO_2 Fixierung anfallendes Glykolat wird über die Peroxisomen abgebaut, der Kohlenstoff wieder dem Photosynthese-Zyklus zugeführt und zwei Aminosäuren zur Proteinsynthese produziert.

Zellwand (12)
Der Besitz einer starren Zellwand ist ein weiteres Unterscheidungsmerkmal zwischen pflanzlichen und tierischen Zellen. Sie gibt der pflanzlichen Zelle **Festigkeit und Form** (Exoskelett), indem sie dem osmotischen Innendruck der Zelle (=Turgor) widersteht. Sie ist ein Abscheidungsprodukt des Protoplasten (Apoplast).

Deutsch

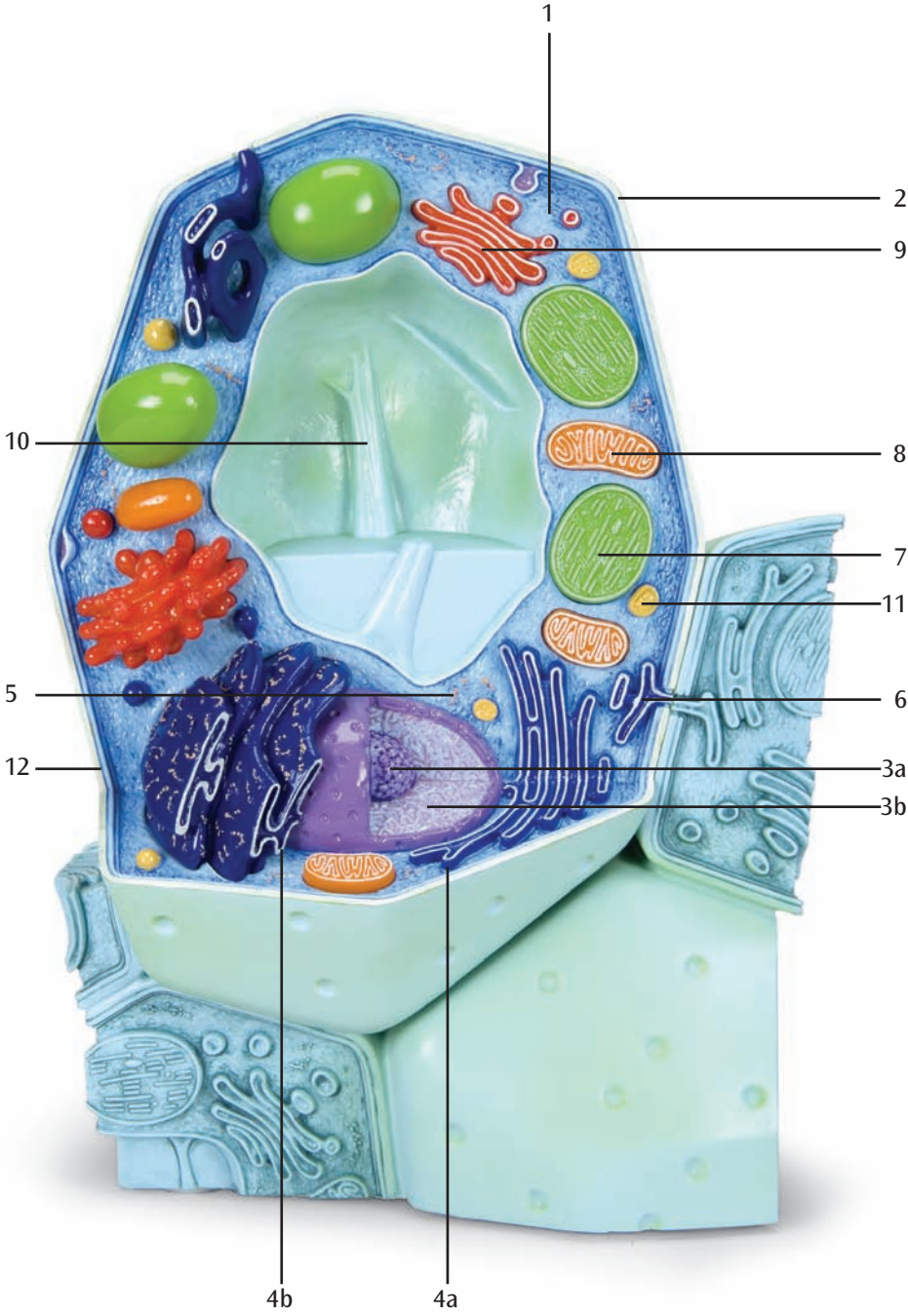
Modell der Pflanzenzelle
(Vergrößerung etwa 500.000 - 1.000.000-fach)

Chemisch betrachtet ist sie aus Polysacchariden und Proteinen aufgebaut.
Die Zellwand baut sich aus bis zu drei Schichten auf:
Mittellamelle: wenige nm dicke gallertige Kittschicht aus Pektinstoffen mit geringem Proteinanteil. Sie besitzt kein Fibrillengerüst und ist dadurch plastisch dehnbar.
Primärwand: gallertige Grundsubstanz (Matrix) aus Pektinstoffen, Hemizellulosen und Proteinen. In diese Matrix sind Gerüstfibrillen aus Zellulose eingelagert (10-25 %) und in unregelmäßiger Streuungstextur (Dehnbarkeit noch vorhanden) angeordnet.

Sekundärwand: Hauptbestandteil zu 90 % Fibrillen aus Zellulose. Anordnung der Fibrillen bevorzugt in Paralleltextur. Oftmals Einlagerung von Holzstoffen (Lignin), Gerbstoffe, $CaCO_3$, SiO_2 oder Farbstoffen. Zellen mit ausgeprägter Sekundärwand sind nicht mehr wachstumsfähig.

Autor: Dr. Gerd Vogg, Universität Würzburg

Nummerierung:
1 Zytoplasma mit Zytoskelett
2 Zellmembran
3a Zellkern/Nukleus
3b Kernkörperchen/Nucleolus
4a glattes Endoplasmatisches Reticulum (glattes ER)
4b raues Endoplasmatisches Reticulum (raues ER)
5 Ribosomen
6 Plasmodesmata
7 Chloroplasten
8 Mitochondrien
9 Dictyosomen/Golgi-Apparat
10 Vakuole
11 Mikrosomen/Microbodies
12 Zellwand (geschichteter Aufbau)


1
2
9
10
8
7
11
5
6
12
3a
3b
4b
4a

Chinese

植物细胞模型

（放大倍率约 500,000–1,000,000）

8 线粒体
9 高尔基体
10 液泡
11 微粒体
12 细胞壁（分层结构）

Also available from 3B Scientific®:
R04 The Animal Cell

Ebenfalls bei 3B Scientific® erhältlich:
R04 Die tierische Zelle

Tambien disponible en 3B Scientific®:
R04 La Célula Animal

Egalement disponible auprès de 3B Scientific® :
R04 La cellule animale

Também disponível na 3B Scientific®:
R04 A célula animal

Disponibile anche presso 3B Scientific®:
R04 La cellula animale

3B Scientific®では他にも花のモデルをご用意しております

R04

也可以在 3B Scientific®获得:
R04 动物细胞

R05-08/06-1

3B SCIENTIFIC® PRODUCTS

3B Scientific GmbH
Rudorffweg 8 • 21031 Hamburg • Germany
Tel.: + 49-40-73966-0 • Fax: + 49-40-73966-100
www.3bscientific.com • 3b@3bscientific.com

© Copyright 2006 for instruction manual and design of product:
3B Scientific GmbH, Germany