



Zytologie 1

Eine Mauer besteht aus einzelnen Bausteinen.

Form und Funktion des einzelnen Steins sind für die Stabilität und das Gesamtbild wichtig.

Wer sich mit Pflanzen beschäftigt, muss sich mit den Zellen als deren Bausteine auskennen. Daher beginnt dieses Buch mit dem Teilbereich der Zytologie. Dieser beschäftigt sich mit Aufbau und Funktion einer Pflanzenzelle.

In diesem Kapitel finden Sie den Grundaufbau einer Pflanzenzelle und Unterschiede zum Aufbau einer tierischen Zelle. Sie lernen die Funktion wichtiger Zellbestandteile kennen und erhalten einen Überblick über die Vorgänge der Zellteilung und des Zellstoffwechsels.

1.1 Definition und Funktion der Zelle



DEFINITION

Die Zelle ist die kleinste noch selbstständig lebensfähige Einheit eines Organismus.

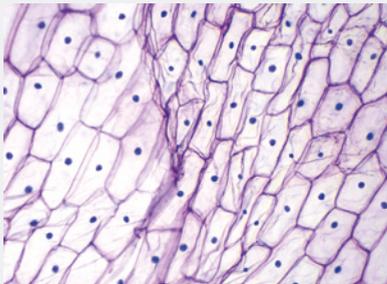
Zellen sind Bausteine, die jedem Organismus – Tier oder Pflanze – zugrunde liegen.

Größe und Gestalt der Zelle sind sehr variabel. Die durchschnittliche Größe wird mit 10–100 µm angegeben. Als Extrembeispiel sind Bakterienzellen mit einer Größe von 0,2 µm oder Faserzellen einer Brennnessel von 55 cm Länge bekannt.

Die Kugelform ist die einfachste Gestalt einer Zelle. Sie stellt eine Idealform dar und kommt nur selten in der Natur vor. Wesentlich häufiger sind Zellen mit **isodiametrischer** Form vertreten. Sie besitzen einen etwa gleichen Durchmesser in alle Richtungen, können aber zu einer Seite gestreckt sein. Daneben gibt es **prosenchymatische** Zellen. Sie sind lang gestreckt und an den Enden häufig zugespitzt.

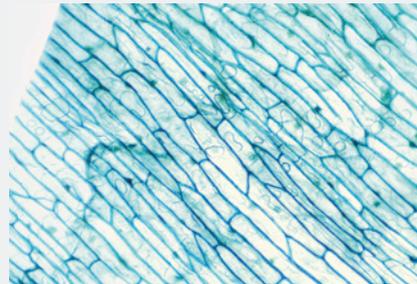


AUF EINEN BLICK



Isodiametrische Zellen

Gleicher Durchmesser in alle Richtungen



Prosenchymatische Zellen

Lang gestreckt, zugespitzte Enden

In einer pflanzlichen Zelle laufen unterschiedliche biochemische Prozesse ab, die für den Organismus einer Pflanze in verschiedener Weise wichtig sind. Eine jugendliche (embryonale) Zelle hat zunächst die Anlage, alle Funktionen ausüben zu können, sie ist **omnipotent**. Spezialisiert sich eine Zelle auf eine bestimmte Aufgabe, bezeichnet man dies als **Differenzierung**. Die Zellen übernehmen dann nur bestimmte, immer gleich bleibende Funktionen. Dies führt zu einer Art „Arbeitsteilung“ innerhalb des pflanzlichen Organismus. Ein Zellverband mit mehreren Zellen identischer Funktion wird als **Gewebe** bezeichnet. In Kapitel 2 werden verschiedene Gewebearten behandelt, wie z. B. Festigungsgewebe, Leitgewebe oder Grundgewebe.

MERKE

Embryonale Zellen sind omnipotent („Alleskönner“). Erst durch Differenzierung spezialisieren sie sich auf bestimmte Funktionen innerhalb eines Organismus.



1.2 Aufbau einer Zelle

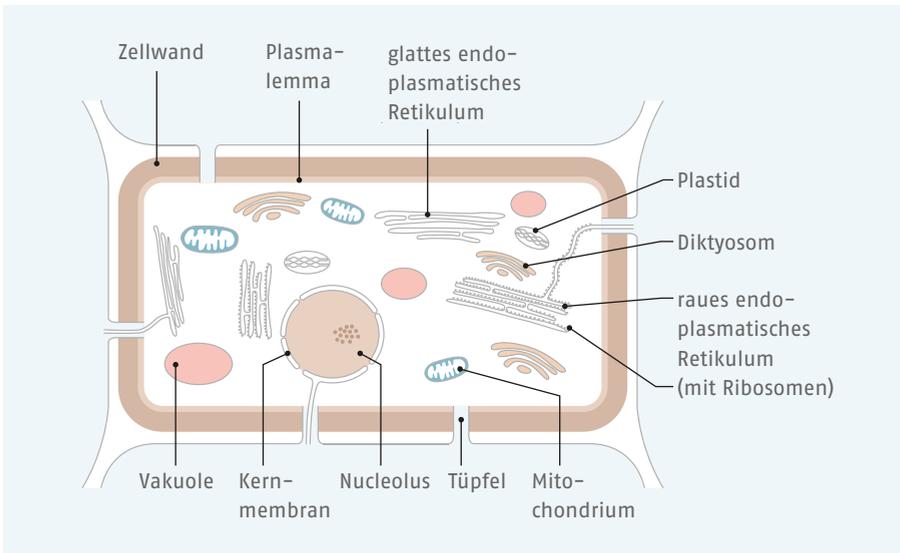
Bei Pflanzenzellen besteht die äußere Begrenzung aus einer **Zellwand** und das Zellinnere wird als **Protoplasma** zusammengefasst. Zum Protoplasma zählen die flüssige Zellsubstanz, das **Zytoplasma** und die darin befindlichen **Zellorganellen**. Diese übernehmen spezielle Funktionen für die Zelle (• Abb. 1.1).

Charakteristisch für die meisten Zellen ist das Vorhandensein eines **Zellkerns**, welcher Träger der Erbinformation ist. Nur in Bakterien- und Blaualgenzellen ist kein echter Zellkern vorhanden, sie besitzen sogenannte **kernäquivalente Bereiche**. Die Erbinformation liegt hier ohne Kernhülle frei im Protoplasma vor (► Kap. 1.2.2).

DEFINITION

Lebewesen, deren Zellen einen echten Zellkern besitzen, werden als Eukaryoten bezeichnet.

Zelluläre Organismen mit kernäquivalenten Bereichen werden als Prokaryoten bezeichnet.



• **Abb. 1.1** Schematischer Aufbau einer Pflanzenzelle

1.2.1 Zellwand

Alle pflanzlichen Zellen sind von einer Zellwand umgeben. Die pflanzliche Zellwand gibt der Zelle ihre Gestalt und bietet Schutz und Festigung für das Protoplasma. Im Gegensatz dazu sind tierische Zellen nur durch eine flexible Zellmembran begrenzt.



MERKE

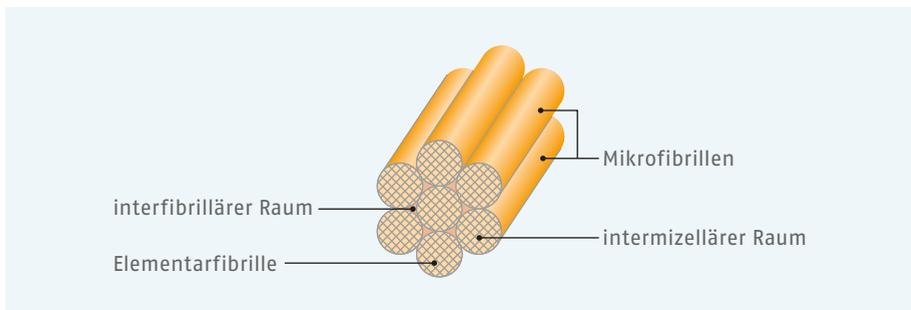
Pflanzliche Zellen verfügen über eine Zellwand, tierische Zellen besitzen keine.

Bei Pflanzen besteht die Zellwand aus Cellulose und Pektin. **Cellulose** ist ein Polysaccharid, das aus linear miteinander verknüpften Glucosemolekülen besteht. Diese bildet sehr stabile Cellulosefasern, welche für die Festigkeit von Pflanzengeweben ausschlaggebend sind. **Pektine** bestehen zum größten Teil aus Galacturonsäure als Baustein. Sie haben eine festigende, aber auch eine wasserregulierende Funktion für die Pflanze.

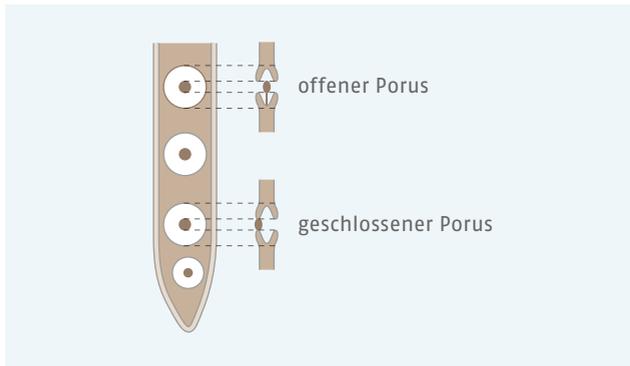
Die einzelnen Cellulose-Moleküle lagern sich zu Bündeln zusammen, die dann als Mizellarstränge oder **Elementarfibrillen** bezeichnet werden. Mehrere Elementarfibrillen sind zu **Mikrofibrillen** zusammengefasst. Mehrere Mikrofibrillen ergeben eine **Makrofibrille** (• Abb. 1.2).

Zwischen den Mikrofibrillen sind kleine Räume ausgespart, die interfibrillären Räume. In der Regel sind sie mit Wasser gefüllt. Es können aber auch andere Substanzen eingelagert sein, z. B. Lignine (Holzstoffe) in den verholzten Pflanzenteilen oder Kieselsäure in den Schachtelhalmen und Gräsern.

Die Zellwand besteht in der Regel aus mehreren Schichten. Die äußerste Schicht ist die **Mittellamelle**. Sie trennt die Wände benachbarter Zellen von einander und besitzt eine gelartige Struktur. Sie besteht v. a. aus Pektin. Der Mittellamelle werden Cellulosefasern aufgelagert. Diese bilden zum Zellinneren hin die nächste Schicht, die **Primärwand**. Die Fasern der Primärwand sind flexibel und ermöglichen so ein Zellwachstum. Ist das Zellwachstum abgeschlossen, wird die **Sekundärwand** der Primärwand aufgelagert. Diese ist starr und schließt die Zellwand zum Zellinneren hin ab.



• Abb. 1.2 Bündel aus mehreren Mikrofibrillen



• **Abb. 1.3** Hoftüpfel einer Tracheide (rechts im Querschnitt)

MERKE

Die Zellwand einer noch wachsenden Zelle besteht aus Mittellamelle und flexibler Primärwand. Ist das Zellwachstum abgeschlossen, wird der Primärwand eine starre Sekundärwand aufgelagert.



Die Zellwand schließt eine Zelle nach außen hin ab. Für den Stoffaustausch zwischen benachbarten Zellen sind jedoch Verbindungswege vorhanden, die als **Tüpfel** bezeichnet werden. Tüpfel sind kleine Poren, die bei der Auflagerung der Primär- und Sekundärwände ausgespart bleiben. Diese Poren werden bei starker Zellwandverdickung zu Tüpfelkanälen verlängert. Die Tüpfel benachbarter Zellen stoßen aneinander und sind nur durch die Mittellamelle getrennt. Diese ist siebartig von feinen Plasmasträngen, den **Plasmodesmen**, durchbrochen, die einen Stofftransport von Zelle zu Zelle ermöglichen.

MERKE

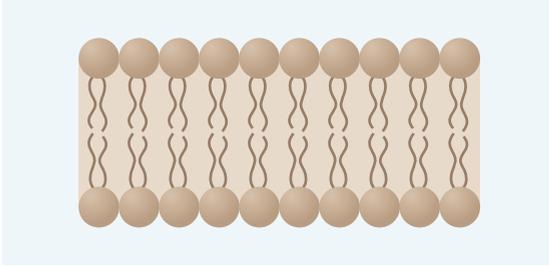
Tüpfel ermöglichen den Stofftransport zwischen benachbarten Zellen.



Eine besondere Art stellen die **Hoftüpfel** dar. Sie sind charakteristisch für Zellen der Wasserleitungsbahnen und funktionieren ähnlich einem Ventil. Um die zentrale Öffnung, den Porus, wölbt sich eine Wandpartie hervor, die von der Mittellamelle abgehoben ist. Die Mittellamelle selbst ist im Porus etwas verdickt. Bei Druck kann der Porus verschlossen werden (•Abb. 1.3).

1.2.2 Protoplasma

Mit dem Begriff **Protoplasma** wird das Innere der Pflanzenzelle zusammengefasst. Dies untergliedert sich weiter in das **Zytoplasma** und die darin enthaltenen **Zellorganellen**. Das Zytoplasma besteht zu 60–90 % aus Wasser, außerdem sind Eiweiße (Proteine), Kohlenhydrate und Fette (Lipide) enthalten. Im Wasser gelöst liegen geringe Mengen Salze, Enzyme und Spurenelemente vor. Salze und Spurenelemente dienen der Regulation des Wasserhaushalts in der Zelle; Enzyme katalysieren und regulieren den Stoffwechsel.



● **Abb. 1.4** Schematischer Aufbau einer Biomembran

Biomembranen

Das Zytoplasma ist zur Zellwand hin durch eine dünne flexible Schicht abgegrenzt, die als Biomembran bezeichnet wird (● Abb. 1.4). Im Wesentlichen besteht diese aus Phospholipiden, welche einen hydrophilen Molekül-Kopf und einen lipophilen Molekül-Schwanz besitzen. Diese richten sich als Doppelschicht mit den lipophilen Molekülteilen nach innen aus, so entsteht eine Doppelschicht mit hydrophilem Anteil nach außen und lipophilem Anteil im Inneren der Membranstruktur.

Biomembranen sind **semipermeabel** („halbdurchlässig“). Dies bedeutet, sie sind für bestimmte Stoffe gut, für andere weniger gut durchlässig. Kleine und lipophile Moleküle wie Kohlendioxid können optimal durch die Membran gelangen. Sehr große Moleküle, aber auch hydrophile Stoffe wie Ionen, Glucose oder Wasser benötigen in die Membran eingelagerte Transportporen.

Nicht nur die Abgrenzung zwischen Protoplasma und Zellwand erfolgt durch eine Biomembran. Auch die Abgrenzung von Zellorganellen innerhalb des Protoplasmas kann so erfolgen. Die Biomembran zwischen Zytoplasma und Zellwand wird als **Plasmalemma** bezeichnet. Die Membran zwischen Zytoplasma und Vakuole nennt man **Tonoplast**.

Weitere Membranstrukturen sind das endoplasmatische Retikulum, die Kernmembran sowie die Grenzschichten der Mitochondrien und Plastiden (siehe Zellorganellen).

Vakuolen

Das Zytoplasma füllt eine embryonale Zelle komplett aus. Bei älteren Zellen bilden sich innerhalb des Plasmas kleine durch Biomembranen begrenzte Räume aus, die mit Zellsaft gefüllt sind. Sie entstehen im Verlauf des Zellwachstums. Diese Räume werden als **Vakuolen** bezeichnet und sind ausschließlich in pflanzlichen Zellen vorhanden. Mit Vorschreiten des Zellwachstums werden diese Räume größer und fließen dann zu einer großen, **zentralen Zellsaftvakuole** zusammen. Sie füllt annähernd den gesamten Innenraum der Zelle aus und drängt den Protoplasten bis auf einen dünnen Wandbelag zurück.

Die Zentralsaftvakuole dient der Aufrechterhaltung des Zellinnendrucks (**Turgor**). Außerdem kann sie zur Speicherung von Stoffen verwendet werden. Hierbei wird in **primäre** und **sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe** unterschieden. Primäre Pflanzeninhaltsstoffe wie Kohlenhydrate, Eiweiße oder Fette können dem pflanzlichen Stoffwechsel wieder zugänglich gemacht werden. Sekundäre Inhaltsstoffe, wie Salzkristalle, Farbstoffe und Alkaloide, nehmen nicht ständig am Stoffwechselgeschehen teil. In der Natur können diese beispielsweise als Gift- oder Bitterstoffe vor Tierfraß schützen oder Farbstoffe zum Anlocken von Insekten sein. Die Medizin nutzt sekundäre Pflanzenstoffe aufgrund ihrer pharmakologischen Wirkung.

MERKE

Die Vakuole ist ein typisches Organell pflanzlicher Zellen. In ihr werden häufig sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe von pharmazeutischer Bedeutung gespeichert.



1.2.3 Zellorganellen

DEFINITION

Zellorganellen sind in das Zytoplasma eingebettete Einschlüsse wie Zellkern, Mitochondrien und Plastiden.



Zellorganellen sind kleine Funktionseinheiten innerhalb der Zelle. Sie befinden sich im Zytoplasma und übernehmen verschiedene Aufgaben im Zellstoffwechsel.

Zu den Zellorganellen gehören:

- Vakuolen (► Kap. 1.2.2),
- Zellkern,
- Mitochondrien,
- Plastiden,
- endoplasmatisches Retikulum,
- Ribosomen,
- Golgi-Apparat.

Zellkern

Nur eukaryontische Zellen enthalten einen Zellkern. Der Zellkern, oder **Nukleus**, hat eine besondere Bedeutung für das Leben der Zelle. Kernlose Zellen sind auf Dauer nicht lebensfähig. Ausnahmen bilden Bakterien und Blaualgen. Sie besitzen sogenannte „kern-äquivalente Bereiche“ ohne die typischen Organisationsmerkmale des Zellkerns.

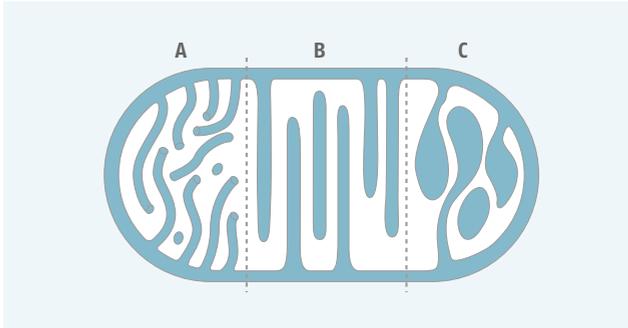
Der Zellkern ist meist kugel- oder linsenförmig. Er ist nach allen Seiten vom Zytoplasma umgeben und gegen dieses durch eine **Kernmembran** abgegrenzt. Der Kernraum ist vom Kernplasma, dem **Karyoplasma**, erfüllt. Der Zellkern enthält **Chromosomen**, die reich an Desoxyribonukleinsäure (desoxyribonucleic acid, DNA) sind.

Die Chromosomen sind die Träger der Erbinformation einer Zelle, der Gene. Diese werden bei der Zellteilung weitergegeben. Im typischen Fall liegen die Chromosomen als unregelmäßig gewundene lange Fäden im Zellkern vor (Funktionsform). Sie sind dann auf relativ kleinem Raum zusammengedrängt und vermitteln den Eindruck eines ungleich gebauten Kerngerüsts. Nur während der Kernteilung (► Kap. 1.3) nehmen sie die Gestalt von meist gekrümmten „Stäbchen“ an (Transportform).

MERKE

Die Chromosomen sind Träger der Erbanlagen, der sogenannten Gene. Genom ist der Sammelbegriff für alle Gene eines Chromosomensatzes.





● **Abb. 1.5** Schematischer Längsschnitt durch ein Mitochondrium.
A Röhren,
B Falten,
C Säckchen

Mitochondrien

Hauptaufgabe der Mitochondrien ist die **Energiegewinnung** für die Zelle durch Abbau von energiereichen Kohlenstoffverbindungen. Mitochondrien kommen in den Zellen aller Pflanzen und Tiere (ausgenommen der Prokaryonten) vor. Gegen das Zytoplasma sind sie durch eine Doppelmembran aus zwei Biomembranen abgegrenzt. Die innere Membran ist vielfach eingestülpt (● Abb. 1.5), wodurch die Oberfläche enorm vergrößert wird. Dies schafft Raum für die Enzyme der Stoffwechselforgänge, welche zur Gewinnung des wichtigen Energieträgers **ATP** führen.



MERKE

Mitochondrien sind die „Kraftwerke“ der Zelle.

Plastiden

Plastiden kommen nur in Pflanzenzellen und bei einigen Algenarten vor, welche nach neueren Erkenntnissen nicht mehr zu den Pflanzen gezählt werden.

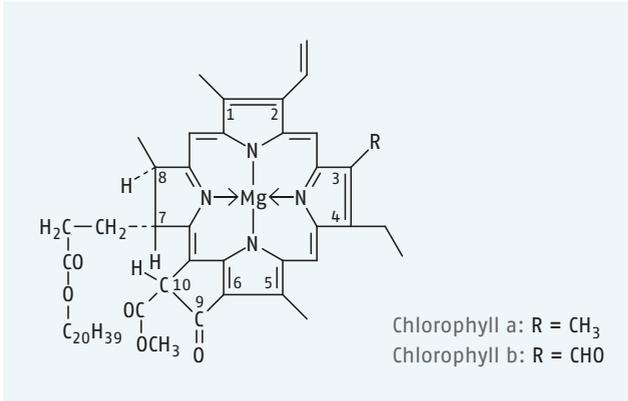
Man unterscheidet je nach Färbung:

- grüne **Chloroplasten**,
- gelbe bis rote **Chromoplasten**,
- farblose **Leukoplasten**.

Die beiden ersteren werden als **Chromatophoren** (Farbstoffträger) zusammengefasst.

Trotz der Unterschiede in Funktion und Struktur handelt es sich bei den Plastiden nur um einen einzigen Typus. Sie gehen alle aus einer gemeinsamen Vorstufe, den **Proplastiden**, hervor und sind untereinander in die verschiedenen Plastidentypen umwandelbar. Die Umwandlung von Chloroplasten in Chromoplasten lässt sich beim Reifen von Tomaten gut beobachten. Die Grünfärbung von Kartoffeln am Licht beruht auf der Umwandlung von Leukoplasten in Chloroplasten. Plastiden sind vom Zytoplasma durch eine Doppelmembran abgegrenzt.

Chloroplasten: In den Chloroplasten findet die **Fotosynthese** statt. Bei den höheren Pflanzen sind sie rundlich oder linsenförmig. Die innere Membran wird während der Chloroplastenbildung zu einem vielschichtigen System gefaltet. Diese Strukturen werden als **Thylakoide** bezeichnet. Auf diesen befinden sich die Fotosynthese-Farbstoffe: Chlorophyll und Carotinoide.



• **Abb. 1.6** Strukturformel von Chlorophyll

Das **Chlorophyll** zeigt in seinem chemischen Aufbau eine enge Verwandtschaft zum Hämoglobin, dem roten Blutfarbstoff. Im Zentrum des großen Moleküls befindet sich ein komplex gebundenes Metallatom. Im Chlorophyll handelt es sich dabei um Magnesium, im Hämoglobin um Eisen. Es wird unterschieden zwischen Chlorophyll a und b, die beide chemisch sehr ähnlich sind (• Abb. 1.6).

In den Chloroplasten sind häufig auch **Carotinoide** enthalten. Hierbei handelt es sich um Pigmente mit gelber, oranger oder roter Farbe. Bei den grünen Blättern werden sie vom Grün der Chloroplasten überdeckt. Erst während der Herbstfärbung der Blätter treten ihre Farben hervor.

Chromoplasten: Chromoplasten sind durch Carotinoide gelb, orange oder rot gefärbt. Sie enthalten kein Chlorophyll und sind daher fotosynthetisch inaktiv. Sie finden sich in Blüten (z. B. Stiefmütterchen), in Früchten (z. B. Tomaten) und in Wurzeln (z. B. Möhren). Die Chromoplasten entstehen entweder direkt aus Proplastiden oder durch Umwandlung aus Chloro- bzw. Leukoplasten.

Leukoplasten: **Leukoplasten** sind frei von Farbstoffen. Sie finden sich häufig in unterirdischen Pflanzenteilen wie Knollen oder Erdsprossen. Leukoplasten entstehen entweder direkt aus Proplastiden oder aber aus Chloroplasten, in die sie sich auch wieder zurückverwandeln können. Leukoplasten können **Stärke**, **Eiweiße** und **Fette** speichern.

Die für die Pflanze wichtigsten Leukoplasten sind die **Amyloplasten**. Sie lagern die bei der Fotosynthese entstandenen Kohlenhydrate in Form von Reservestärke ab. Dabei wird die Stärke um ein zentral oder exzentrisch gelegenes „Bildungszentrum“ geschichtet. Die Stärkekörner werden teilweise so groß, dass sie nur noch von einer sehr dünnen Plastidenhaut umgeben sind.

MERKE

Plastiden kommen nur in Pflanzenzellen vor und sind ineinander umwandelbar. In den Chloroplasten findet die Fotosynthese statt.



Endoplasmatisches Retikulum und Ribosomen

Das **endoplasmatische Retikulum** (ER) stellt ein System aus Hohlräumen und Kanälen dar, die miteinander verbunden, und durch Biomembranen abgegrenzt sind. Dieses System verändert ständig seine Form.

Das ER bewirkt eine starke Unterteilung (**Kompartimentierung**) des Protoplasmas. Ausläufer des ER verbinden benachbarte Zellen.

Das endoplasmatische Retikulum kann sowohl morphologisch als auch funktionell nochmals unterschieden werden. Das **raue ER** trägt auf der Membranaußenseite Ribosomen. Aufgaben des rauen ER sind in erster Linie die ständige Produktion von Biomembran und die Proteinbiosynthese an den Ribosomen.

Das **glatte ER** besitzt keine Ribosomen auf der Oberfläche. Es ist wichtig für die Entgiftung der Zelle und ist Ort vieler metabolischer Prozesse, wie z. B. der Lipidproduktion und des Kohlenhydratstoffwechsels.

Ribosomen sind die Organellen für die **Proteinbiosynthese**. Sie befinden sich entweder frei im Zytoplasma verteilt oder auf der Oberfläche des rauen ER. Sie bestehen u. a. aus ribosomaler RNA und tragen die „Baupläne“ für Proteinmoleküle.

Golgi-Apparat

Als Golgi-Apparat bezeichnet man die Gesamtheit der **Diktyosomen**. Dies sind abgeflachte, durch Biomembranen begrenzte Hohlräume, die übereinander geschichtet sind. Sie werden von der einen Seite stets neu gebildet. Auf der gegenüberliegenden Seite werden kleine Bläschen, die **Golgi-Vesikel**, abgeschnürt. Damit ist der Golgi-Apparat ein Teil des **Transportsystems** innerhalb der Zelle. Außerdem ist hier der Ort für die Synthese von Zellwandsubstanzen, Schleimen und ätherischen Ölen.

1.3 Zellteilung

1.3.1 Mitose

Jede Zelle entsteht durch Teilung einer anderen Zelle. Die hierbei vollzogene Teilung des Zellkerns wird als Mitose bezeichnet. Es entstehen zwei identische Tochterkerne. Diese Teilungsfähigkeit ist auf junge, meristematische Zellen beschränkt, wie sie z. B. an den Vegetationspunkten von Spross und Wurzel vorhanden sind.



MERKE

Bei einer Mitose entstehen genetisch identische Tochterzellen. Diese besitzen einen diploiden (doppelten) Chromosomensatz.

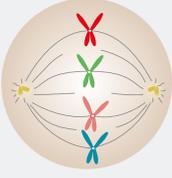
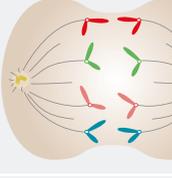
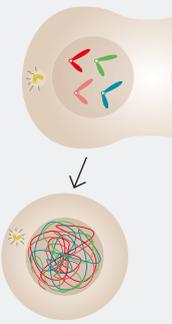
Den Ablauf der Mitose, die insgesamt etwa zwei Stunden dauert, unterteilt man relativ willkürlich in mehrere Phasen, obwohl es sich im Grunde um einen kontinuierlich ablaufenden Prozess handelt.

Der Beginn einer Zellteilung wird **Prophase** genannt. Der Zellkern, der zunächst auch als **Ruh Kern** bezeichnet wird, besitzt eine netzartig erscheinende Gerüstsubstanz. Diese wird am Anfang der Teilung aufgerollt und entwirrt, sodass stäbchen- und schleifenförmige **Chromosomen** sichtbar werden. Diese sind in zwei identische Spaltheilften (**Chromatiden**) aufteilbar, die sich sowohl im Gengehalt als auch in der Gestalt gleichen.

AUF EINEN BLICK



1

Ruhephase	Der Zellkern in Ruhe besitzt eine netzartige, diffuse Struktur im Kerninneren.	
Prophase	Chromosomen mit Chromatiden werden sichtbar. Auflösung von Kernmembran und Kernkörper.	
Metaphase	Äquatoriale Anordnung der Chromosomen.	
Anaphase	Chromatiden werden zu den Zellpolen gezogen.	
Telophase	Zusammenknäulen der Tochterchromosomen, Ausbildung neuer Kernmembranen und einer Mittellamelle für den Zellaufbau.	

In der Folge lösen sich Kernmembran und Kernkörper auf. Von den Zellpolen ausgehend erfolgt die Bildung feiner Fäden, der sogenannten **Spindelfasern**.

In der **Metaphase**, der Zwischenphase, ordnen sich die Chromosomen in der Mitte der Zelle zwischen den beiden Zellpolen in der sogenannten **Äquatorialplatte** an. Die Spindelfasern sind nun fertig gestellt.

Während der **Anaphase**, der Überphase, werden die Chromatiden an den Spindelfasern entlang zu den Polen gezogen.

In der **Telophase**, der Endphase oder Zielphase, knäueln sich die Tochterchromosomen wieder zusammen und die Kernspindeln verschwinden. Aus Teilen des endoplasmatischen Retikulums wird die neue Kernmembran gebildet; die Nukleoli der neuen Tochterkerne entstehen.

Nach der Teilung des Kerns spaltet sich nun auch das Zellplasma mittels einer einfachen Durchschnürung. Die Zellwand zwischen den beiden Tochterprotoplasten entsteht zunächst aus einer Pektinlamelle, der weitere Wandschichten aufgelagert werden.

1.3.2 Meiose

aha

GUT ZU WISSEN

Bei einer Meiose (Reduktionsteilung) entstehen aus einer diploiden Zelle vier neue Zellen mit jeweils einem haploiden (einfachen) Chromosomensatz. Dies geschieht bei Verschmelzung von Sperma und Eizelle.

Kennzeichen einer sexuellen oder geschlechtlichen Fortpflanzung ist die Verschmelzung (Befruchtung) zweier geschlechtsverschiedener Zellen (Gameten) zu einer Zygote. Bei diesem Prozess bilden die beiden haploiden (einfachen) Chromosomensätze der Geschlechtszellen einen diploiden Satz. Eine Befruchtung mit diploiden Zellen würde die Anzahl der Chromosomen immer weiter ansteigen lassen. Dies wird durch die **Reduktionsteilung** oder **Meiose** verhindert.

Die Meiose findet im Verlauf der Bildung von Eizelle und Spermazellen statt. Es entstehen hierbei aus diploiden Körperzellen haploide Geschlechtszellen. Die Meiose besteht aus zwei miteinander gekoppelten Teilungsschritten, die als erste und zweite Reifungsteilung bezeichnet werden. Bei der ersten Reifungsteilung werden komplette Chromosomen auf die Tochterzellen verteilt, die zweite gleicht einer Mitose. Bei der Meiose wird die Anzahl der Chromosomen auf die Hälfte reduziert. Im Gegensatz hierzu bleibt bei der Mitose die Anzahl der Chromosomen in den beiden Tochterzellen konstant. Während der Meiose kommt es zur **Neukombination des genetischen Materials**.

Die **erste Reifungsteilung** beginnt ähnlich der Mitose, indem die Chromosomen sichtbar werden und sich ordnen. Hierbei kommen jeweils zwei homologe Chromosomen parallel zueinander zu liegen, sodass einzelne Chromosomenabschnitte mitsamt den darauf liegenden Genen wechselseitig ausgetauscht werden können. Dieser Austausch wird als „Crossing over“ bezeichnet. Damit kommt es zu einer Neukombination des Erbguts. Die homologen Chromosomen werden dann wieder getrennt und wandern zu den entgegengesetzten Polen. Es entstehen zwei Tochterkerne mit haploidem Chromosomensatz.

Danach beginnt die **zweite Reifungsteilung**, die wie eine Mitose abläuft. Hierbei werden die Spalthälften der Chromosomen voneinander getrennt, und es entstehen vier Tochterkerne mit je einem haploiden Chromosomensatz.

1.3.3 Die chemische Natur der Gene

Chromosomen bestehen aus **Desoxyribonukleinsäure** kurz DNS beziehungsweise DNA (englische Abkürzung für desoxyribonucleic acid). Es handelt sich um kettenförmige Moleküle. DNA und RNA bestehen aus drei Komponenten: stickstoffhaltige Basen, Zucker und Phosphorsäure.

MERKE

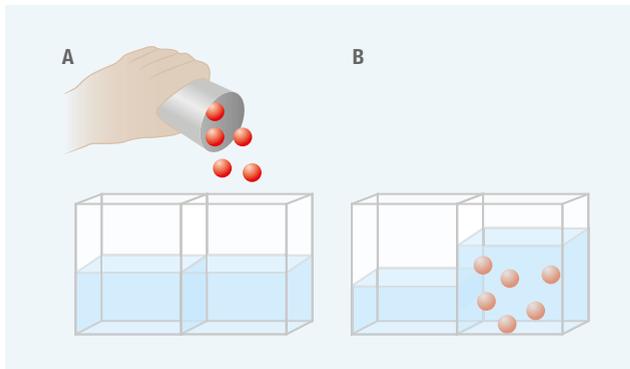
Diffusion ist die gleichmäßige Verteilung eines gelösten oder gasförmigen Stoffs im gesamten zur Verfügung stehenden Raum.



1

Der Vorgang einer **Osmose** hängt eng mit einer Diffusion zusammen:

Werden zwei unterschiedlich konzentrierte Lösungen durch eine **semipermeable** (halb-durchlässige) **Membran** getrennt, die nur noch für das Wasser, nicht aber für die gelöste Substanz durchlässig ist, so tritt Wasser durch die Membran von der verdünnten in die höher konzentrierte Lösung über. Dieser Übertritt erfolgt so lange, bis ein Konzentrationsausgleich zwischen den beiden Lösungen stattgefunden hat. Dieser Diffusionsvorgang durch eine semipermeable Membran wird als **Osmose** bezeichnet. Der ständige Wassereintritt in die Lösung mit höherer Konzentration verursacht eine Volumenzunahme und damit einen Ausdehnungsdruck. Dies bezeichnet man als **osmotischen Druck** (◉ Abb. 1.10).



◉ **Abb. 1.10** Versuch zur Osmose.

A Konzentrationserhöhung auf einer Membranseite durch Lösen eines Stoffs, B Wasser strömt zum Angleichen der Konzentration durch die Membran.

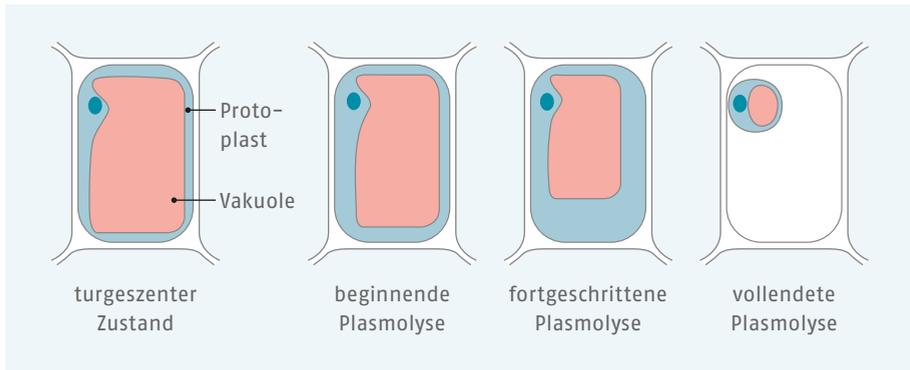
MERKE

Osmose ist der Diffusionsvorgang durch eine semipermeable Membran bis zu einem Konzentrationsausgleich auf beiden Seiten.



Bei den Pflanzen erfüllen Plasmamembranen die Funktion einer semipermeablen Membran. Da in den Wurzelhaaren das Zellplasma höher konzentriert ist als das Wasser des Erdreichs, tritt das Wasser von der Bodenlösung in die pflanzliche Zelle ein. Dadurch entsteht in der Zelle ein Innendruck, der als **Turgor** bezeichnet wird. Er drückt den Protoplasten gegen die Zellwand, die dadurch eine gewisse Dehnung und Festigkeit erfährt. Zellen in diesem „Dehnungszustand“ bezeichnet man als **turgeszente**. Diese Turgeszente trägt im Wesentlichen zur Festigung von Geweben bei (► Kap. 2.3.4).

Bringt man eine Pflanzenzelle in eine Lösung mit höherer Konzentration, so tritt Wasser aus der Zelle aus. Damit kommt es zur Entspannung der gedehnten Zellwand und schließlich zur Verkleinerung und Ablösung des Protoplasten. Diesen Vorgang bezeichnen wir als **Plasmolyse** (◉ Abb. 1.11). Ähnliche Vorgänge laufen auch beim Wasserverlust durch Welken ab.



o **Abb. 1.11** Plasmolyse

Überträgt man die plasmolysierte Zelle in eine Lösung niedriger Konzentration, so tritt wiederum Wasser in die Zelle ein, bis sie voll turgeszent ist. Diesen Vorgang bezeichnet man als **Deplasmolyse**. Beide Vorgänge funktionieren nur in einer lebenden Zelle.

Die Pflanzenwurzel nimmt mit dem Wasser auch gelöste Salze aus dem Erdboden auf. Diese können als gelöste Ionen die Membranen passieren.

Die oberirdischen Pflanzenteile, hauptsächlich die Blätter, geben ständig Wasserdampf an ihre Umgebung ab. Dieser Vorgang wird als **Transpiration** bezeichnet. Wir unterscheiden hierbei zwischen **kutikulärer** und **stomatärer** Transpiration.

Die Kutikula (► Kap. 2.3.2) gibt nur in geringem Maße Wasserdampf nach außen ab. Diese Transpiration kann durch die Pflanze nicht reguliert werden, sondern richtet sich nach der Dampfspannung ihrer Umgebung.

Die Transpiration über die Spaltöffnungen (► Kap. 2.3.2) ist durch den Mechanismus der Schließzellen regulierbar. Sie ist abhängig von Licht, Feuchtigkeit und Temperatur. Bei hoher Temperatur und extrem trockener Luft werden die Stomata geschlossen.

Neben dieser Abgabe von Wasserdampf scheiden manche Pflanzen Wasser auch aktiv in Form von Tropfen ab. Dieses wird als **Guttation** bezeichnet.

Durch die Abgabe des Wassers entsteht eine Saugwirkung im Zellverband. Die Wasser abgebenden Zellen sind bestrebt, ihr Wasserdefizit wieder auszugleichen. Hierdurch wird Wasser in den Leitungsbahnen nachgesaugt. Durch diesen Sog wird der Ferntransport von der Wurzel bis zu den Blättern ermöglicht, wobei zum Teil große Höhen überwunden werden. Die starken Kohäsionskräfte zwischen den Wassermolekülen sorgen dafür, dass die aufsteigende Wassersäule nicht abreißt. Voraussetzung hierfür ist, dass keine Luft in die Gefäße eintritt.

1.4.2 Fotosynthese

Wasser und Nährsalze sind notwendige Bestandteile jeder lebenden Zelle. Für den Aufbau der Organismen sind jedoch organische Kohlenstoff-Verbindungen ebenso wichtig. In jeder dieser Verbindungen liegt eine bestimmte Energiemenge gebunden vor, die beim Abbau frei wird und die umgekehrt bei der Bildung des betreffenden Moleküls dem Syntheseprozess zugeführt werden muss.

Grüne, das heißt mit Chlorophyll ausgestattete Pflanzen sind in der Lage, mithilfe der Energie des Sonnenlichtes organische Verbindungen aus anorganischen Stoffen aufzu-

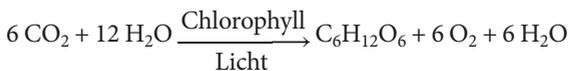
bauen. Diese Pflanzen werden deshalb als (foto)**autotroph** bezeichnet. Alle anderen Organismen, Menschen, Tiere und alle chlorophyllfreien Gewächse, sind auf organisches Material angewiesen, das von autotrophen Pflanzen produziert wird. Sie sind **heterotroph**.

Als Kohlenstoffquelle für autotrophe Pflanzen dient das in der Luft vorhandene Kohlendioxid. Es dringt durch die Spaltöffnungen in das chloroplastenreiche Palisadenparenchym (►Kap. 3.4.4) ein. Hier läuft die **Fotosynthese** mithilfe des Chlorophylls unter Ausnutzung der Energie des Sonnenlichtes ab. Aus den Ausgangsstoffen Kohlendioxid und Wasser entstehen durch Reduktion Kohlenhydrate (Assimilation). Die entstandenen Zucker-Moleküle werden zügig in osmotisch inaktive Stärke überführt. Sie häuft sich zunächst in den Chloroplasten an, wird aber schließlich zu den Speicherorten abtransportiert, wo sie gespeichert (z. B. Leukoplasten) oder für weitere Prozesse gebraucht wird.

Nachweis von Assimilationsstärke

Die Assimilationsstärke lässt sich durch einen einfachen Versuch nachweisen: Man bedeckt ein Laubblatt, das durch mehrtägige Verdunkelung stärkefrei geworden ist, mit einer lichtundurchlässigen Schablone. Das Blatt wird nun dem Licht ausgesetzt. Um die gebildete Stärke einzufärben, wird das Blatt nach einiger Zeit mit Iodlösung behandelt. Die von der Schablone nicht bedeckten Stellen erscheinen blauschwarz.

Bruttogleichung der Fotosynthese



Der in dieser Bruttogleichung beschriebene chemische Vorgang läuft in einer Vielzahl von Einzelreaktionen ab, die in komplizierter Weise zusammenwirken. Nur einige von ihnen sind Lichtreaktionen, während andere auch im Dunkeln ablaufen.

MERKE

Autotrophe Organismen sind in der Lage, aus CO_2 einfache organische Stoffe herzustellen, die dann zu komplexeren Molekülen umgewandelt werden. Fotoautotrophe Organismen (alle grünen Pflanzen) nutzen dabei Licht als Energiequelle, chemoautotrophe Organismen (einige Bakterien) beziehen die Energie aus chemischen Reaktionen.



Die Fotosynthese ist ein Reaktionsablauf, in dem die grüne Pflanze Strahlungsenergie absorbiert, um sie zunächst in Form von chemischer Energie als Stärke zu speichern. Die Pflanze braucht jedoch ständig Energie zur Aufrechterhaltung ihrer Lebensvorgänge. Diese Energie wird durch den Vorgang der Atmung (Dissimilation) gewonnen. Die Atmung verläuft in mehreren Teilschritten, bei welchen jeweils Energie frei wird.

Als Bruttogleichung für diesen Prozess erhalten wir formal die Umkehrung der Fotosynthese Gleichung:



Nachweis für Sauerstoffverbrauch

Als Nachweis für den Verbrauch von Sauerstoff und für die Bildung von CO_2 kann ein einfacher Versuch durchgeführt werden: Keimende Erbsen werden in einen Glaszylinder gegeben, der dicht verschlossen wird. Parallel wird ein Glaszylinder ohne Erbsen verschlossen. Nach einigen Stunden wird jeweils eine brennende Kerze in beide Zylinder gestellt. Die Kerze im Zylinder mit Erbsen erlischt viel schneller da der Sauerstoff in diesem Raum durch die Keimung verbraucht wurde. Für den Nachweis von CO_2 stellt man gleichzeitig ein Gefäß mit Bariumhydroxidlösung in den Zylinder. Es bildet sich ein weißer Niederschlag aus Bariumcarbonat.



MERKE

Als Assimilation bezeichnet man die Vorgänge der Fotosynthese. Aus CO_2 und H_2O entstehen mithilfe von Strahlungsenergie Glucose, O_2 und H_2O . So wird die Strahlungsenergie der Sonne in Form von chemischer Energie gespeichert. Als Dissimilation bezeichnet man die Vorgänge der Atmung. Dabei wird aus der Umwandlung von organischen Kohlenstoffverbindungen zu CO_2 und H_2O Energie gewonnen.



ZUSAMMENFASSUNG

- Das Protoplasma umfasst alles innerhalb der Zellwand, also Zytoplasma und Zellorganellen.
- Das Zytoplasma ist die Grundstruktur im Inneren der Zelle.
- Als Plasmalemma bezeichnet man die Membran zwischen Zellwand und Zytoplasma, als Tonoplast die Membran zwischen Zytoplasma und Vakuole.
- Träger der Erbinformation bzw. Zellteilung ist der Zellkern (Chromosom).
- Die Energiegewinnung findet in den Mitochondrien und Chloroplasten statt.
- Als Speicherort dienen Vakuolen und Amyloplasten.
- Ort der Proteinsynthese sind Ribosomen bzw. raues ER.
- Die Entgiftung der Zelle findet im glatten ER statt, der Stofftransport im Golgi-Apparat.
- Die Mitose wird in folgende Phasen unterteilt: Ruhephase, Prophase, Metaphase, Anaphase, Telophase.
- Bei der Meiose entstehen aus einer diploiden Zelle vier neue Zellen mit jeweils einem haploiden (einfachen) Chromosomensatz. Dies geschieht bei Verschmelzung von Spermia und Eizelle.
- Chromosomen bestehen aus DNA. DNA und RNA bestehen aus drei Komponenten: stickstoffhaltige Basen, Zucker und Phosphorsäure. Als Basen stehen Adenin, Guanin, Cytosin, Thymin und Uracil zur Verfügung.

FRAGEN



1

● leicht ●● mittel ●●● schwer

- 1. Was ist eine omnipotente Zelle?
 2. Definieren Sie den Begriff „Differenzierung“ einer Zelle.
 3. Unterteilen Sie Zellen bezüglich ihres Aufbaus in zwei Kategorien.
 4. Zählen Sie alle Bestandteile des Protoplasmas auf.
 5. Erstellen Sie die Gesamtreaktionsgleichung der Fotosynthese und der Atmung. Bei welchem Prozess wird Energie gespeichert und bei welchem wird Energie freigesetzt?
- 6. Zeichnen Sie den Umriss einer isodiametrischen und einer prosenchymatischen Zelle.
 7. Unterscheiden Sie einen Zellkern von einem Kernäquivalent.
 8. Skizzieren Sie die verschiedenen Schichten der Zellwand.
 9. Beschreiben Sie mögliche Entstehungswege der einzelnen Plastiden.
- 10. Ist folgende Aussage korrekt? „Eine Zelle kann immer wachsen, auch nach Ausbildung einer Sekundärwand.“
 11. Skizzieren Sie eine Pflanzenzelle mit Zellorganellen und markieren Sie alle Bereiche, in denen Biomembranen vorkommen.
 12. Finden Sie Merkmale, die eine Pflanzenzelle von einer tierischen Zelle unterscheidet.
 13. Unterscheiden Sie die Begriffe Diffusion und Osmose.



2 Histologie

Eine große Kathedrale hat Pfeiler und Bögen, die der Stabilität dienen, aber auch reine Schmuckelemente.

In pflanzlichen Geweben lassen sich ebenfalls unterschiedliche Zelltypen und Strukturen finden. Diese Zellgruppen haben sich an die Funktion des Gewebes angepasst. Unter einem Lichtmikroskop sind diese Strukturen gut erkennbar. Die Histologie befasst sich mit diesen Gewebestrukturen.

Wie ein Gebäude benötigen auch Pflanzen Stabilität. Diese erhalten sie durch ein Festigungsgewebe. Ein hoher Baum benötigt deutlich mehr als ein kleiner Grashalm. Der Wassertransport bis in die obersten Laubblätter muss durch das Leitgewebe gesichert werden. Schutz vor Wind und Wetter bietet das Abschlussgewebe und die Hauptmasse einer Pflanze besteht aus dem Grundgewebe. Typische Merkmale aller Gewebearten sind Thema dieses Kapitels.

2.1 Gewebebildung

Gleichartige Zellen treten normalerweise nicht einzeln, sondern in größeren Verbänden auf. Ein solcher Verband wird als Gewebe bezeichnet.

DEFINITION

Ein Gewebe ist eine Gruppe von morphologisch gleich gebauten Zellen, die eine identische oder ähnliche Funktion ausüben.



Grundsätzlich werden Gewebe in **Bildungsgewebe** und **Dauergewebe** unterteilt.

Ein Bildungsgewebe besteht aus kleinen, plasmareichen, dicht aneinander liegenden Zellen, die eine ausgeprägte Zellteilungsaktivität besitzen. Dies wird auch als **Meristem** bezeichnet.

Zellen im **Dauergewebe** können sich in der Regel nicht mehr teilen und sind meist differenziert, also spezialisiert auf bestimmte Aufgaben.

MERKE

Grundsätzlich unterscheidet man zwischen teilungsfähigem Bildungsgewebe (Meristeme) und ausdifferenziertem, teilungsunfähigem Dauergewebe.



Der Beginn der Differenzierungsvorgänge ist an der Bildung von Vakuolen zu erkennen. Die Zelle vergrößert sich und die Zellwand wird gedehnt. Dies kann zu einer Erweiterung des Zellumfangs oder zur Längsstreckung der Zelle führen. Mit dem Ende dieser Zellvergrößerung beginnt die Verstärkung der Zellwand. Die **Sekundärwand** wird der **Primärwand** aufgelagert. Dadurch gewinnt die Zellwand an Festigkeit, ist aber nicht mehr weiter dehnbar (► Kap. 1.2.1).

Durch Differenzierung entstehen unterschiedliche Dauergewebetypen. Je nach Funktion unterscheiden wir:

- Grundgewebe,
- Abschlussgewebe,
- Leitgewebe,
- Festigungsgewebe,
- Exkretionsgewebe.

Befinden sich innerhalb eines bestimmten Gewebes einzelne Zellen mit abweichender Gestalt oder mit anderen Funktionen, so werden diese als **Idioblasten** bezeichnet.

Wenn sich Zellen während des Wachstums runden, schließen sie im Gewebeverband nicht mehr lückenlos aneinander. Die Zwischenräume durchziehen als Interzellularräume das Gewebe und ermöglichen seine Durchlüftung.

Interzellularräume entstehen einerseits **schizogen** durch Auseinanderweichen einzelner Zellen (◉ Abb. 2.1), zum anderen **lysig** durch Auflösung von Zellen.