

1 Zelle und Stoffwechsel

1.1 Die Zelle – kleinste lebende Einheit

Zelle, Gewebe, Organ

[SB S. 16/17]

So können Sie mit dem Thema arbeiten	
Einstieg/Motivation	<p>Leitfrage Welche Organisationsebenen gibt es in einem Organismus?</p> <p>Methodenauswahl Für den Einstieg werden den Schülerinnen und Schülern vielfältige Bilder aller Organisationsebenen präsentiert, die im Unterrichtsgespräch in eine sinnvolle Reihenfolge gebracht werden sollen. Erfahrungsgemäß sind die Schülerinnen und Schüler mit diesem Thema vertraut, haben bisher jedoch nur bedingt den konkreten Bezug der einzelnen Organisationsebenen zueinander hergestellt. Folgende Auswahl wäre denkbar:</p> <ul style="list-style-type: none">– Apfelbaum, Albert Einstein, Elefant, Kieselalge– Blatt, Blüte, Auge, Niere, Gehirn– Nervengewebe, Schwammgewebe, Herzmuskulatur– Erythrocyt, Samenzelle, Schließzellen der Spaltöffnung– Mitochondrium, Chloroplast– DNA, Protein, Wassermolekül– Kohlenstoffatom, Sauerstoffatom <p>Je nach Wissensstand der Lerngruppe können die Begriffe so gewählt werden, dass sie zusätzlich die Möglichkeit bieten, kurz und knapp Themen der Mittelstufe anzureißen.</p>
Erarbeitung	Die Schülerinnen und Schüler bearbeiten das Arbeitsblatt „Die Organisationsebenen“ (s. Lehrband S. 11).
Sicherung	Die Lösungen der Aufgaben des Arbeitsblatts „Die Organisationsebenen“ (s. Lehrband S. 11) werden besprochen. Für die Besprechung der Aufgabe 2 steht der Lehrkraft zusätzliches Material zur Verfügung (s. Zusatzinformation, Lehrband S. 10).
Vertiefung	Differenzierung der Organisationsebenen „Organ“ und „Organsystem“ am Beispiel der Haut (s. Praktische Tipps und Zusatzinformation, Lehrband S. 10).

Lösungen

[zu SB S. 16/17]

- 1 Definieren Sie die Begriffe „Zelle“, „Gewebe“, „Organ“, „Organismus“ und ordnen Sie den Bildern aus Abb. 2 jeweils einen dieser Begriffe zu.
- Zelle: kleinste, lebensfähige Einheit (umgrenzt von Zellmembran, im Inneren angefüllt mit Zellplasma, enthält genetisches Material)*
- Gewebe: Verbund gleichartiger Zellen mit ähnlicher Funktion*
- Organ: funktionelle Einheit in einem Organismus, die aus unterschiedlich spezialisierten Geweben besteht*
- Organismus: Lebewesen; meist bestehend aus mehreren Organen, die in einer räumlichen und funktionellen Beziehung zueinander stehen*

Praktische Tipps

Die Haut — ein Organ?!

Auf dem Arbeitsblatt „Die Organisationsebenen“ (s. Lehrerband S. 11) wird die Differenzierung der Organisationsebenen „Organ“ und „Organsystem“ nicht konkret aufgegriffen. Die Aufgabenstellung 2 bietet jedoch die Möglichkeit für die Lehrkraft, an dieser Stelle eine Abgrenzung mithilfe der folgenden Zusatzinformation vorzunehmen.

Es lohnt sich, die Darstellung der Haut als Organ zu hinterfragen, da sie aufgrund ihrer Komplexität nicht eindeutig als Organ bezeichnet werden kann. Daher wird in diesem Zusammenhang oft von der Organisationsebene „Organsystem“ gesprochen.

Zusatzinformation

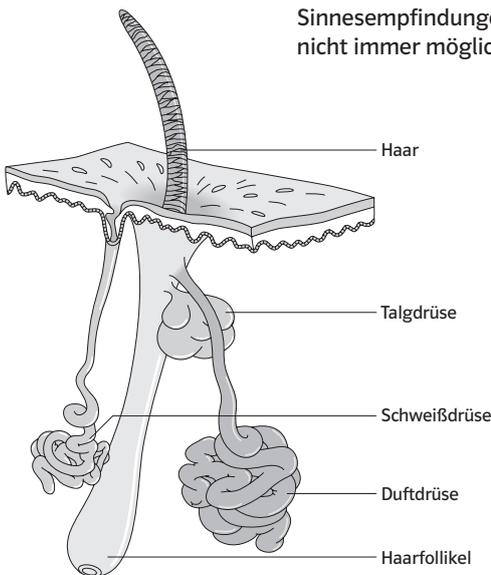
Die Haut wird im Allgemeinen als „Grenzorgan“ bezeichnet, da sie die Barriere zwischen den innerhalb des Organismus konstanten Bedingungen und physikalisch-chemisch wechselnden äußeren Bedingungen darstellt. In der Literatur (s. Literatur- und Medienhinweise) werden jedoch beim Aufbau der Haut Hautsinnesorgane (Sensoren für Tast-, Temperatur- und Schmerz-sinn) sowie Hautanhangsgebilde (wie z. B. Talg-, Schweiß- oder Duftdrüsen, aber auch Haare und Nägel) thematisiert. Dies unterstützt die Kategorisierung als Organsystem. Unter einem Organsystem versteht man mehrere Organe, die gemeinsam eine oder mehrere Aufgaben erfüllen.

Hautanhangsgebilde, wie Talgdrüsen, münden direkt in den Haarbalg und geben Zellreste und Fett (Talg) an diesen ab. Schweißdrüsen sind fast über den ganzen Körper verteilt, kommen jedoch vermehrt an den Handinnenflächen und auf der Stirn vor. Duftdrüsen sind ähnlich wie Schweißdrüsen aufgebaut (Abb. 1).

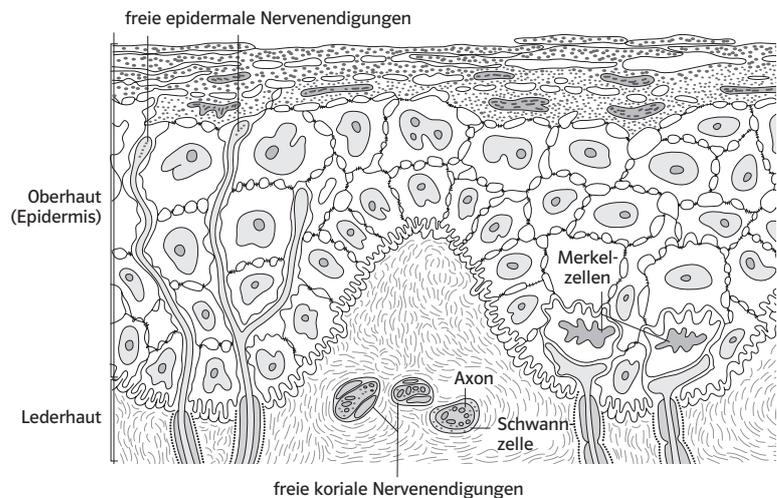
Hautsinnesorgane werden in Nervenendkörperchen und freie Nervenendigungen unterteilt, die je nachdem mit Mechano-, Druck-, Schmerz- oder Temperaturrezeptoren versehen sind. Die eindeutige Zuordnung einzelner Sinnesempfindungen zu den Rezeptortypen ist nicht immer möglich.

Ein Großteil der Hautsinnesorgane besteht aus modifizierten Elementen peripherer Nervenzellen. Man bezeichnet sie daher als primäre Sinneszellen. Eine Ausnahme bilden die auf Druck reagierenden Merkel-Zellen, die aus Nervenzellen und Sinneszellen bestehen. Dies stellt eine Differenzierung in Reizweiterleitung und Reizumwandlung dar, weshalb man in diesem Fall von sekundären Sinneszellen spricht. Freie epidermale Nervenendigungen besitzen in der Epidermis ein Endknöpfchen, welches viele Mitochondrien und Vesikel aufweist und Schmerz (heller Oberflächenschmerz) sowie vermutlich auch Kälte wahrnehmen kann. Freie koriale Nervenendigungen im Bindegewebe nehmen ebenfalls Schmerz (dumpher Tiefenschmerz) sowie vermutlich Wärme wahr. Auch Juckreiz wird von dieser Art Sinneszellen vermittelt.

Neben den in der Abb. 2 dargestellten Hautsinnesorganen gibt es weitere Sensoren, die hier nur kurz genannt werden. Modifizierte freie koriale Nervenendigungen an den Haarfollikeln (auch Haarfollikelrezeptoren genannt) ebenso wie die Meissner-Körperchen registrieren Berührung. Nervenendigungen mit Kapsel, wie z. B. Lamellenkörperchen, Ruffini-Körperchen und Vater-Pacini-Körperchen, registrieren mechanische Beanspruchungen.



1 Hautanhangsgebilde

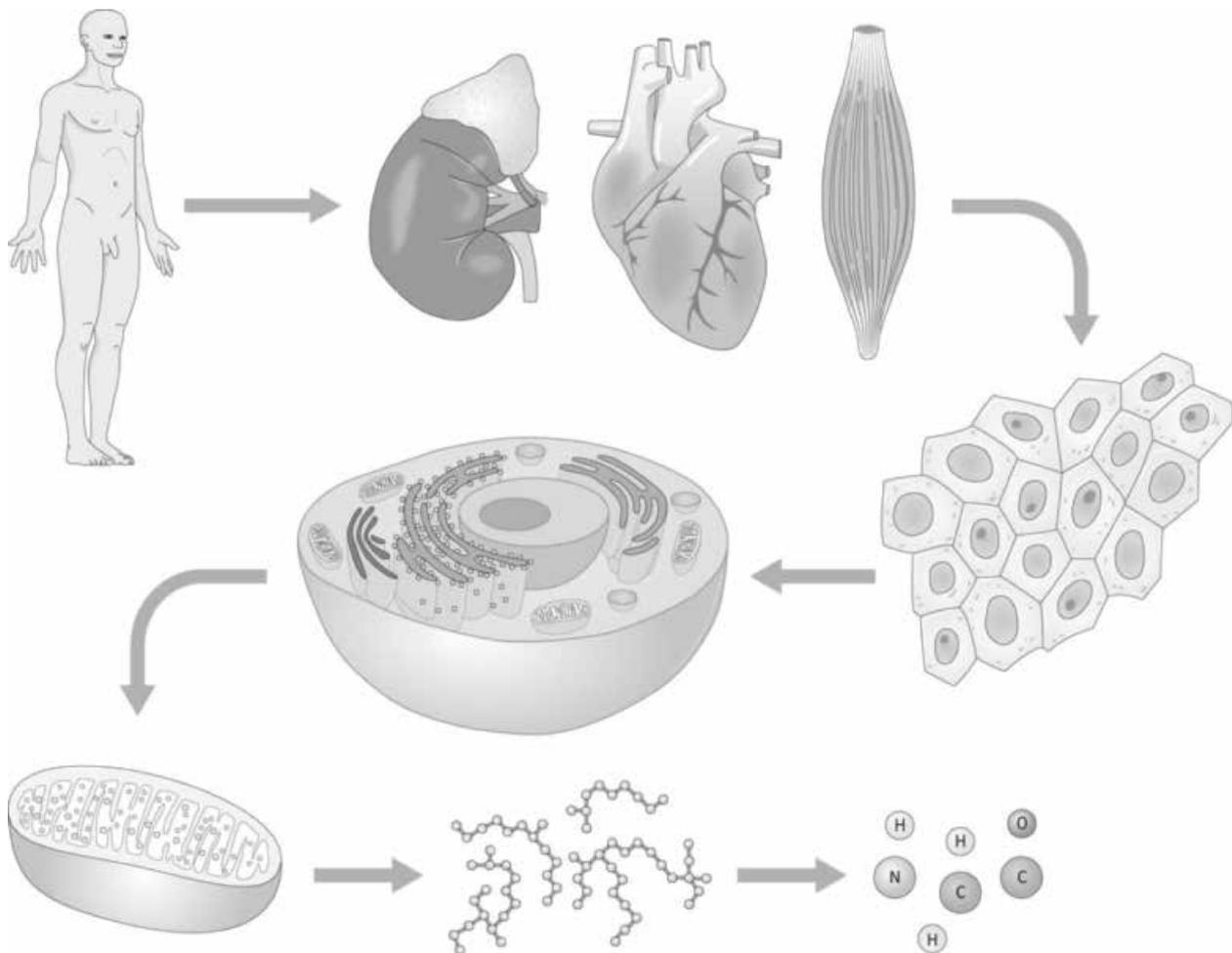


2 Hautsinnesorgane (Querschnitt von Ober- und Lederhaut)

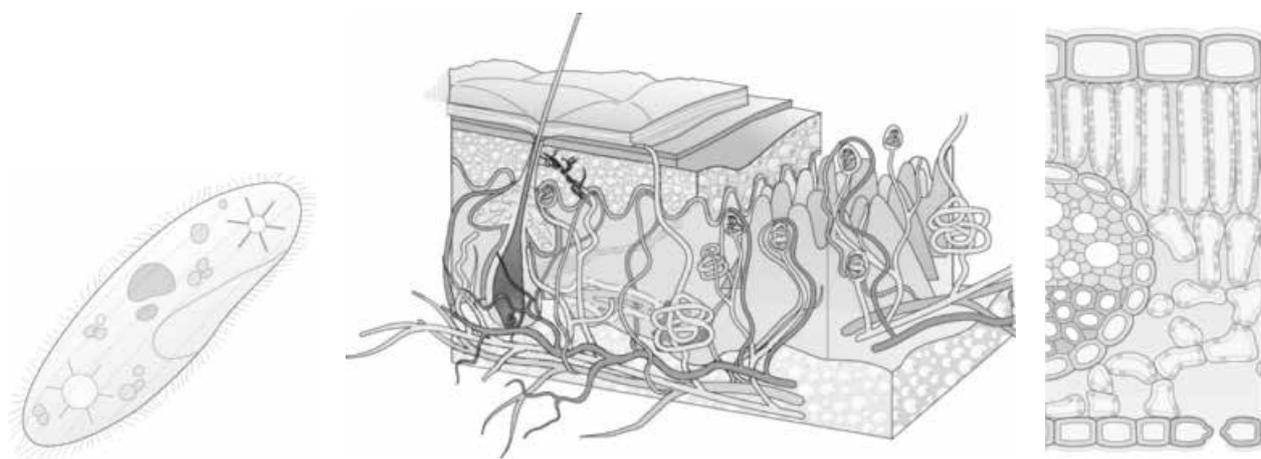
Literatur- und Medienhinweise

Graumann, W., Sasse, D.: CompactLehrbuch der gesamten Anatomie, Band 4. Schattauer, Stuttgart/New York 2005, S. 168 — 200.

Die Organisationsebenen



1 Die Organisationsebenen des Menschen



2 Pantoffeltierchen

3 Querschnitt der Haut

4 Querschnitt eines Laubblattes

- 1 Beschriften Sie die in Abb. 1 dargestellten Organisationsebenen und notieren Sie jeweils eine kurze Definition.
- 2 Benennen Sie jeweils alle Organisationsebenen für das Pantoffeltierchen, die Haut und das Blatt eines Laubbaumes (Abb. 2 – 4).
- 3 Nehmen Sie Stellung zu der Aussage „Das Ganze ist mehr als die Summe der Einzelteile“.

ARBEITSBLATT

Die Organisationsebenen

Lösungen

- 1 Organismus:** Der Organismus ist die höchste Organisationsebene.
Organ: Das Organ ist eine Funktionseinheit, die aus verschiedenen Geweben bestehen kann.
Gewebe: Ein Gewebe setzt sich aus einer Vielzahl von Zellen zusammen, die einen ähnlichen Aufbau haben und die gleiche Funktion erfüllen.
Zelle: Die kleinste lebensfähige und vermehrungsfähige Einheit ist die Zelle.
Zellorganell: Zellorganellen sind Funktionseinheiten innerhalb einer Zelle mit klar definierter Struktur und Funktion.
Molekül: Durch Elektronenpaarbindungen entstehen aus Atomen Moleküle.
Atom: Atome, wie z. B. Wasserstoff, Sauerstoff, Kohlenstoff und Stickstoff, sind die kleinsten chemischen Bausteine, aus denen sich ein Organismus zusammensetzen kann. Sie sind zu komplexen biologischen Molekülen organisiert.

- 2 Abb. 2**
Atom: Sauerstoffatom, Wasserstoffatom, ...
Molekül: z. B. Wassermolekül, ...
Zellorganell: Nahrungsvakuole, ...
Zelle: Pantoffeltierchen
Gewebe: —
Organ: —
Organismus: Pantoffeltierchen

- Abb. 3**
Atom: Kohlenstoff, Wasserstoff, ...
Molekül: z. B. Wassermolekül, Fettmolekül, ...
Zellorganell: z. B. Mitochondrium
Zelle: Epidermiszelle
Gewebe: Epidermis (Oberhaut)
Organ: Haut
Organismus: z. B. Mensch

- Abb. 4**
Atom: Sauerstoff, Wasserstoff, Kohlenstoff, ...
Molekül: z. B. Chlorophyll, Carotinoide, ...
Zellorganell: z. B. Chloroplast
Zelle: z. B. Palisadenzelle
Gewebe: z. B. Palisadenparenchym
Organ: Blatt
Organismus: Laubbaum

- 3** Dieses Zitat besagt, dass die Aneinanderreihung einzelner bekannter Aspekte nicht unbedingt ausreichend ist, um einen Sachverhalt in seiner Gesamtheit zu erfassen. Anstatt jeden einzelnen Aspekt für sich in den Mittelpunkt zu stellen, muss man das Gesamtbild zum Gegenstand der Betrachtung machen. Das fällt uns Menschen jedoch oft schwer. Die biologische Ordnung ist in aufeinander aufbauende Ebenen eingeteilt. Auf jede Organisationsebene folgt eine darauf aufbauende komplexere Organisationsebene. Mit jeder weiteren Stufe treten neue Eigenschaften auf, die vorher noch nicht vorhanden waren. Die daraus resultierenden komplexen Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Komponenten lassen sich jedoch nicht anhand von „aneinandergereihten Atomen“ erklären.

Zusatzinformation

Das Zitat aus Aufgabe 3 stammt von dem berühmten griechischen Philosophen Aristoteles (384 — 322 v. Chr.).

Praktikum: Mikroskopieren von Zellen

[SB S. 18/19]

So können Sie mit dem Thema arbeiten	
Einstieg/Motivation	<p>Leitfrage Wie arbeitet man korrekt mit einem Lichtmikroskop?</p> <p>Methodenauswahl</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zum Einstieg werden tote Insekten bereitgestellt, die in Gruppenarbeit mithilfe des Binokulars betrachtet werden. Winzige Details der Organismen, wie „behaarte“ Glieder, Komplexaugen oder die Gliederung der Flügel, können untersucht werden. Beobachtungen werden auf weißem Papier skizziert, wobei darauf zu achten ist, dass die Zeichnungen eine angemessene Größe besitzen. Kleinere Objekte werden mit dem Mikroskop untersucht. • Möglichkeiten und Grenzen des Mikroskops können dargestellt werden mit dem Ziel, den Schülerinnen und Schülern den im Mikroskop sichtbaren Bereich bewusst zu machen. Außerdem werden so Unsicherheiten bezüglich der zu wählenden Präparatmenge/-größe vermieden (s. Praktische Tipps, Lehrerband S. 14).
Erarbeitung	<ul style="list-style-type: none"> • Aufkommende Fragen und Probleme im Umgang mit dem Mikroskop werden in dieser Phase auf bereitgestellte DIN-A5-Blätter notiert und individuell von den Gruppen an der Tafel befestigt. In einem sich anschließenden Unterrichtsgespräch werden diese Fragen und Probleme thematisiert sowie der korrekte Umgang mit dem Mikroskop erarbeitet. • Der Aufbau eines Lichtmikroskops wird mithilfe der Schulmikroskope mit allen wichtigen Einzelteilen und deren Funktionen besprochen.
Sicherung	Die Schülerinnen und Schüler bearbeiten die Aufgaben auf dem Arbeitsblatt „Das Lichtmikroskop“ (s. Lehrerband S. 15). Als Hilfestellung zur Beschriftung der Abb. 1 (s. Aufgabe 1) können ggf. Hilfskarten bereitgestellt werden (s. Praktische Tipps, Lehrerband S. 14). Die Ergebnisse werden im folgenden Unterrichtsgespräch kurz besprochen.
Vertiefung	Um die Grenzen des Sichtbereiches zu verdeutlichen und zukünftigen Fehleinschätzungen beim Umgang mit Präparaten vorzubeugen, kann das Gesichtsfeld des Mikroskops bestimmt werden. Hierfür wird ein kleiner Gegenstand (z. B. Büroklammer) unter das Mikroskop gelegt und der sichtbare Bereich in verschiedene Richtungen auf einem Stück Millimeterpapier gekennzeichnet. Je nach Anzahl der verfügbaren Objektive wird das Kennzeichnen des Gesichtsfeldes wiederholt und der Durchmesser ermittelt. Die Ergebnisse kleben die Schülerinnen und Schüler anschließend in ihr Heft.

Lösungen

[zu SB S. 18/19]

- 1 Mikroskopieren Sie die beiden Präparate bei allen Vergrößerungen. Vergleichen Sie dabei die Zellstrukturen in pflanzlichen und menschlichen Zellen.
pflanzliche Zellen: Zellwand, Chloroplasten, Zellplasma, Zellmembran; menschliche Zellen: Zellkern, Zellmembran, Zellplasma
- 2 Fertigen Sie beschriftete Skizzen der beiden Zelltypen bei maximaler Vergrößerung an.
individuelle Lösung
- 3 Vergleichen Sie die Anordnung und Häufigkeit der Schließzellen in Ihrem Präparat mit der Epidermis in Abb. 1.
Beim Alpenveilchen sind mehr Schließzellen vorhanden. Sie sind nicht regelmäßig parallel angeordnet wie bei der Tulpe.
- 4 Stellen Sie eine begründete Hypothese auf, an welchen Standorten Pflanzen mit besonders vielen Spaltöffnungen vorkommen.
an trockenen Standorten: Mithilfe zahlreicher Spaltöffnungen ist ein maximaler Gaswechsel bei minimalem Wasserverlust gewährleistet.
- 5 Untersuchen Sie, welches Organell in der Zelle jeweils für die rote Farbe verantwortlich ist. Verwenden Sie hierfür die Abb. 2.
Zwiebel: rote Farbe durch Vakuole, Paprika: rote Farbe durch Chromoplasten
- 6 Ermitteln Sie mithilfe des Millimeterpapiers die Größe der Zellen und der farbigen Organellen.
Länge der Zwiebelzellen und der Vakuole: ca. 300 μm , Länge der Paprikazellen: ca. 100 μm (Chromoplasten: ca. 5 μm)
- 7 Berechnen Sie, wie groß die ganze Zwiebel bzw. die Paprika wäre, wenn sie dieselbe Vergrößerung erfahren würde wie die Zellen in Ihrem Präparat.
Größe der Zwiebel bei 400-facher Vergrößerung: 28 m, Größe der Paprika bei 400-facher Vergrößerung: 48 m

- 8** Betrachten Sie die Zellen bei mittlerer Vergrößerung. Vergleichen Sie die Formen der Zellen und der Stärkekörner.
Die Kartoffelzellen und ihre Stärkekörner haben eine rundliche Form, die Bananenzellen und ihre Stärkekörner haben eine ausgeprägt längliche Form.
- 9** Zeichnen Sie die Stärkekörner Ihrer Präparate und ordnen Sie diese dem jeweils passenden Teilbild der Abb. 4 zu.
individuelle Zeichnungen; Stärkekörner der Kartoffel: B; Stärkekörner der Banane: D. Die Unterschiede sind im Präparat gut zu erkennen. (A: Stärkekörner der Bohne, C: Stärkekörner des Maises)

- 10** Die rundliche Form der Stärkekörner spiegelt die Art ihrer Entstehung wider. Stellen Sie eine Hypothese auf, wie Stärkekörner entstehen.
Um ein sogenanntes Bildungszentrum herum lagern sich die Stärkemoleküle radiärsymmetrisch in Schichten ab und bilden dabei rundliche Stärkekörner. Bei den länglichen Stärkekörnern der Banane lagern sich die Moleküle am Bildungszentrum der Länge folgend in Schichten ab.

Praktische Tipps

Funktionen der einzelnen Bestandteile eines Mikroskops

(differenzierte Aufgabenstellung)

Die Schülerinnen und Schüler, die mit dem Mikroskop noch nicht vertraut sind, werden bei der Bearbeitung der Aufgabe 1 und 2 des Arbeitsblatts „Das Lichtmikroskop“ (s. Lehrband S. 15) Schwierigkeiten haben, die Bestandteile und ihre Funktionen korrekt zu benennen. Daher bietet es sich an, die Lösungen in Form von Hilfskarten bereitzuhalten. Auf diese können schwächere Schülerinnen und Schüler zurückgreifen.

Welche Ausmaße darf mein zu betrachtendes Objekt besitzen?

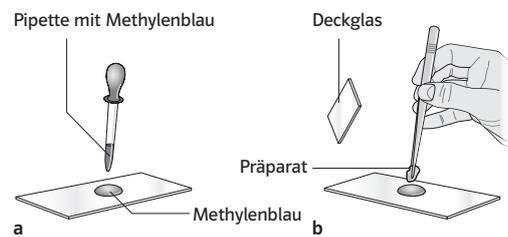
Den Schülerinnen und Schülern fehlt oftmals die Vorstellung für die Ausmaße, vor allem für die Dicke der Objekte. Es bietet sich an, mithilfe von Overhead-Projektor und Petrischalen die einzelnen Zellebenen darzustellen. Hierfür stellt man mehrere Petrischalen, in denen sich Objekte, wie z. B. Steine, Radiergummis, Büroklammern oder Ähnliches befinden, auf einen Overhead-Projektor. Sie stellen die Präparationsebenen dar. Je mehr Petrischalen aufeinander gestapelt sind, desto schwieriger wird es, einen bestimmten Bereich scharfzustellen. Diese Erkenntnis hilft den Schülerinnen und Schülern, bei der Herstellung ihrer Präparate sorgfältig das dünnste Präparat auszuwählen.

Die Schülerinnen und Schüler müssen außerdem ein Verständnis dafür entwickeln, dass auch sehr dünne Präparate, selbst wenn es sich nur um eine Zellschicht handelt, eine dreidimensionale Struktur aufweisen. Daher sind nicht immer alle Bestandteile sichtbar. Das bedeutet nicht, dass eine Zelle z. B. keinen Zellkern besitzt, nur weil er in der vorhandenen Perspektive nicht sichtbar ist. Er kann lediglich vom restlichen Zellinhalt verdeckt sein. Dies kann man mit einem Zell-

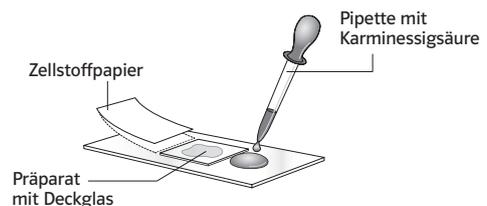
modell veranschaulichen. Hierfür nimmt man eine durchsichtige Plastikbox, die, neben einer Walnuss als Zellkern, mit z. B. vielen Gefrierbeuteln gefüllt ist. Je nach Lage des Zellkernes und Sicht auf die Zelle kann der Zellkern vom übrigen Zellinhalt verdeckt werden.

Präparate anfärben

Für das schnelle Anfärben zarter botanischer Objekte nutzt man Methylenblau (Abb. 1). Hierfür werden zwei Tropfen Methylenblau auf den Objektträger gegeben und das Präparat wird anschließend direkt in den Tropfen gelegt.



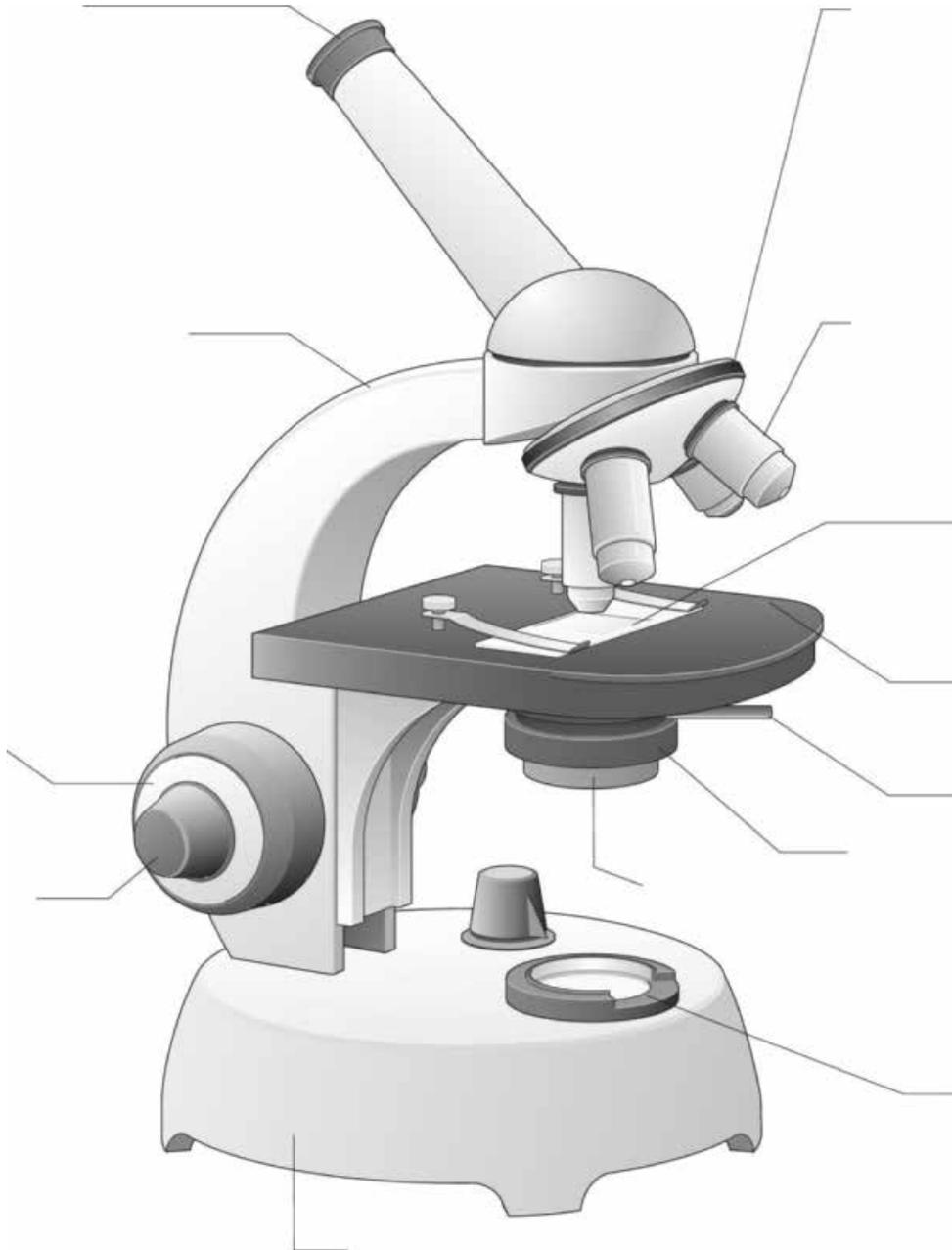
1 Anfärben mit Methylenblau



2 Anfärben mit Karminessigsäure

Zoologische und widerstandsfähigere botanische Präparate können mit Karminessigsäure angefärbt werden. Diese Chemikalie färbt Chromosomen. Die Karminessigsäure wird dafür neben das Deckglas getropft und mit Zellstoffpapier (Küchenrolle oder Taschentuch) von der gegenüberliegenden Seite wieder abgesaugt (Abb. 2).

Das Lichtmikroskop



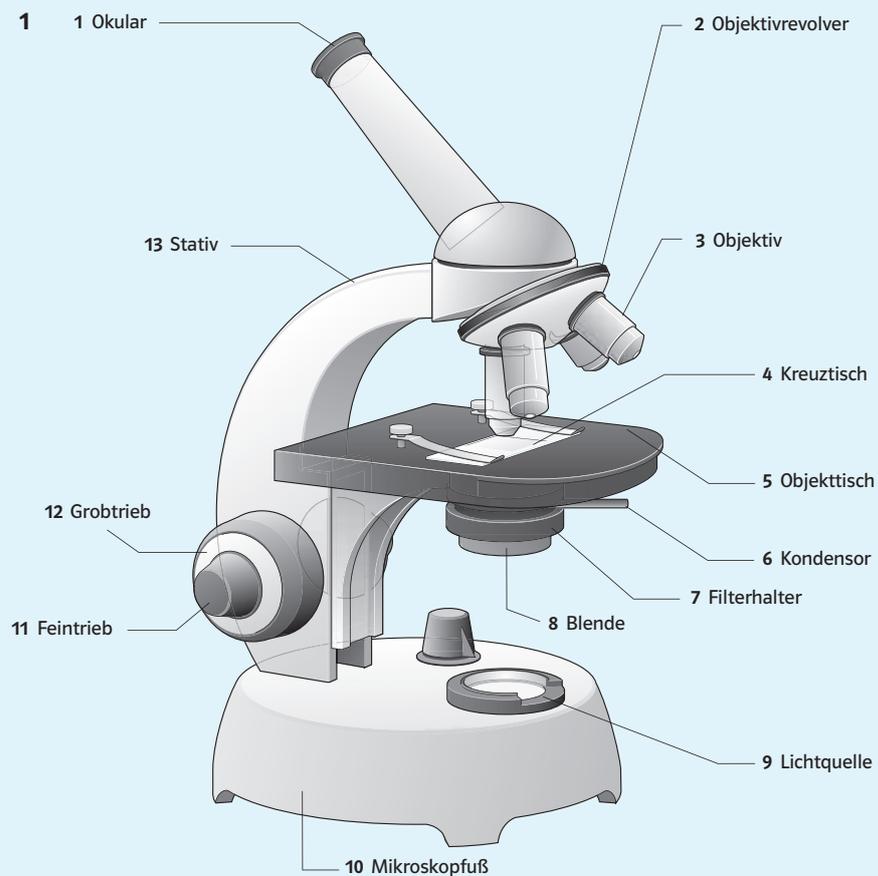
1 Das Lichtmikroskop

- 1 Beschriften Sie die Bestandteile des Mikroskops.
- 2 Geben Sie die Funktionen der einzelnen Bestandteile an.
- 3 Erklären Sie, was man tun kann, wenn das Objekt unter dem Mikroskop nur unscharf zu erkennen ist.
- 4 Erläutern Sie, inwiefern es beim Mikroskopieren sinnvoll ist, immer zuerst mit der kleinsten Vergrößerung zu beginnen.

ARBEITSBLATT

Das Lichtmikroskop

Lösungen



1 Das Lichtmikroskop

- 2
 - 1 Okular: Besteht aus verschiedenen Linsen und dient zur vergrößerten Betrachtung des Objektes.
 - 2 Objektivrevolver: Durch Drehen wird ein neues Objektiv eingestellt.
 - 3 Objektive: Unterschiedliche Linsen projizieren ein reelles und vergrößertes optisches Abbild des Objektes.
 - 4 Kreuztisch: Das Bewegen eines Objektes in zwei Richtungen innerhalb einer Ebene wird hiermit ermöglicht.
 - 5 Objektisch: Der Objektträger mit Objekt wird hier aufgelegt.
 - 6 Kondensor: Reguliert die Helligkeit und die Bildschärfe.
 - 7 Filterhalter: Durch das Einfügen diverser Filter kann man ein Objekt teilweise besser sichtbar machen.
 - 8 Blende: Dient der Einstellung der Breite des Lichtstrahles und damit der Lichtintensität.
 - 9 Lichtquelle: Erzeugt das nötige Licht.
 - 10 Mikroskopfuß: Dient einem sicheren und festen Stand.
 - 11 Feintrieb: Hiermit wird der Objektisch um Millimeter bewegt, damit ein Objekt exakt betrachtet werden kann.
 - 12 Grobtrieb: Hiermit kann der Objektisch um Zentimeter bewegt werden, um das Objekt schnell und grob zu erfassen.
 - 13 Stativ: Stabilisiert das Mikroskop.
- 3 Ein Objekt kann unscharf erscheinen, wenn es nicht sachgerecht hergestellt wurde. Ursache können überdimensionale Ausmaße des Präparats sein. Besonders zu dicke Präparate sind problematisch. Es bietet sich daher an, sorgfältig ein neues, dünneres Präparat anzufertigen. Ein weiteres Problem kann die gewählte Vorgehensweise beim Mikroskopieren sein.
- 4 Man sollte immer mit der kleinsten Vergrößerung zu mikroskopieren beginnen und das Objekt in der Mitte des Sichtfeldes scharfstellen. Damit verhindert man, dass sich das Objekt in der nächsthöheren Vergrößerung außerhalb des Sichtfeldes befindet. Zudem befindet man sich schon im richtigen Einstellungsbereich, um das Objekt scharf betrachten zu können.

Lichtmikroskopie

[SB S. 20/21]

So können Sie mit dem Thema arbeiten	
Einstieg/Motivation	<p>Leitfragen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wie funktioniert ein Lichtmikroskop? • Warum können auch moderne Lichtmikroskope nur einen begrenzten Bereich sichtbar machen? <p>Methodenauswahl</p> <ul style="list-style-type: none"> • Das Herstellen einer Wassertropfen-Lupe (s. Praktische Tipps, Lehrerband S. 18) zur Thematisierung von Vergrößerungen durch Linsen ist ein guter Einstieg in das Thema. • Um in das Arbeitsblatt „Die Grenzen des Lichtmikroskops“ (s. Lehrerband S. 19) einzuleiten, eignet sich ein Foto oder eine Abbildung des von Leeuwenhoek entwickelten Mikroskops.
Erarbeitung	<ul style="list-style-type: none"> • Die Schülerinnen und Schüler lesen den Text auf S. 20 im Schülerbuch. Dieser thematisiert ausgehend von einer Lupe die Funktion von Linsen und die damit verbundene Entwicklung bis hin zum Lichtmikroskop. • Außerdem kann mit den Schülerinnen und Schülern ein Vergleich der Vergrößerung des Seh winkels durch Linsen mit Abb. 2 im Schülerbuch S. 20 besprochen werden. • Bearbeitung der Aufgabe 1 im Schülerbuch S. 21.
Sicherung	<ul style="list-style-type: none"> • Die Lösungen zum Schülerbuch S. 21, Aufgabe 1 werden in der Gruppe korrigiert. • In der Gruppe wird eine Antwort auf die Leitfrage „Wie funktioniert ein Lichtmikroskop?“ formuliert. S. 21 im Schülerbuch kann zu Hilfe genommen werden.
Vertiefung	<ul style="list-style-type: none"> • Die im Schülerbuch angesprochenen Auflösungsgrenzen der Lichtmikroskopie werden mithilfe des Arbeitsblatts „Die Grenzen des Lichtmikroskops“ (s. Lehrerband S. 19) in den Fokus gerückt. • Eine Erweiterung der optischen Grenzen mittels der STED-Mikroskopie kann besprochen werden.

Lösungen

[zu SB S. 20/21]

- **1** Erläutern Sie die Bedeutung von Farbstoffen für die Lichtmikroskopie.
Außer farbigen Vakuolen und Plastiden sind fast alle Zellstrukturen kontrastarm. Durch Anfärben werden manche Strukturen sichtbar bzw. unterscheidbar.
- **2** Stellen Sie die Vorteile der Fluoreszenzmikroskopie im Vergleich zur herkömmlichen Lichtmikroskopie dar. Gehen Sie dabei auch auf die Vorzüge der Laser- bzw. STED-Mikroskopie ein.
*Vorteil der Lichtmikroskopie allgemein: Meist können lebende Zellen betrachtet werden.
 Vorteil der Fluoreszenzmikroskopie: farblose Strukturen werden sichtbar
 Vorteil der Lasermikroskopie: bessere Auflösung durch Lochblenden
 Vorteil der STED-Mikroskopie: Ausschalten der Hintergrundfluoreszenz*

Praktische Tipps

Sollte dies noch nicht geschehen sein, können als Vorbereitung für das Arbeitsblatt „Die Grenzen des Lichtmikroskops“ (s. Lehrerband S. 19) der Welle-Teilchen-Dualismus des Lichtes und der Begriff „Wellenlänge“ thematisiert werden.

Wassertropfen-Lupe

Ohne großen Aufwand kann im Unterricht eine Lupe hergestellt werden. Hierfür eignet sich entweder die Deckleiste eines Schnellhefters oder eine Klarsichthülle. Mit der Deckleiste kann man am Wasserhahn einen Wassertropfen abnehmen. Stattdessen kann auch mithilfe des

Fingers ein Wassertropfen auf die Klarsichthülle gebracht werden. Durch Bewegen der Deckleiste oder Schieben der Klarsichthülle über einen Text werden einzelne Buchstaben vergrößert dargestellt. Der Wassertropfen wirkt wie eine Lupe. Aufgrund der Oberflächenspannung des Wassers wird die Wasseroberfläche möglichst klein gehalten, was in einer halbkugeligen Form resultiert. Der Tropfen ist in diesem Zustand vergleichbar mit der Sammellinse einer Lupe. Betrachtete Buchstaben wirken vergrößert, da durch die Wassertropfen-Lupe die Lichtstrahlen gebündelt werden.

Zusatzinformation

STED-Mikroskopie

Seit dem 17. Jahrhundert spielt das Mikroskop eine wichtige Rolle bei der Erkenntnisgewinnung, da sich hiermit lebende Zellen beobachten lassen. Im Laufe der Jahre wurden immer bessere Mikroskope hergestellt, die einen detaillierten Einblick in die kleinsten Bausteine des Lebens gewähren. Jedoch gibt es Grenzen bei der Sichtbarkeit von Objekten, wie der deutsche Physiker Ernst Abbe (1840–1905) im Jahre 1873 erkannte.

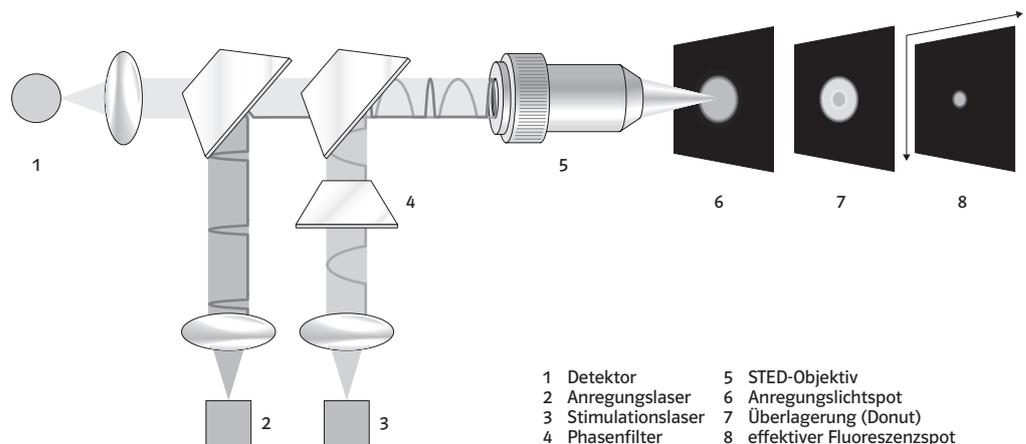
Er nahm ein Gitter, bestehend aus vielen sehr eng beieinanderliegenden Linien, und berechnete, wie eng beieinander diese Linien sein dürfen, sodass sie gerade noch als einzelne Linien erkennbar sind. Dies wird als Auflösung bezeichnet. Die Grenze hierfür wird „Abbe-Limit“ genannt und liegt bei 200 nm, was einer halben Lichtwellenlänge entspricht. Objekte, die kleiner sind, werden nur noch verschwommen wahrgenommen.

Mittlerweile wurden lichtmikroskopische Verfahren und Geräte entwickelt, die diese physikalische Gesetzmäßigkeit umgehen können und Objekte im Bereich von 50 nm immer noch

deutlich sichtbar machen können. Ein Beispiel hierfür ist das sogenannte STED-Mikroskop (STED: Stimulated Emission Depletion), das in Abb. 1 dargestellt ist.

Stück für Stück wird das Präparat mit den beiden Laserstrahlen behandelt. So entsteht ein vollständiges Bild, das im Vergleich zu bisherigen Lichtmikroskopen deutlich mehr Details zeigt.

Durch einen Anregungslaser (2) wird einem kleinen Ausschnitt des Präparats Licht einer bestimmten Wellenlänge zugeführt. Dieses sorgt für die Anregung und das daraus resultierende Aufleuchten des Präparats (6). Gleichzeitig wird mithilfe eines Stimulationslasers (3) weiteres Licht hinzugefügt. Dieses Licht wird durch einen Phasenfilter (4) geleitet, dessen Mittelpunkt kein Licht des Lasers durchlässt. Es kommt zu einer donutförmigen Überlagerung (7) der durch die beiden Laser abgegebenen Wellenlängen, sodass lediglich der Mittelpunkt des betrachteten Bereiches (8) sichtbar bleibt. Auf diese Art und Weise wird das gesamte Präparat abgefahren.



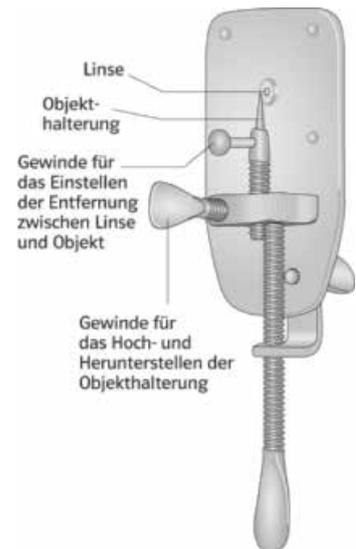
1 Aufbau eines STED-Mikroskops

Literatur- und Medienhinweise

Sieber, J. J.: STED-Mikroskopie — Lebendzellbeobachtungen jenseits der Beugungsgrenze. In: *Optik & Photonik*, 2010/1, S. 36–39. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/opph.201190077>

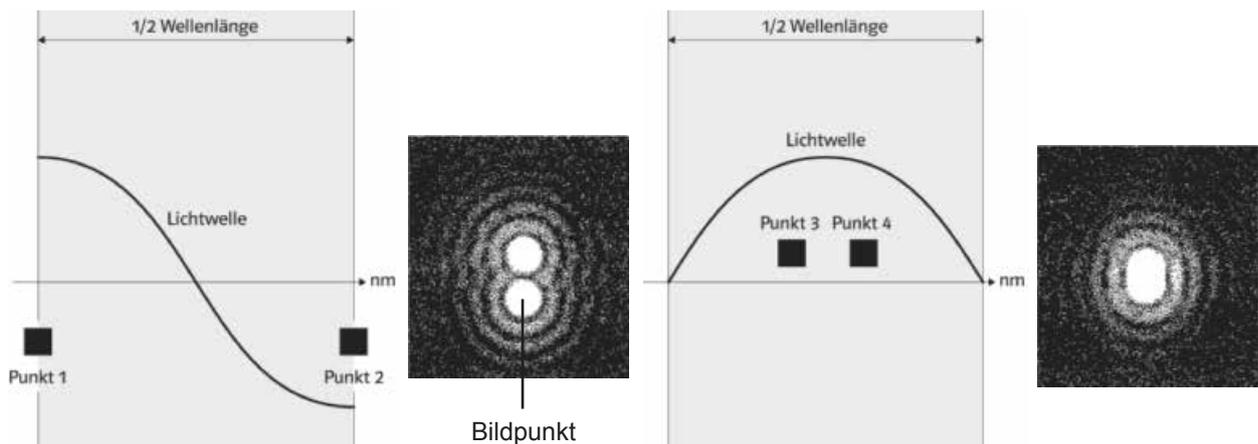
Die Grenzen des Lichtmikroskops

Seit dem 17. Jahrhundert ist das Lichtmikroskop eines der wichtigsten Werkzeuge für die Gewinnung neuer biologischer Erkenntnisse. Dem Niederländer Antoni van Leeuwenhoek (1632 – 1723) gelang es als Erstem, mit einem selbst gebauten Lichtmikroskop einzellige Organismen zu beobachten. Mithilfe seiner Mikroskope konnte er unterschiedliche pflanzliche und tierische Zellen sichtbar machen und bahnbrechende Erkenntnisse gewinnen. So konnte er im Jahre 1677 Insektenpermien sichtbar machen. Außerdem konnte er nachweisen, dass u. a. Muscheln aus Eiern entstehen und nicht, wie bis dahin vermutet, spontan aus Sand oder Schmutz. So rasant, wie sich die Lichtmikroskopie entwickelte, so schnell wurde auch klar, dass Lichtmikroskope nur einen bestimmten Bereich der Welt sichtbar machen können.



1 Van Leeuwenhoeks Mikroskop

Im Jahre 1873 stellte der deutsche Physiker Ernst Abbe (1840 – 1905) fest, „dass ... die Unterscheidungsgrenze [beim Mikroskop] ... doch niemals über [den Betrag] der halben Wellenlänge des blauen Lichts um ein Nennenswertes hinausgehen wird“. Anders formuliert bedeutet das, dass zwei eng aneinanderliegende Punkte nur dann noch getrennt voneinander wahrgenommen werden können, wenn ihr Abstand mindestens eine halbe Wellenlänge beträgt. Die Wellenlängen von für uns sichtbarem Licht liegen zwischen 380 nm (blaues/violettes Licht) und 780 nm (rotes Licht). Entscheidend für die optische Grenze ist also nicht die Vergrößerung des Lichtmikroskops, sondern das als „Abbe-Limit“ bezeichnete begrenzte Auflösungsvermögen.



2 Optische Grenze

- 1 Beschreiben Sie das von Leeuwenhoek entwickelte Mikroskop und vergleichen Sie es mit einem heutigen Lichtmikroskop.
- 2 Beschreiben Sie mithilfe von Abb. 2, ab wann zwei Punkte noch als zwei eigenständige Objekte wahrgenommen werden können.
- 3 Erläutern Sie die von Ernst Abbe formulierte Aussage, „dass ... die Unterscheidungsgrenze [beim Mikroskop] ... doch niemals über [den Betrag] der halben Wellenlänge des blauen Lichts um ein Nennenswertes hinausgehen wird“.
- 4 Recherchieren Sie, wie Wissenschaftler die Grenzen des eigentlich unüberwindbaren Abbe-Limits mittels STED-Mikroskopie erweitern konnten, und beschreiben Sie die Vorgehensweise.

ARBEITSBLATT

Die Grenzen des Lichtmikroskops

Lösungen

- 1 Das von van Leeuwenhoek entwickelte Mikroskop besteht aus einer Linse, vor die ein Objekt gesetzt werden kann. Je nach Größe des Objektes kann mithilfe von entsprechenden Gewinden die Höhe und Entfernung zur Linse eingestellt werden. Das Objekt wird wie durch ein Schlüsseloch durch die Linse betrachtet.
Im Vergleich dazu gibt es beim heute gängigen Lichtmikroskop eine Vielzahl an zusätzlichen Einstellungsmöglichkeiten, die eine detailliertere Betrachtung der Objekte ermöglichen. Das Objekt wird flach auf den Objektisch gelegt und kann mithilfe unterschiedlicher Objektive um ein Vielfaches vergrößert werden. Der Grobtrieb und der Kreuztisch sind in Ansätzen schon bei van Leeuwenhoeks Modell vorhanden. Zwar stand damals noch keine konkrete Lichtquelle zur Verfügung, jedoch konnten durch entsprechendes Halten des Handmikroskops möglichst optimale Lichtverhältnisse geschaffen werden. Anstatt einer Linse besitzen heutige Lichtmikroskope zwei Linsensysteme (Objektiv und Okular). Weitere auf die Sichtbarkeit eines Objektes einflussnehmende Bestandteile heutiger Mikroskope sind Feintrieb, Kondensator und Filterhalter für diverse Filter.
- 2 In Abb. 2 ist eine Lichtwelle dargestellt. Außerdem sind die Wellenlängen eingezeichnet. Im linken Teil haben die beiden Punkte einen Abstand, der bei einer halben Wellenlänge liegt. Deshalb kann man die beiden Punkte bei Betrachtung mit einem Lichtmikroskop getrennt voneinander wahrnehmen. Auf der rechten Seite der Abbildung haben die beiden Punkte einen Abstand, der kleiner als eine halbe Wellenlänge ist. Es wird also klar, dass diese beiden Punkte mit einem Lichtmikroskop nicht mehr getrennt voneinander wahrgenommen werden können.
- 3 Blaues Licht hat eine Wellenlänge von 380 nm. Dies ist die kleinste für den Menschen wahrnehmbare Wellenlänge. Alle anderen sichtbaren Farben haben eine größere Wellenlänge. Rotes Licht hat z. B. mit 780 nm eine fast doppelt so große Wellenlänge wie Blau. Da es sich bei blauem Licht um das mit der kleinsten Wellenlänge handelt, ist auch der Abstand, den zwei Punkte in blauem Licht haben dürfen, damit sie noch als einzelne Punkte erkennbar sind, geringer, als dies bei rotem Licht (780 nm) der Fall ist.
- 4 Individuelle Lösung. Verwendbares Material: STED-Mikroskopie (s. Schülerbuch S. 21; Zusatzinformation, Lehrerband S. 18 und 20).

Zusatzinformation

Funktionsweise der STED-Mikroskopie

Das Licht einer bestimmten Wellenlänge regt ein Molekül an, vom Zustand S_0 in den Zustand S_1 überzugehen. Das angeregte Molekül geht zufällig in seinen Grundzustand zurück, was sich in sichtbarem fluoreszierendem Licht äußert.

Regt man nun ein Molekül mit einer bestimmten Wellenlänge an und bringt es anschließend mithilfe eines weiteren Lichtimpulses in den Grundzustand zurück, findet die sogenannte stimulierte Emission statt. Es ist in diesem Bereich keine Fluoreszenz sichtbar.

Beim STED-Mikroskop wird ein kleiner, mittig liegender Bereich angeregt, wodurch eine Fluoreszenz erzeugt werden kann. Um diesen Bereich herum wird die donutförmige mittels stimulierte Emission ausgeschaltet. Der Bereich bleibt dunkel. Wiederholt man diesen Vorgang mit dem gesamten Präparat, ergibt sich ein Bild, das deutlich schärfer ist, als es mit anderen Lichtmikroskopen zu erzeugen möglich wäre.

Elektronenmikroskopie

[SB S. 22/23]

So können Sie mit dem Thema arbeiten	
Einstieg/Motivation	<p>Leitfrage Welche Möglichkeiten und Grenzen hat die Elektronenmikroskopie?</p> <p>Methodenauswahl</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die Lehrkraft zeigt das Elektronenmikroskop-Bild einer Zelle, eines Organells oder einer Oberfläche sowie, zum Vergleich, ein lichtmikroskopisches Bild. • Ein „Body Art“-Bild (s. Praktische Tipps sowie Literatur- und Medienhinweise, Lehrerband S. 22) kann verwendet werden, um durch Heranzoomen die Schülerinnen und Schüler Details entdecken zu lassen.
Erarbeitung	<ul style="list-style-type: none"> • Ein Vergleich von Licht- und Elektronenmikroskopie erfolgt mithilfe der Informationstexte im Schülerbuch S. 20—23. • Die Schülerinnen und Schüler bearbeiten die Aufgaben 1 und 2 im Schülerbuch S. 23.
Sicherung	Die Lösungen der Aufgaben 1 und 2 im Schülerbuch S. 23 werden besprochen.
Vertiefung	Um vertiefende Einblicke in die vielfältigen Möglichkeiten und Anwendungen der Elektronenmikroskopie zu erlangen, wird das Arbeitsblatt „Wie funktioniert ein Rastertunnelmikroskop?“ (s. Lehrerband S. 23) bearbeitet und besprochen.

Lösungen

[zu SB S. 22/23]

- **1** Vergleichen Sie die TEM- und die REM-Technik.
Gemeinsam ist beiden Techniken die gute Auflösung. Der Vorteil der REM-Technik ist ihre Eignung zur Untersuchung von Oberflächenstrukturen, der Vorteil der TEM-Technik ist, dass mit deren Hilfe bei Ultradünnschnitten Einblicke in winzigste Strukturen im Inneren von Zellen und Zellorganellen möglich sind.
- **2** Fassen Sie die einzelnen Schritte der Präparationstechniken für die Elektronenmikroskopie zusammen. Beurteilen Sie anhand der Präparationstechniken die Aussagekraft der gewonnenen Bilder.
Beim Entwässern wird das Wasser im Präparat gegen geeignete chemische Stoffe ausgetauscht (Fixierung). Anschließend wird das Präparat mit Schwermetallverbindungen behandelt. Für die TEM-Technik wird das Präparat noch in Kunstharz und mit einem Ultramikrotom sehr dünn geschnitten. Auch wenn mit der EM eine hohe Auflösung erzielt wird, muss anhand der zahlreichen Präparationsschritte (Fixieren, Entwässern, Behandlung mit Schwermetall-Ionen, Schneiden bzw. Gefrierbruchtechnik) mit Schädigungen der Zellen und daraus resultierenden Artefakten gerechnet werden.

[zu SB S. 23: Methode]

Beschreiben Sie die Gefrierbruchtechnik mithilfe der Abb. 4.
Das gefrorene Objekt wird zuerst mit einem Messer gebrochen. An der Bruchfläche lässt man dann Wasser sublimieren. Dadurch entsteht eine unregelmäßige Oberfläche, aus der feste Strukturen herausragen. Danach wird das Objekt seitlich mit Platin bedampft und mit Kohlenstoff beschichtet.

Praktische Tipps

Die Entwicklung von der Licht- hin zur Elektronenmikroskopie stellt einen wichtigen Schritt für den Erkenntniszuwachs in den Naturwissenschaften dar. Diesen Schritt kann man modellhaft verdeutlichen, indem man den Schülerinnen und Schülern ein Körperbemalungsbild (Body Art) zeigt. Durch Heranzoomen werden immer mehr Details sichtbar, die letztlich dazu führen, dass die Schülerinnen und Schüler statt einer Pflanze oder eines Tieres die bemalte Person erkennen.



1 Body-Art-Tattoo

Das dadurch hervorgerufene Erstaunen der Schülerinnen und Schüler kann das Erstaunen der Wissenschaftler nachvollziehbar machen, als diese erstmals Details von z. B. Organellen erkannten.

Schülerexkursion

Ein Besuch einer Forschungsstätte (z. B. nahegelegene Uni) bietet sich bei ausreichender Zeit an, um den Schülerinnen und Schülern einen Einblick in die Verfahrenstechniken der Elektronenmikroskopie oder Rastertunnelmikroskopie zu ermöglichen. Hier kann außerdem verdeutlicht werden, welche teils aufwendigen Probenvorbereitungen für diese Arten der Mikroskopie notwendig sind.

Die in den Literatur- und Medienhinweisen genannten Webseiten zur Licht- und Elektronenmikroskopie bieten einige hochaufgelöste Bilder verschiedener Zellen, Gewebe und Organe. Außerdem kann die Lehrkraft zusammen mit den Schülerinnen und Schülern einen modellhaften Nachbau eines Elektronenmikroskops mit sehr einfachen Mitteln durchführen und daran das Funktionsprinzip erörtern. Eine passende Webseite der Uni Bremen ist in den Literatur- und Medienhinweisen zu finden.

Zusatzinformation

Am 18.03. 1981 wiesen die Physiker Gerd Binnig (*1947) und Heinrich Rohrer (1933 – 2013) in einem Forschungslabor in der Schweiz einen abstandsabhängigen Tunnelstrom nach. Da diese Arbeiten und Ergebnisse letztlich zur Einsatzbereitschaft eines Rastertunnelmikroskops führten, erhielten die beiden Wissenschaftler dafür 1986 den Nobelpreis für Physik. Die Verwendung eines solchen Mikroskops bringt aber auch Probleme mit sich. Die Abbildungsqualität der rastertunnelmikroskopischen Aufnahmen kann durch externe Vibrationen stark beeinträchtigt

werden. Deshalb muss großer Wert auf einen vibrationsfreien Aufbau gelegt werden. Dazu werden Schwingungsisolierungen verbaut, die diese externen Vibrationen eliminieren. Auch im Gerät selbst können einzelne Stelleinheiten für die Rasterung zu internen Vibrationen führen. Die Temperatur während einer Messung sollte in jedem Fall konstant gehalten werden. Viele der verwendeten Materialien zeigen in ihren Eigenschaften eine starke Temperaturabhängigkeit; schwankt die Temperatur, kann dies zu Messungenauigkeiten führen.

Literatur- und Medienhinweise

Fotos Body Art:

o. V.: 22 Stunning Examples of Animal Body Art. 2014
<http://www.boredpanda.com/amazing-animal-body-art/>

Bildmaterial Mikroskopie:

Nelke, S.: Einsatz im Unterricht: Wunderwelt Zelle. 2010.
<https://www.planet-schule.de/wissenspool/der-kern-des-lebens/inhalt/unterricht.html>
Bock, R., Heckmann, N., Lang, I., Ludwig, A., Schmitt, J.: Virtuelle Mikroskopie. 2017.
<http://www.mikroskopie-uds.de>
Jastrow, H.: Lehrangebot. 1998.
<https://www.uni-mainz.de/FB/Medizin/Anatomie/workshop/EM/EMAlles.html>

Modellbau Elektronenmikroskop:

o. V.: Die Funktion im Modell.
<http://www.idn.uni-bremen.de/chemiedidaktik/material/Teilchen/teilchen/stm/stm2b.html#aufg>

Wie funktioniert ein Rastertunnelmikroskop?

Bei der Rastertunnelmikroskopie misst man, im Gegensatz zur Rasterelektronenmikroskopie, keine vom Objekt reflektierten Elektronen, sondern einen Strom zwischen einem elektrisch leitenden Objekt und einer elektrisch leitenden Spitze. Dieser sogenannte „Tunnelstrom“ entsteht, wenn eine Spannung angelegt und die Objekt-oberfläche abgetastet wird. Dabei gibt es zwei verschiedene Modi der Untersuchung.

Modus 1: Konstante Höhe

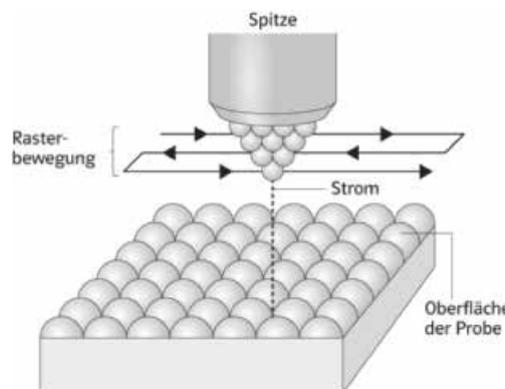
Die Höhe der Spitze über der Probe wird nicht verändert. Da die Stärke des Tunnelstroms stark vom Abstand der Nadel zum Objekt abhängt, lässt sich so für jeden Messpunkt der Abstand der Nadel zum Objekt rekonstruieren. Es entsteht ein dreidimensionales Bild des Objektes. Das ist nur für im Wesentlichen flache Proben möglich. Allerdings ermöglicht dieser Modus ein sehr schnelles Abrastern der Probenoberfläche.

Modus 2: Konstanter Tunnelstrom

Die Höhe der Spitze wird ständig so verändert, dass der Tunnelstrom konstant bleibt. Die Bewegung der Spitze in Richtung der x-Achse und ihre ständigen Auf-und-ab-Bewegungen entlang der y-Achse zeichnen damit ein Bild von der Oberflächenbeschaffenheit. Die Auflösung ist bei diesem Verfahren so hoch, dass die atomare elektronische Struktur der Oberfläche sichtbar wird.

Tunnelstrom in Nano-Ampere [nA]	Spitzenposition x-Achse in Pikometern [pm]	Spitzenposition y-Achse in Pikometern [pm]
1,5	10	40
1,5	20	50
1,5	30	60
1,5	40	70
1,5	50	80
1,5	60	70
1,5	70	60
1,5	80	50
1,5	90	40
1,5	100	40
1,5	110	50
1,5	120	60
1,5	130	70
1,5	140	80
1,5	150	70
1,5	160	60
1,5	170	50
1,5	180	40

1 Messdaten eines Rastertunnelmikroskops



2 Schematischer Ablauf der Rastertunnelmikroskopie

„Heute brauchen wir eigentlich keine Lichtmikroskope mehr, weil es wesentlich modernere Verfahren, wie z. B. die Elektronenmikroskopie oder die Rastertunnelmikroskopie, gibt.“

3 Aussage eines Mitschülers

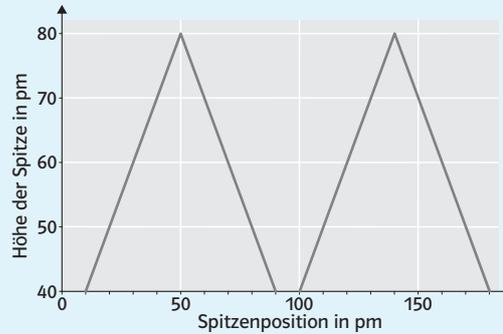
- 1 Begründen Sie, in welchem Modus die in Abb. 1 dargestellte Messung durchgeführt wurde, und erläutern Sie diese Methode mit eigenen Worten unter Zuhilfenahme von Abb. 2.
- 2 Stellen Sie die in Abb. 1 angegebenen Daten grafisch dar, indem Sie die Höhe der Spitze gegen die Spitzenposition auftragen, und interpretieren Sie das erhaltene Diagramm im Hinblick auf die Oberflächenbeschaffenheit.
- 3 Informieren Sie sich und nehmen Sie Stellung zu der in Abb. 3 zitierten Aussage eines Mitschülers.

ARBEITSBLATT

Wie funktioniert ein Rastertunnelmikroskop?

Lösungen

- 1 Wie die rechte Tabellenspalte zeigt, wird die Messung mit einem konstanten Tunnelstrom durchgeführt. Je nach Höhe des jeweils abgetasteten Messpunktes passt sich die Höhe der Spitze so an, dass der Tunnelstrom gleich bleibt.
- 2 Das Diagramm hat in etwa folgendes Aussehen:



1 Grafische Darstellung der Messdaten

Es zeigt sich, dass die Oberfläche aus kleinen, spitzenförmigen Erhebungen aufgebaut ist.

- 3 Die Aussage des Mitschülers ist so nicht richtig. Die Lichtmikroskopie ist zwar im Vergleich zur Elektronenmikroskopie ein relativ altes Verfahren, jedoch hat sie immer noch Vorteile gegenüber den moderneren Verfahren. So können mithilfe der Lichtmikroskopie Vorgänge und dynamische Prozesse an lebenden Zellen betrachtet werden, ohne dass vorher eine aufwendige Probenvorbereitung erforderlich ist. Die Elektronenmikroskopie erfordert hingegen eine intensive Probenvorbereitung (z. B. Gefrierbruchtechnik oder Entwässerung des Präparates und Austausch gegen chemische Fixationsstoffe). Mithilfe der Elektronenmikroskopie können allerdings 3-dimensionale Bilder mit höherer Auflösung von z. B. Zellen und ihren Bestandteilen angefertigt werden. Die Rastertunnelmikroskopie ermöglicht Einblicke in die Struktur von Oberflächen bis auf die atomare Ebene.

Eukaryotische Zellen

[SB S. 24/25]

So können Sie mit dem Thema arbeiten	
Einstieg/Motivation	<p>Leitfragen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wie sind eukaryotische Zellen aufgebaut? • Welche Prozesse finden in eukaryotischen Zellen statt? <p>Methodenauswahl</p> <ul style="list-style-type: none"> • Das Mikroskopieren von tierischen Zellen (z. B. Mundschleimhaut) und pflanzlichen Zellen (z. B. Zwiebel und/oder Wasserpest) ermöglicht einen ersten Überblick über die eukaryotischen Zellen und die Unterschiede der Zelltypen. • Alternativ dazu eignet sich auch ein Vergleich von mikroskopischen Abbildungen einer tierischen und einer pflanzlichen Zelle.
Erarbeitung	<ul style="list-style-type: none"> • Die Schülerinnen und Schüler benennen gleiche und verschiedene sichtbare Strukturen in den lichtmikroskopischen Abbildungen der tierischen und pflanzlichen Zellen. • Im weiteren Unterrichtsgespräch werden anhand elektronenmikroskopischer Bilder die komplexe Struktur und die verschiedenen Zellorganellen sowie wichtige Erkennungsmerkmale der Zellorganellen in EM-Bildern erarbeitet (Interpretation). • Die Schülerinnen und Schüler informieren sich im Schülerbuch S. 24/25 über die Zellorganellen in tierischen und pflanzlichen Zellen und deren Aussehen in TEM-Bildern. • Die Schülerinnen und Schüler erstellen eine tabellarische Übersicht über die Zellorganellen und deren übergeordnete Aufgaben (Aufgabe 1 im Schülerbuch S. 26).
Sicherung	Die tabellarische Übersicht über die Zellorganellen (Lösung der Aufgabe 1 im Schülerbuch S. 25) wird besprochen.
Vertiefung	Anhand von zwei Methoden kann exemplarisch die experimentelle Vorgehensweise zur Erforschung der Funktionen der Zellorganellen (s. Arbeitsblatt „Erforschung der Funktionen von Zellorganellen“, Lehrerband S. 27) beleuchtet und besprochen werden. Der Schwerpunkt liegt hier auf der Erkenntnisgewinnung und der Methodik in der Wissenschaft.

Lösungen

[zu SB S. 24/25]

- **1** Vergleichen Sie Tier- und Pflanzenzellen miteinander.
- Gemeinsamkeiten: Zellkern, ER, Golgi-Apparat, Ribosomen, Zellmembran, Cytoplasma, Mitochondrien*
- Unterschiede: Pflanzenzellen besitzen zusätzlich eine Zellwand, i. d. R. eine Vakuole und Chloroplasten im fotosynthetisch aktiven Gewebe; Tierzellen verfügen über Lysosomen. oder Knorpel oder ein Exoskelett aus Chitin.*

Praktische Tipps

Mikroskopische Präparate

Schon im Schülerbuch S. 18/19 werden Ideen für das Mikroskopieren von Zellen präsentiert. Falls bisher noch nicht mikroskopiert wurde, bietet es sich an, zwei einfache Präparate einer tierischen und einer pflanzlichen Zelle anfertigen zu lassen. Je nach Wahl der pflanzlichen Präparate sind unterschiedliche Zellorganellen (Wasserpest = Chloroplasten, rote Zwiebelhaut = Vakuole) deutlich erkennbar. Fällt die Wahl des tierischen Präparates auf die Mundschleimhaut, bietet es sich an, wie auch im Schülerbuch S. 18 beschrieben, Methylenblau-Lösung zum Anfärben zu nutzen.

Wenn das Mikroskopieren von tierischen und pflanzlichen Zellen schon im Unterricht gesehen ist, kann stattdessen auf Abbildungen mikroskopischer Präparate (s. Literatur- und Medienhinweise) zurückgegriffen werden, um das Vorwissen der Lerngruppe zu aktivieren.

Die bei tierischen und pflanzlichen Zellen unterschiedlichen Merkmale sowie deren jeweilige Funktion können an dieser Stelle im Unterrichtsgespräch herausgearbeitet bzw. erklärt werden, z.B.:

- Tierische Zellen besitzen keine zusätzliche starre, stabile Abgrenzung (Zellwand), sondern sind nur von einer Membran umgeben (sie haben eine eher runde, weiche Form). Die Pflanzen benötigen Zellwände und formstabile Gewebe, da sie kein gesondertes Skelett, wie man es bei den meisten tierischen Organismen findet, vorweisen.
- Die Vakuole nimmt in den Pflanzenzellen einen großen Raum ein, sodass der Zellkern nicht mittig gelegen ist.
- Eine Vakuole, die von innen an die Zellmembran und Zellwand drückt, verstärkt die Stabilisierung der pflanzlichen Gewebe.
- Weder Chloroplasten noch Vakuolen sind bei tierischen Zellen vorhanden.
- Chloroplasten ermöglichen die Fotosynthese der Pflanzen.

Zusatzinformation

Mikroskopie tierischer Zellen

Die Mundschleimhaut besteht aus einzelnen Zellen, die ein geschlossenes Plattenepithel bilden, ähnlich der Epidermis von Pflanzen. Prinzipiell teilen sie sich sehr schnell und können gut mithilfe eines Holzmundspatels von der Wangeninnenseite abgekratzt werden. Jedoch sind in den Präparaten immer nur einzelne Zellen vorhanden, die im Vergleich zu pflanzlichen Präparaten keinen Gesamteindruck über die Anordnung des Gewebes liefern können.

Als Alternative zur Mundschleimhaut lassen sich auch Präparate von Lebergewebe (Schweineleber) einsetzen. Hierfür kann man entweder ein Tupfpräparat anfertigen oder Zellen mithilfe einer Zuckerlösung aus dem Gewebe lösen.

Für das Tupfpräparat wird ein Stück frische Leber durchgeschnitten und die Schnittfläche auf den Objektträger getupft. Das Präparat sollte nun kurz antrocknen. Anschließend wird ein Tropfen Methylenblau-Lösung darauf gegeben und das Präparat mikroskopiert.

Für die Herstellung einer Zuckerlösung werden 100 ml Wasser in ein Becherglas mit drei Würfeln Zucker gegeben. Nun wird ein kleines Stück Leber sehr fein geschnitten und anschließend zu Brei zerquetscht. Dieser Brei wird in die Zuckerlösung gerührt. Ein Tropfen der Zuckerlösung wird auf dem Objektträger mit Methylenblau-Lösung angefärbt und das Präparat mikroskopiert.

Literatur- und Medienhinweise

Ratke, D.: Schülerversuche TESS Mikroskopie Sekundarstufe I und II. PHYWE Systeme GmbH, Leonberg.

Bildmaterial und Informationen zu Zellen:

Unterricht Biologie: (Ein-)Blicke in die Zelle: Lernen aus Bildern CD-ROM zu Unterricht Biologie 380. Friedrich Verlag 2012.

<https://www.planet-schule.de/wissenspool/der-kern-des-lebens/inhalt/unterricht.html>

Film: Nilson, N.: Wunderwelt Zelle. 15.10.2014. 14:00 min. <https://www.youtube.com/watch?v=C8m3ITmx9sQ>

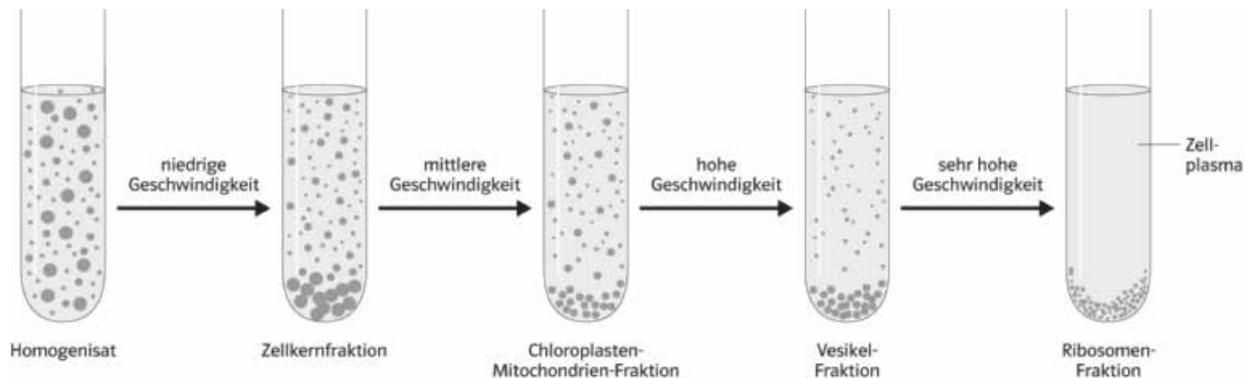
Daten auf DVD

- **Gefährdungsbeurteilung**

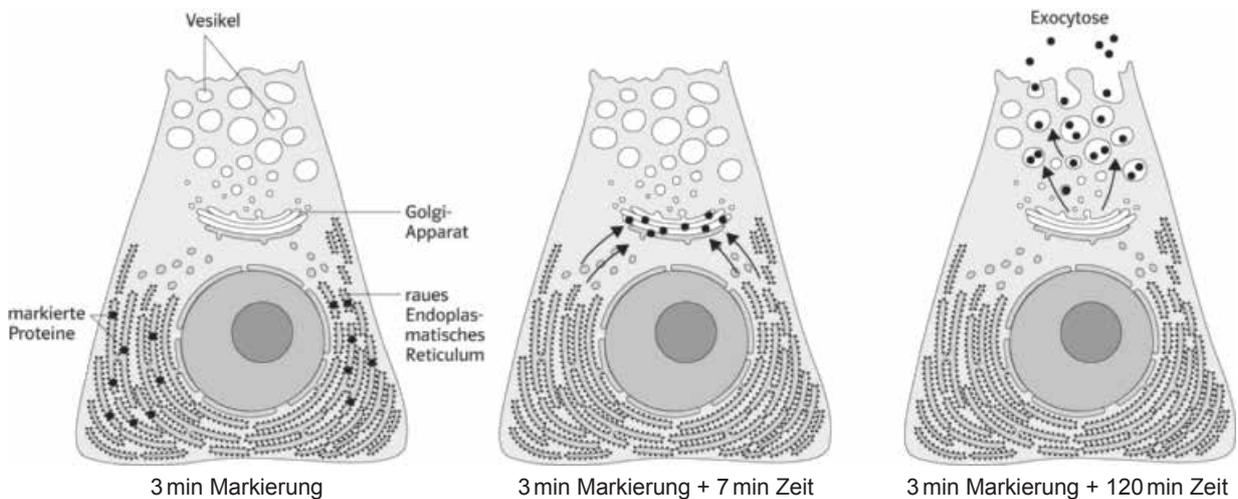
Erforschung der Funktionen von Zellorganellen

Die Entwicklung der Elektronenmikroskopie lieferte detaillierte Bilder der Zellen mit vielen komplexen Strukturen. Unklar war jedoch, welche Funktionen die Zellorganellen jeweils innerhalb der Zelle haben. Die Klärung dieser Funktionen erfolgte unter anderem über die Differenzialzentrifugation (Abb. 1). Dabei wird zunächst die Zellmembran mechanisch zerstört, wodurch ein Homogenisat entsteht. Dieses wird bei niedriger Geschwindigkeit zentrifugiert. Anschließend finden weitere Zentrifugationen der Überstände statt. Die jeweils abgesetzten Zellorganell-Fractionen werden daraufhin auf bestimmte Substanzen untersucht (Abb. 1).

Eine weitere Methode, die zur Untersuchung der Funktion von Zellorganellen eingesetzt wurde, stellt die radioaktive Markierung mittels ^3H -Aminosäuren dar (Abb. 2). Aus den hierbei eingesetzten radioaktiv markierten ^3H -Aminosäuren werden in Zellen Eiweiße synthetisiert. Für die Untersuchungen verwendete man sekretorische Zellen der Bauchspeicheldrüsen, die ständig Eiweiße nach außen abgeben. Nach einer kurzen radioaktiven Markierung mit ^3H -Aminosäuren wurden die Zellen ohne ^3H -Aminosäuren gehalten. In verschiedenen Zeitabständen wurde geprüft, wo sich die markierten Eiweiße befanden.



1 Schritte der Differenzialzentrifugation



2 Radioaktiv markierte Proteine in einer Bauchspeicheldrüsenzelle nach verschiedenen Zeitabständen

- 1 Erläutern Sie anhand von Abb. 1 das Prinzip der Differenzialzentrifugation.
- 2 Erklären und begründen Sie, welche chemischen Substanzen man in der ersten, zweiten und dritten Fraktion finden könnte.
- 3 Beschreiben Sie mithilfe von Abb. 2 die Ergebnisse der radioaktiven Proteinmarkierung. Erklären Sie die Vorgänge der Proteinentstehung und des Proteintransports innerhalb der Zelle und ordnen Sie diese den beteiligten Zellorganellen zu.

ARBEITSBLATT

Erforschung der Funktionen von Zellorganellen

Lösungen

- 1 Bei der Differenzialzentrifugation wird das Homogenisat als Gemisch frei vorliegender Zellbestandteile zunächst bei niedriger Geschwindigkeit zentrifugiert. Die großen Zellkerne setzen sich unten ab, sind somit abgetrennt von den anderen Zellorganellen und können so weiter auf ihre Funktion untersucht werden. Nach der Zentrifugation bei einer mittleren Geschwindigkeit setzen sich Mitochondrien und Chloroplasten ab, in zwei folgenden Schritten Vesikel und Ribosomen. Auch sie können jeweils nach der Trennung auf ihre Funktionen untersucht werden.
Die Trennung erfolgt nach der Größe und Masse der Zellorganellen. Je kleiner und leichter die Zellorganellen sind, desto höhere Zentrifugationsgeschwindigkeiten sind notwendig, damit sie sich im Reagenzglas absetzen.
- 2 In der Zellkernfraktion können sich beispielsweise genetisches Material bzw. Nucleinsäuren (DNA) befinden. In den Chloroplasten könnte man den grünen Blattfarbstoff Chlorophyll oder Stärke nachweisen, während die Mitochondrien Enzyme oder Stoffe enthalten, die bei der Zellatmung eine Rolle spielen. In Vesikeln könnten je nach Zelltyp bestimmte Eiweiße gefunden werden, die von der Zelle produziert und abgegeben werden.
So können aus dem Vorkommen bestimmter Substanzen Schlussfolgerungen über biochemische Synthesewege und die jeweilige Funktion der Zellorganellen gezogen werden.
- 3 Zuerst finden sich die Aminosäuren als Eiweiße im rauen Endoplasmatischen Reticulum, wo Eiweiße offensichtlich produziert werden. Anschließend werden die synthetisierten Proteine zum Golgi-Apparat transportiert. Zu einem späteren Zeitpunkt erscheinen markierte Proteine in den Vesikeln. Somit erfolgt der weitere Transport der sekretorischen Proteine über Vesikel, die sich vom Golgi-Apparat absondern und sich in Richtung Zellmembran bewegen.

Zusatzinformation

Georg Emil Palade und die Pulsmarkierungsmethode

Georg Emil Palade (1912 — 2008) war ein US-amerikanischer Mediziner und Zellbiologe, der dank seiner Arbeiten als Mitbegründer der modernen Zellbiologie gilt. Er führte elektronenmikroskopische Untersuchungen mit der Pulsmarkierungsmethode durch, wobei er radioaktiv markiertes Leucin (Aminosäure) verwendete. So konnte er wesentliche Entdeckungen zur Struktur und Funktion der Zellorganellen wie den Mitochondrien, Chloroplasten, dem rauen Endoplasmatischen Reticulum, dem Golgi-Apparat sowie den Ribosomen machen. Im Jahre 1974 erhielt er für diese Leistungen zusammen mit Albert Claude (1899 — 1983) und Christian de Duve (1917 — 2013) den Nobelpreis für Medizin.

Organellen in Tier- und Pflanzenzellen

Mitochondrien und Chloroplasten

[SB S. 26]

[SB S. 27]

So können Sie mit dem Thema arbeiten	
Einstieg/Motivation	<p>Leitfragen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Warum sind Zellen in Kompartimente aufgeteilt? • Welche Stoffwechselschritte finden in den Zellorganellen statt? <p>Methodenauswahl</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zum Einstieg können die elektronenmikroskopischen Bilder verschiedener eukaryotischer Zellen gezeigt werden (s. Literatur- und Medienhinweise, Lehrband S. 30). Anhand dieser Aufnahmen können der komplexe Aufbau der Zellen und die verschiedenen Zellorganellen wiederholt werden. • Durch einen Vergleich der Zelle mit einer Stadt kann erarbeitet werden, welche Funktionen eine Zelle erfüllen muss und welche Parallelen sich zu den Teilen einer Stadt und den dort ablaufenden Prozessen finden lassen. Dazu werden die Bilder „Teile einer Stadt“ (s. Praktische Tipps, Lehrband S. 30) präsentiert.
Erarbeitung	<ul style="list-style-type: none"> • Die Schülerinnen und Schüler nennen zuerst die ihnen bekannten Zellorganellen, die auf den präsentierten Bildern zu erkennen sind. Anhand der Abbildungen der Teile einer Stadt benennen sie wichtige Funktionen der Gebäude und übertragen diese auf die Zellorganellen. • Die Schülerinnen und Schüler lesen die Schülerbuchseiten 26/27. • Im Unterrichtsgespräch werden die genauen Funktionen der Zellorganellen sowie das Prinzip der Kompartimentierung und das Prinzip der Oberflächenvergrößerung als strukturelle Anpassung der Chloroplasten und Mitochondrien zusammengefasst.
Sicherung	Erstellung einer tabellarischen Übersicht der Zellorganellen und deren Funktion mit strukturellen Anpassungen wie der Oberflächenvergrößerung bei Mitochondrien und Chloroplasten.
Vertiefung	Ein konkreter Vorgang in eukaryotischen Zellen kann am Beispiel des Abbaus von defekten Zellorganellen durch die Lysosomen mit dem Arbeitsblatt „Das Reinigungssystem der Zelle“ (s. Lehrband S. 31) beleuchtet werden.

Lösungen

[zu SB S. 26]

- **1** Erläutern Sie den Begriff „Organell“.
Ein Organell ist an die Erfüllung einer bestimmten Aufgabe in der Zelle angepasst, ähnlich wie ein Organ in einem Organismus.
- **2** Tierische Zellen besitzen keine Zellwand.
Recherchieren Sie die Ursachen der Stabilität bei Tierzellen.
Tierische Zellen besitzen keine Zellwand. Vielzellige Tiere erhalten Stabilität durch ein Bindegewebe, ein Endoskelett aus Knochen oder Knorpel oder ein Exoskelett aus Chitin.

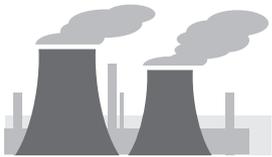
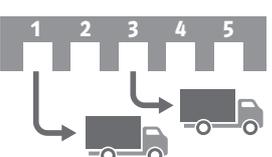
[zu SB S. 27]

- **1** Vergleichen Sie Chloroplasten und Mitochondrien in einer Tabelle.
Gemeinsamkeiten: von zwei Membranen begrenzt, eigenes genetisches Material in Form ringförmiger DNA, eigene Ribosomen, starke Faltungen der inneren Membran
Unterschiede: Mitochondrien: Kraftwerke der Zelle; Orte der Zellatmung; kleiner und i. d. R. häufiger in der Zelle als Chloroplasten
Chloroplasten: Orte der Fotosynthese; größer als Mitochondrien; in Algen z.T. nur ein Chloroplast pro Zelle

Praktische Tipps

Viele der hier besprochenen Stoffwechselschritte der Mitochondrien und Chloroplasten sind auf molekularer Ebene nicht bekannt und werden erst im späteren Kapitel „Stoffwechsel“ auf Kursstufenniveau behandelt. Man kann hier prinzipiell nur auf die Vorkenntnisse der Klassenstufen 7/8 zurückgreifen, in denen Zellatmung und

Fotosynthese als Wortgleichungen beschrieben wurden. Im Unterrichtsgespräch muss deshalb verdeutlicht werden, dass es sich bei Zellatmung und Fotosynthese um viele hintereinandergeschaltete biochemische Reaktionen mit verschiedenen Ausgangsstoffen und Produkten handelt.

Teile einer Stadt	Funktionen	Zellorganell mit Funktionen <i>Besonderheiten</i>
	Kraftwerk: Bereitstellen von elektrischem Strom für Haushalte	Mitochondrien: Ort der Zellatmung und somit Energiebereitstellung für die Zelle <i>Oberflächenvergrößerung der inneren Membran, damit die Reaktionen der Energiebereitstellung vielfach ablaufen können</i>
	Stadtmauer: Abgrenzung, regelt die Zugänge in die Stadt	Zellmembran: Abgrenzung der Zelle, Transport bestimmter Stoffe in die Zelle
	Rathaus: bestimmt Regeln, steuert Abläufe, Verwaltung, Lagerung von Informationen	Zellkern steuert alle Zellvorgänge, enthält die genetische Information
	Fabrik: Herstellung von Gütern	raues ER: Ort der Proteinbiosynthese <i>Große Oberfläche für viele Ribosomen, intensive Proteinbiosynthese</i>
	Abfallentsorgungsunternehmen: Müllentsorgung im Mülltransporter, Recycling	Lysosomen: Abbau von zelleigenem Material, Verdauungssäfte liegen geschützt in Vesikeln vor
	Logistikunternehmen: Verpackung in Lkw und Abtransport	Golgi-Apparat: Umbau, Verpackung und Transport von Proteinen, Abschneuerung von Vesikeln zum Stofftransport innerhalb der Zelle

1 Gemeinsamkeiten zwischen den Teilen einer Stadt und den Zellorganellen

Literatur- und Medienhinweise

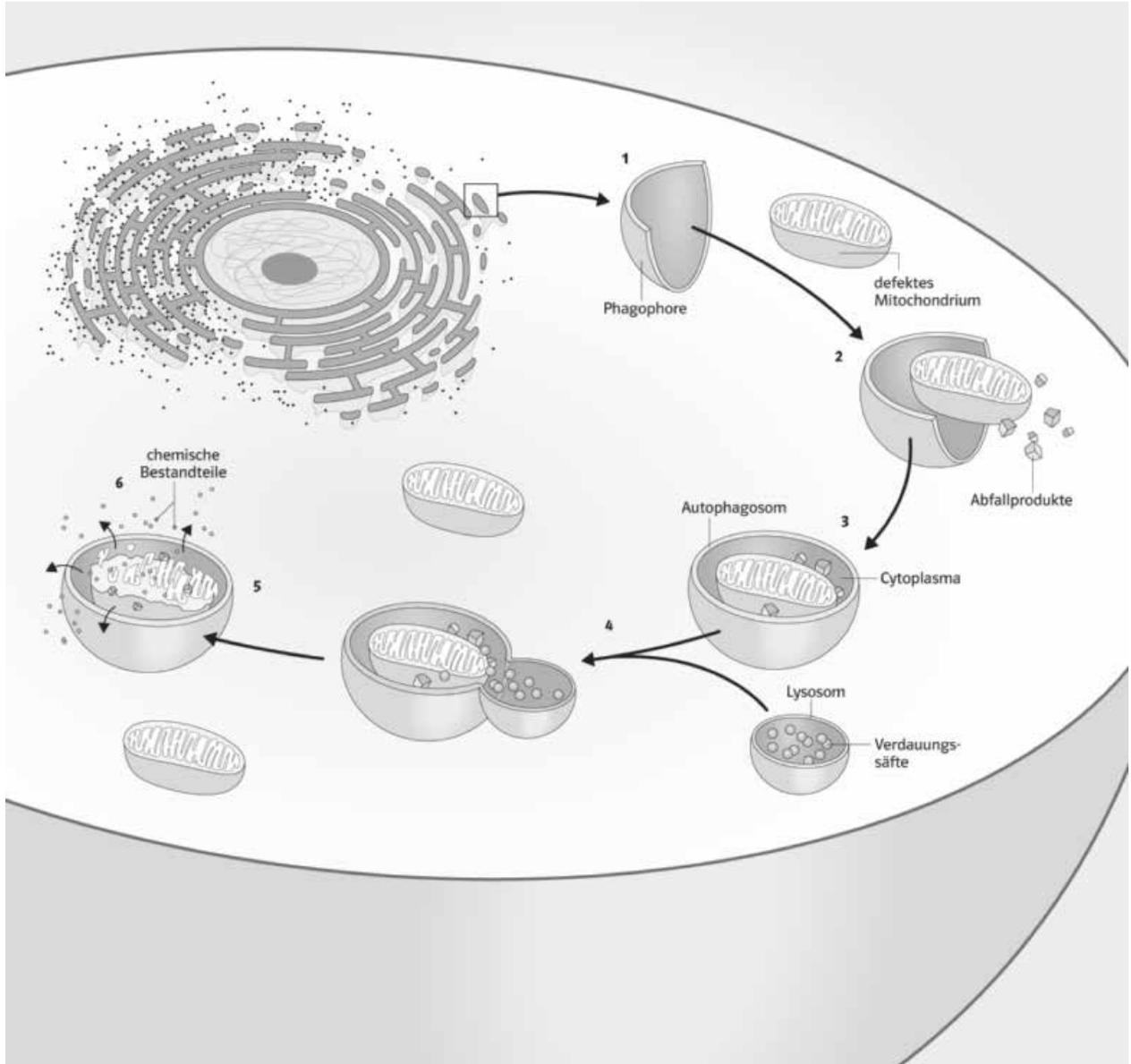
Bildmaterial:

Unterricht Biologie: (Ein-)Blicke in die Zelle: Lernen aus Bildern. CD-ROM zu Unterricht Biologie 380. Friedrich Verlag 2012.

Unterricht Biologie: Die Zelle. Heft 380. Friedrich Verlag 2012.

Das Reinigungssystem der Zelle

Innerhalb einer Zelle laufen die unterschiedlichsten Prozesse in einer Vielzahl voneinander abgegrenzter Räume ab, diese werden Organellen genannt. Dabei fällt auch immer wieder „Abfall“ in Form von zelleigenem (z. B. defekte Mitochondrien) und zellfremdem Material an, den es zu entsorgen gilt. Damit die Zelle trotzdem weiterhin alle ihre Funktionen erfüllen kann, werden die Abfallstoffe von einem bläschenförmigen Zellorganell namens Autophagosom in ihre chemischen Bestandteile zerlegt. Diese chemischen Bestandteile werden anschließend entweder aus der Zelle hinausbefördert oder stehen in der Zelle zum Wiederaufbau neuer Komponenten zur Verfügung. Dieser Vorgang wird als Autophagie („Selbstfressen“) bezeichnet.



1 Autophagie

- 1 Beschreiben Sie mithilfe von Abb. 1 die Schritte 1–6 der Autophagie.
- 2 Stellen Sie eine Hypothese auf, unter welchen Bedingungen Autophagie vermehrt stattfindet.
- 3 Erklären Sie am Beispiel der Autophagie die Bedeutung der Kompartimente für die Zelle.
- 4 Beurteilen Sie, ob der Vorgang der Autophagie auch Nachteile für die Zelle mit sich bringt.

ARBEITSBLATT

Das Reinigungssystem der Zelle

Lösungen

- 1 1 Vom Endoplasmatischen Reticulum löst sich ein Teil der Membran. Dieses Gebilde wird Phagophore genannt.
 - 2 Die Phagophore bildet sich weiter aus und umschließt nach und nach die zu entsorgenden Abfallprodukte, die aus Molekülen oder auch defekten Zellorganellen (z. B. Mitochondrien) bestehen können.
 - 3 Das Autophagosom hat nun die zu entsorgenden Abfallprodukte und einen Teil des Cytoplasmas vollständig umschlossen.
 - 4 Anschließend verschmilzt es mit einem Lysosom, wobei die Verdauungssäfte an die Abfallprodukte gelangen.
 - 5 Nach und nach zerlegen die Verdauungssäfte die Abfallprodukte in ihre chemischen Bestandteile.
 - 6 Die chemischen Bestandteile werden ins Cytoplasma freigesetzt.
- 2 Mögliche Hypothesen, unter welchen Bedingungen vermehrt Autophagie auftreten könnte:
 - Befall der Zelle mit Krankheitserregern
 - während eines Mangels an Nährstoffen
 - bei vielen falsch zusammengebauten/funktionierenden Zellkomponenten
 - 3 Die Zelle ist in verschiedene Kompartimente gegliedert, sodass auf kleinem Raum unterschiedliche Stoffwechselprozesse stattfinden können. Beim Beispiel der Autophagie wird ein Teil der Membran vom Endoplasmatischen Reticulum abgeschnürt, sodass z. B. defekte Zellorganellen umschlossen und abgebaut werden können. Ziel der Autophagie ist der Abbau von Strukturen mithilfe von Verdauungssäften. Würden die Verdauungssäfte jedoch ins Cytoplasma gelangen, könnten weitere Abbauprozesse in Gang gesetzt werden, die für die Zelle schädlich sind und dadurch den Zelltod begünstigen.
 - 4 Nachteile können sich für die Zelle ergeben, wenn der Vorgang der Autophagie aufgrund einer Fehlfunktion unkontrolliert stattfindet. Daraus resultierend könnten zu viele Bestandteile entsorgt werden, wodurch die Zelle ihre Funktionsfähigkeit verlieren (und ggf. absterben) würde.

Zusatzinformation

Autophagie

Yoshinori Ohsumi (*1940) wurde für seine Erforschung der Autophagie im Jahr 2016 mit dem Nobelpreis für Physiologie oder Medizin ausgezeichnet. Schon 1993 veröffentlichte er hierzu eine Arbeit, in der er 15 Gene identifizieren konnte, die die Autophagie-Vorgänge entscheidend steuern. Besonders wichtig ist Autophagie für Neuronen, da diese nicht ersetzt werden können. Sie haben kaum eine andere Möglichkeit, um alle innerhalb der Zelle anfallenden Abfallprodukte zu entsorgen.

Prinzipiell sind Autophagosomen ständig aktiv und sorgen dafür, dass der Zellinhalt nach und nach immer wieder erneuert wird. Dieser Prozess gewährleistet, dass die Menge an defektem Zellmaterial, das zu Funktionsstörungen innerhalb der Zelle führen kann, auf einem niedrigen Level gehalten wird. Ein defektes Mitochondrium kann beispielsweise dafür sorgen, dass Signalstoffe in das Cytoplasma abgegeben werden, die die Apoptose initiieren. Ein solches Ereignis hätte in Neuronen fatale Folgen für den gesamten Organismus. Daher hoffen Wissenschaftler aus den Erkenntnissen über den zellulären Prozess der Autophagie Therapieansätze zu entwickeln, die fehlerhafte Abläufe positiv beenden. Ein anderes Beispiel hierfür ist die altersbedingte Anhäufung von fehlerhaften Proteinen bei unvollständiger Autophagie, wodurch Krankheiten wie Alzheimer begünstigt werden. Mit zunehmendem Alter wird nach und nach weniger Autophagie in den Zellen beobachtet. Forscher sind deshalb auf der Suche nach stimulierenden Substanzen, die dafür sorgen, dass dieser Prozess im Alter nicht zurückgeht. Ein solch stimulierend wirkender Stoff ist das im Rotwein vorkommende Resveratrol.

Im Fall von Krebs ist wiederum eine verminderte Autophagie erwünscht, da so die Sterblichkeit der Krebszellen erhöht wird. Je nach Zustand der Zelle muss also differenziert werden, ob eine vermehrte oder verminderte Autophagie von Vorteil ist.

Methode: Vom Bild zum Schema

[SB S. 28]

Material: Tierzellen — vom Bild zum Schema

[SB S. 29]

So können Sie mit dem Thema arbeiten	
Einstieg/Motivation	<p>Leitfragen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wie lassen sich in elektronenmikroskopischen Aufnahmen Strukturen eindeutig identifizieren? • Welche strukturellen Besonderheiten zeigen Zellen in Anpassung an ihre Funktion? <p>Methodenauswahl</p> <p>Zur Problematisierung kann ein Ausschnitt aus einer Zelle bzw. der Ausschnitt aus zwei Zellen gezeigt werden (s. Praktische Tipps, Lehrband S. 34), der vor Augen führt, dass elektronenmikroskopische Aufnahmen einer sicheren Interpretation und Identifikation von bekannten Strukturen bedürfen.</p>
Erarbeitung	<ul style="list-style-type: none"> • Mithilfe der Methodenseite im Schülerbuch S. 28 wird zunächst in die Interpretation von EM-Bildern eingeführt und die Erstellung von schematischen Zeichnungen besprochen. • Die Schülerinnen und Schüler bearbeiten die Aufgabe 1 im Schülerbuch S. 28.
Sicherung	Die Aufgabe 1 im Schülerbuch S. 28 wird besprochen.
Vertiefung	<ul style="list-style-type: none"> • Als weitere Übung kann die Materialseite im Schülerbuch S. 29 bearbeitet werden. • Vertiefend kann das Arbeitsblatt „Struktur und Funktion von Zellen und ihren Zellorganellen“ (s. Lehrband S. 35), das zusätzlich Struktur-Funktionszusammenhänge bei spezialisierten Zellen behandelt, bearbeitet werden.

Lösungen

[zu SB S. 28]

- 1** Beschreiben Sie auffällige Unterschiede zwischen den im TEM-Bild dargestellten Organellen (z. B. Vakuolen, Mitochondrien, Zellkern), anhand derer Sie auf anderen TEM-Bildern diese Organellen eindeutig identifizieren könnten.
- Vakuolen: größere weiße, rundliche Bereiche*
Chloroplasten: kleine, ovale Bereiche; aufgrund zahlreicher Thylakoide sehr dunkel
Mitochondrien: kleine, ovale Bereiche; etwas kleiner und heller als die Chloroplasten; gefaltete innere Membran evtl. zu erkennen
Zellkern: von Membranen des ER umgebener Bereich, dessen Inneres sich in der Hell-Dunkel-Färbung vom Zellplasma unterscheidet; im Inneren oft ein dunklerer, rundlicher Bereich (Nucleolus)

[zu SB S. 29]

- 1** Nennen Sie die im EM-Bild (Abb. 1) erkennbaren Zellstrukturen und erklären Sie, an welchen Merkmalen Sie diese Strukturen identifizieren konnten.
- Zellkern: von Membranen des ER umgebener Bereich, dessen Inneres sich in der Hell-Dunkel-Färbung vom Zellplasma unterscheidet; im Inneren oft ein dunklerer, rundlicher Bereich (Nucleolus)*
Mitochondrien: kleine, ovale Bereiche; kleiner und heller als die Nucleoli; gefaltete innere Membran ist zu erkennen
glattes ER: lange, fadenartige Strukturen, die große Bereiche des Zellplasmas durchziehen
- 2** Zeichnen Sie ein Schema von zwei der in Abb. 1 abgebildeten Leberzellen, die um einen Gallengang herum angeordnet sind und beschriften Sie Ihre Zeichnung.
individuelle Lösung
- 3** Nennen Sie für die in Ihrem Schema eingezeichneten Organellen die jeweilige Funktion in Leberzellen.
- Zellkern: Steuerung der Zelle*
Mitochondrien: Bereitstellung von Energie
glattes ER: Abbau von Giftstoffen, Synthese von Membranlipiden
raues ER und Ribosomen: Proteinbiosynthese
Zellplasma: u. a. Aufbau und Abbau von Glykogen/Speicherung von Glykogen

Lösungen

- 4 Stellen Sie eine Hypothese auf, inwiefern Hunger oder ein erhöhte Giftzufuhr die Feinstruktur einer Leberzelle verändern könnte.

Eine erhöhte Giftzufuhr kann zu einer Vergrößerung des glatten ERs in der Zelle führen, weil dort Giftstoffe abgebaut werden. Hunger führt zum Abbau des Kohlenhydratspeichers Glykogen im Zellplasma.

Praktische Tipps

Als Einstieg können unterschiedliche Ausschnitte von TEM-Bildern von Zellen gezeigt werden. Zunächst wird ein TEM-Bild einer Leberzelle präsentiert. Anhand der bereits behandelten Erkennungsmerkmale der Zellorganellen sollen sich die Schülerinnen und Schüler einen Überblick verschaffen und beispielsweise das große Zellorganell als Zellkern begründet erkennen.

Im Anschluss kann ein kleiner Ausschnitt eines TEM-Bildes einer Pflanzenzelle gezeigt werden, das auffällig weiße Flecken (Vakuolen) zeigt. Es kann diskutiert werden, ob es sich um einen Präparationsfehler handelt oder ob es Zellorga-

nellen gibt, die ein solches Aussehen aufweisen können. Hierbei kann erarbeitet werden, dass wässrige Strukturen, wie die Vakuolen, viel Licht durchlassen, während dichte Substanz, wie z. B. Membranen oder Ribosomen, wenig Licht durchlassen und deshalb dunkel erscheinen.

Durch eine Vergrößerung des Bildausschnitts (geringere Vergrößerung) zeigt sich, dass es sich um eine gut präparierte Zelle handelt, die alle bekannten Strukturen aufweist und mehrere Vakuolen enthält. Außerdem zeigt sich der Nucleolus als Struktur mit hoher Dichte als dunkler Fleck.

Literatur- und Medienhinweise

Online Bildmaterial (EM-Bilder):

Jastrow, H.: Elektronenmikroskopischer Atlas von Zellen, Geweben und Organen im Internet: Lehrangebot. 1998. <http://www.drjastrow.de/WAI/EM/EMAlles.html>

Struktur und Funktion von Zellen und ihren Zellorganellen

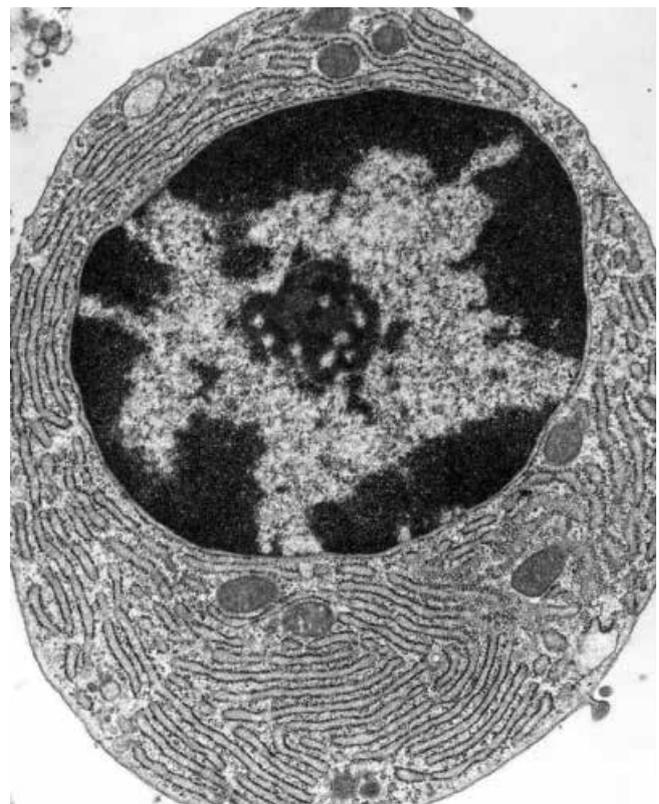
Die Interpretation elektronenmikroskopischer Bilder erfordert Übung, da die Strukturen nicht immer gezielt präpariert werden können. Zudem können verschiedene Zellen aufgrund der Anpassung an ihre jeweilige Funktion in ihrem Aussehen stark voneinander abweichen.

Abb. 1 zeigt ein elektronenmikroskopisches Bild von Zellen der Dünndarmwand. Diese Zellen sind fest miteinander verbunden. Im Dünndarm erfolgt die geregelte Resorption von Nährstoffbausteinen, Vitaminen und Mineralstoffen aus dem Darmlumen durch die Zellmembranen der Darmwandzellen ins Blut.

In Abb. 2 ist eine elektronenmikroskopische Aufnahme einer Plasmazelle gezeigt. Die Aufgabe von Plasmazellen ist es, in großen Mengen Antikörper gegen in den Körper eingedrungene Keime zu produzieren. Antikörper bestehen aus Proteinen.



1 Darmwandzellen



2 Plasmazelle

- 1 Beschriften Sie in Abb. 1 und 2 jeweils die Ihnen bekannten Zellorganellen.
- 2 Nennen Sie in einer Tabelle stichwortartig die jeweiligen Funktionen der Zellorganellen.
- 3 Erläutern Sie strukturelle Besonderheiten der Darmwandzellen und nennen Sie das biologische Prinzip, das in den Darmwandzellen zum Tragen kommt.
- 4 Erläutern Sie, bei welchen Zellorganellen man das gleiche biologische Prinzip wiederfindet wie bei den Darmwandzellen.
- 5 Erläutern und begründen Sie, welche Zellorganellen in Abb. 2 besonders stark ausgeprägt sind.

ARBEITSBLATT

Struktur und Funktion von Zellen und ihren Zellorganellen

Lösungen

- 1 In Abb. 1: Mitochondrien (anhand der Größe und der gefalteten inneren Membran erkennbar), Ribosomen (kleine, sehr dunkle Strukturen), und Vesikel (kleine membranumschlossene Organellen) Zellmembranen der aneinandergrenzenden Zellen. In Abb. 2: Zellkern (groß, dunkles Chromatin), raues ER (viele längliche Strukturen in der ganzen Zelle), Ribosomen (dunkle Punkte am rauen ER), Mitochondrien. Wichtig: Man kann die Dictyosomen in vielen Zellen nicht eindeutig erkennen.

2

Zellorganell	Funktionen
1. Zellkern	• enthält die DNA, steuert alle zellulären Vorgänge
2. Mitochondrien	• Ort der Zellatmung, durch die Energie für die Zelle bereitgestellt wird
3. raues ER	• Ort der Proteinbiosynthese, der Verpackung und des Umbaus der Proteine
4. Vesikel	• Speicherung von Stoffen und Transport zur Zellmembran oder in die Zelle

- 3 Die Darmzelle zeigt eine gefaltete Zellmembran (Fachbegriff: Mikrovilli), wodurch die Oberfläche dieser Membran stark vergrößert wird. Dies hat die Funktion, dass über eine vergrößerte Membranfläche viel mehr der Nährstoffe, Vitamine und Mineralstoffe in die Darmzelle transportiert werden können.
- 4 Das Prinzip der Oberflächenvergrößerung findet sich in den Mitochondrien, wo es zu einer starken Faltung der inneren Membran kommt, wodurch Reaktionen an der Membran vielfach gleichzeitig ablaufen können. Die Chloroplasten zeigen ausgeprägte Membranstapel (Grana- und Stromathylakoide), die den zur Fotosynthese notwendigen Blattfarbstoff Chlorophyll enthalten und eine große Reaktionsoberfläche für die Fotosynthese bieten.
- 5 In der Plasmazelle findet sich ein stark ausgeprägtes ER. In dieser Zelle findet eine intensive Proteinbiosynthese zur Bildung der Antikörper statt.

Zelldifferenzierung

[SB S. 30/31]

So können Sie mit dem Thema arbeiten	
Einstieg/Motivation	<p>Leitfrage Inwiefern können mithilfe von Zelldifferenzierungsprozessen Alternativen für den wachsenden Fleischkonsum realisiert werden?</p> <p>Methodenauswahl Den Schülerinnen und Schülern kann ein Cartoon zum wachsenden Fleischkonsum gezeigt werden, um auf die Problematik aufmerksam zu machen (s. Praktische Tipps, Lehrerband S. 38). Danach können Ideen und Vermutungen der Lerngruppe gesammelt und dabei der Bezug zum Alltag hergestellt werden.</p>
Erarbeitung	In einem ersten Schritt wird ein grundlegendes Verständnis für die aktuelle wissenschaftliche Forschung geschaffen, indem das Prinzip der Zelldifferenzierung anhand des Schülerbuchs S. 30/31 erarbeitet wird. Dafür lesen die Schülerinnen und Schüler den Text und definieren die kursiv markierten Fachbegriffe schriftlich.
Sicherung	Die kursiv markierten Fachbegriffe werden besprochen und eine kurze Definition dazu z. B. in Form eines Tafelbildes notiert.
Vertiefung	<ul style="list-style-type: none"> • Auf Basis der neu gewonnenen Erkenntnisse werden die eingangs formulierten Ideen und Vermutungen vertiefend betrachtet, indem die Schülerinnen und Schüler das Arbeitsblatt „Steaks aus der Petrischale“ (s. Lehrerband S. 39) bearbeiten. • Zusätzlich werden weitere praxistaugliche Nahrungsquellen, wie z. B. „Insekten als Fleisch-Alternative“ (s. Zusatzinformation, Lehrerband S. 40) präsentiert und diskutiert.

Lösungen

[zu SB S. 30/31]

- **1** Benennen Sie die in Abb. 3 dargestellten Gewebetypen.
Ganz außen befindet sich das Abschlussgewebe (Epidermis) des Kürbisstiels. Eingebettet im Grund- und Stützgewebe (Parenchym) befindet sich das Leitgewebe (Leitbündel) für den Stofftransport.
- **2** Erläutern Sie die unterschiedliche Zusammensetzung einer jungen und einer ausdifferenzierten Blattzelle (Abb. 4).
In jungen Pflanzenzellen nehmen v. a. der Zellkern und das Zellplasma einen großen Raum ein, weil sich die Zelle noch in einem Wachstumsprozess befindet, in dem das genetische Material sehr aktiv ist. Es sind auch relativ viele Mitochondrien vorhanden, die Energie für Wachstumsprozesse bereitstellen. In ausdifferenzierten Blattzellen verleiht meist eine sehr große Vakuole der Zelle Festigkeit und dient als Speicherort von Stoffen. Hingegen sind nun weniger Mitochondrien vorhanden, weil für das Zellwachstum keine Energie mehr benötigt wird. Auch das Volumen des Zellkerns und des ER sind geringer, weil die Wachstumsphase mit hoher Stoffwechselaktivität beendet ist. Die Zelle verfügt nun über mehr Chloroplasten, um eine maximale Fotosyntheseleistung im Blatt zu erzielen.

Praktische Tipps

Wachsender Fleischkonsum und begrenzte Ressourcen

Für den Einstieg kann ein Cartoon eingesetzt werden, der ein Bewusstsein für die Problematik des steigenden Fleischkonsums schafft. Aufgrund des wachsenden globalen Wohlstands steigt auch der Fleischkonsum, die vorhandenen Ressourcen sind aber begrenzt. Die Ideen und Vermutungen der Lerngruppe bezüglich dieser Problematik können z. B. in Form einer Concept-Map gesammelt werden. Gegebenenfalls besitzen einzelne Schülerinnen und Schüler schon detailliertere Kenntnisse aus den Medien, die für den Einstieg genutzt werden können. Außerdem bietet es sich an, einen Bezug zur Lebenswirklichkeit der Schülerinnen und Schüler herzustellen, indem ihr persönlicher Umgang mit Fleisch thematisiert wird.



1 Probleme des wachsenden Fleischkonsums

Zusatzinformation

Steaks aus der Petrischale

Aktuell werden große Teile der eisfreien Flächen der Erde entweder als Weideland oder für den Anbau von Viehfutter genutzt. Im Labor hergestelltes Fleisch bietet daher langfristig die Möglichkeit, diese Flächen wieder anderweitig zu nutzen. Auch Transportwege könnten sich aufgrund eines regionalen Netzwerkes an nahegelegene Produktionsstätten reduzieren.

Im Gegensatz dazu stehen die enormen Kosten, die für die Herstellung von Fleisch im Labor bisher notwendig sind: Die Produktion eines halben Kilos Fleisch kostet bislang etwa 50 000 US-Dollar. Außerdem lehnen die meisten Konsumenten künstlich hergestelltes Fleisch ab. Eine umfangreiche Aufklärungsarbeit ist bei diesem Thema deshalb wichtig.

Literatur- und Medienhinweise

Jones, N.: A taste of things to come? In: Nature, 2010/468, S. 752 – 753. <http://www.nature.com/news/2010/101208/pdf/468752a.pdf>

Bartholet, J.: Steak aus der Retorte? In: Spektrum, 2012/2. www.spektrum.de/artikel/1139699

Amrhein, C.: Speisen wie im Dschungelcamp. In: bild der wissenschaft, 2016/5, S. 30 – 37.

Cartoon:

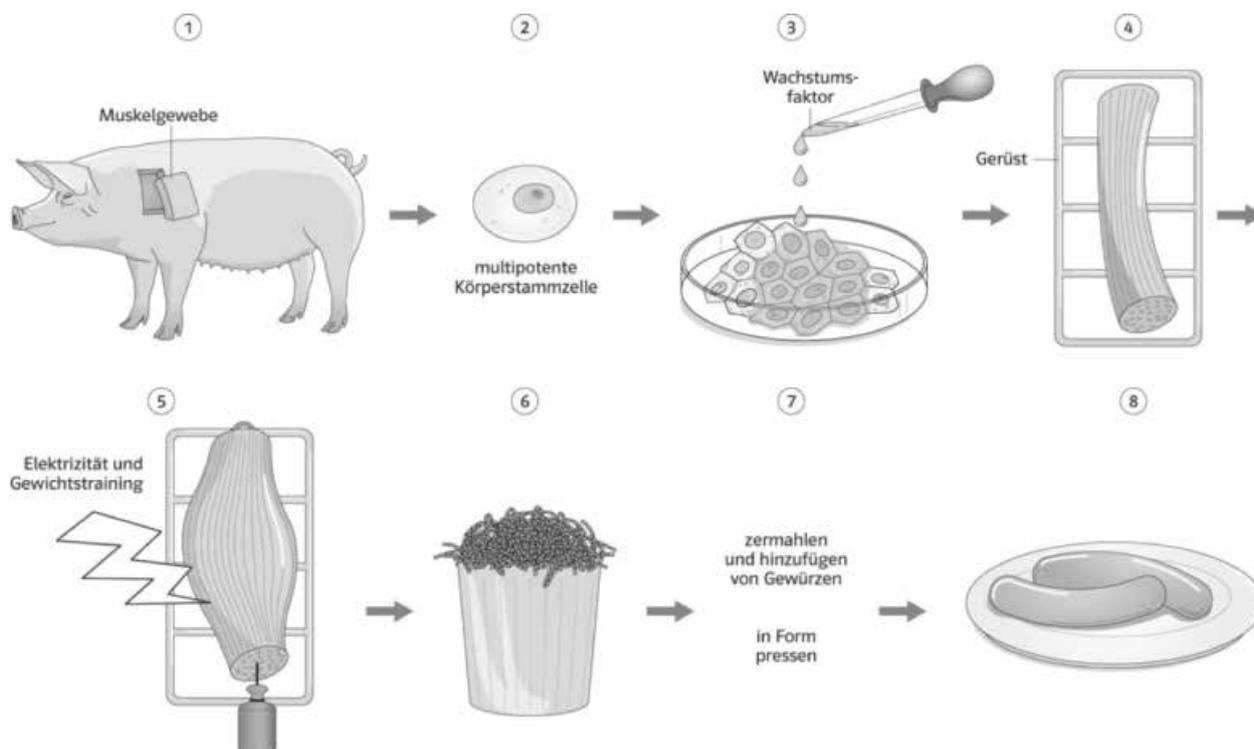
<http://www.nelcartoons.de/tagein-tagaus/fleisch-gruppentherapie.612>

Steaks aus der Petrischale

Viele Menschen essen gerne Fleisch und konsumieren regelmäßig Fleischprodukte. Die immer weiter wachsende Weltbevölkerung und der steigende Wohlstand einzelner Bevölkerungsgruppen führen zu einer vermehrten Nachfrage nach Fleisch. Studien haben ergeben, dass der Fleischkonsum pro Einwohner und Jahr in Indien lediglich 3 kg beträgt. In China hingegen konsumiert jeder Einwohner im Durchschnitt 60 kg Fleisch im Jahr, in Deutschland sogar 87 kg. Zu den Spitzenreitern gehören die USA mit einem Pro-Kopf-Verbrauch von 126 kg Fleisch im Jahr. Die Tendenz ist steigend, wodurch mehr Ressourcen, wie Weideflächen, benötigt werden. Die Folge sind Umweltschäden, wie abgeholzte Regenwälder, ein zunehmender Ausstoß an Treibhausgasen und Gülle im Grundwasser.

Schon 1930 schrieb Winston Churchill (ehem. britischer Premierminister, 1874 – 1965) in einem Buch: „In 50 Jahren werden wir der Unsinnigkeit entkommen, ein ganzes Hühnchen zu züchten, nur um eine Brust oder einen Flügel zu essen, indem wir diese Teile separat in einem geeigneten Medium heranzüchten.“ Laut einer Studie der Universität Oxford benötigt die Produktion von Kunstfleisch 96 % weniger Wasser und 35–60 % weniger Energie im Vergleich zu echtem Fleisch. Zusätzlich werden bis zu 95 % weniger Treibhausgase freigesetzt.

Wissenschaftler auf der ganzen Welt arbeiten daran, den steigenden Bedarf an Fleisch zu decken, ohne dabei weiter dem Klima zu schaden. Sie versuchen daher, Fleisch außerhalb des Organismus (in vitro) im Labor herzustellen.



1 Fleisch aus dem Labor

- 1 Benennen Sie mithilfe des Textes die Herausforderungen, die mit dem steigenden Fleischkonsum verbunden sind.
- 2 Beschreiben Sie anhand von Abb. 1 das Vorgehen zur Herstellung einer Wurst aus In-vitro-Fleisch.
- 3 Stellen Sie eine Hypothese auf, warum für die Herstellung von In-vitro-Fleisch multipotente Körperstammzellen und keine embryonalen Stammzellen verwendet werden.
- 4 Erörtern Sie, inwiefern sich In-vitro-Fleisch als alternative Fleischquelle durchsetzen kann, und überlegen Sie sich einen weiteren alternativen Lösungsansatz, dem steigenden Fleischkonsum gerecht zu werden.

ARBEITSBLATT

Steaks aus der Petrischale

Lösungen

- 1
 - Je mehr Tiere, desto mehr Nutzfläche muss bereitgestellt werden, z.B. durch Abholzung der Regenwälder.
 - Je mehr Tiere, desto mehr Gülle, die in das Grundwasser gelangen kann.
 - Je mehr Tiere, desto mehr Ressourcen (z.B. Wasser), die benötigt werden.
 - Je mehr Tiere, desto größer der Ausstoß von Treibhausgasen.

- 2 Dem Schwein wird ein Stück Muskelgewebe entnommen. Aus diesem werden multipotente Körperstammzellen gewonnen. Die Zellen werden in ein Medium überführt und mit Wachstumsfaktoren angereichert. Anschließend werden die Zellen auf einem Gerüst angeordnet, auf dem sich dann Muskelfasern ausbilden können. Die entstandenen Muskelfasern werden mithilfe von Elektrizität und Gewichten mechanisch gereizt. Dabei wachsen die Zellen. Die so hergestellten Muskelfasern werden wie richtige Fleischstückchen zerkleinert, mit Gewürzen verfeinert und zu Wurst verarbeitet.

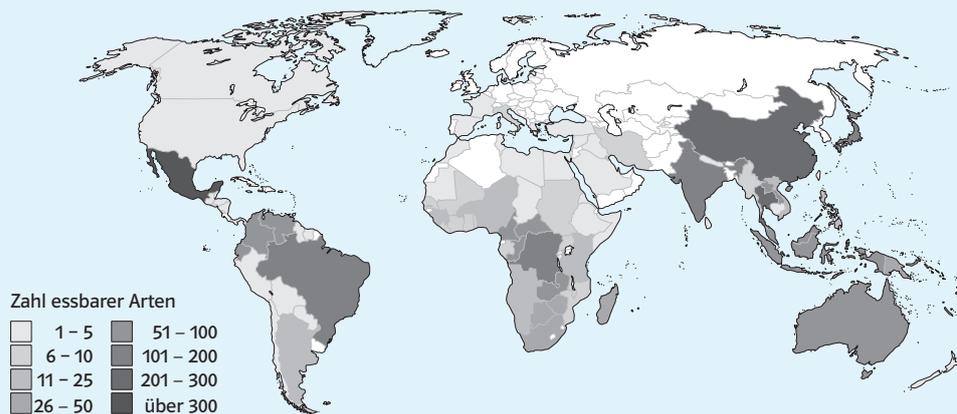
- 3 Multipotente Körperstammzellen können aus einem lebenden Organismus relativ einfach gewonnen werden, indem ein Stück des entsprechenden Gewebes entnommen wird. Der Vorteil ist, dass multipotente Stammzellen schon differenziert sind und dementsprechend nur Zelltypen eines Gewebes, in diesem Fall des gewünschten Muskelgewebes, hervorbringen können.
Im Gegensatz dazu sind pluripotente embryonale Stammzellen, wie der Name schon erkennen lässt, nur am Embryo vorhanden und können somit viel weniger leicht gewonnen werden. Zudem können sie alle Zellen des Körpers hervorbringen. Dies ist bei der Fleischherstellung, bei der man speziell Muskelzellen benötigt, unvorteilhaft.

- 4 Individuelle Lösung. Möglich sind folgende Aspekte: Prinzipiell wird es den meisten im ersten Moment schwerfallen, sich auf das In-vitro-Fleisch einzulassen, da es aus dem Labor kommt und künstlich hergestellt wurde. Viele Menschen sind künstlich hergestellten Lebensmitteln gegenüber eher negativ eingestellt, da diese keinen guten Ruf haben. Diese erste negative Reaktion kann jedoch durch Aufklärung schnell geändert werden, da es sich hier um eine saubere und tierfreundliche Alternative handelt.
Weiterer Lösungsansatz: Eine andere mögliche Fleischquelle stellen Insekten dar. In vielen Kulturen auf der ganzen Erde stehen sie anstelle von Rind und Huhn auf dem Speiseplan.

Zusatzinformation

Insekten als Fleisch-Alternative

Bei den meisten Europäern ruft der Gedanke an den Verzehr von Insekten wahrscheinlich Ekel hervor. In vielen anderen Ländern der Erde sind sie jedoch Bestandteil des Speiseplans.



1 Insektenverzehr weltweit

Die Welternährungsorganisation versucht auch in Europa für den Verzehr von Insekten zu werben. 100 g Heuschrecken z.B. enthalten bei einem deutlich geringeren Fettanteil den gleichen Anteil an Proteinen wie Rinderhackfleisch. Auch in der Herstellung sind sie deutlich klimafreundlicher, da sie im Vergleich zu den klassischen Nutztieren weniger Wasser und Nutzfläche benötigen.

Ab 2018 gelten Insekten wie auch exotische Früchte als sogenannte neuartige Lebensmittel (Novel Food), wodurch die Zulassung und Vermarktung in Europa erleichtert wird.

Zellkern

[SB S. 32/33]

So können Sie mit dem Thema arbeiten	
Einstieg/Motivation	<p>Leitfragen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wie ist der Zellkern aufgebaut? • Welche Funktionen haben die einzelnen Bestandteile? <p>Methodenauswahl</p> <ul style="list-style-type: none"> • Präsentation der Abb. 1 „Versuche mit <i>Acetabularia</i>“ im Schülerbuch S. 32 und Erläuterung der zugehörigen Versuche. Die Schülerinnen und Schüler stellen Hypothesen auf, welche Schlussfolgerungen aus den Versuchsergebnissen gezogen werden konnten. • Alternativ dazu kann auch mit Fotos von Krallenfröschen (Abb. 3 im Schülerbuch S. 32) und zugehöriger Versuchsbeschreibung eingestiegen werden.
Erarbeitung	<ul style="list-style-type: none"> • Die Schülerinnen und Schüler lesen den Text im Schülerbuch S. 32/33. • Es folgt die Bearbeitung des Arbeitsblatts „Der Zellkern und seine Strukturen“ (s. Lehrerband S. 43).
Sicherung	<ul style="list-style-type: none"> • Die Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen der Versuche mit <i>Acetabularia</i> und mit Krallenfröschen (s. Schülerbuch S. 32) werden besprochen. • Die Lösungen der Aufgaben auf dem Arbeitsblatt „Der Zellkern und seine Strukturen“ (s. Lehrerband S. 43) werden besprochen und korrigiert.
Vertiefung	<p>Rechercheaufgabe zum Thema „Hutchinson-Gilford-Progerie-Syndrom“ (HGPS) (s. Zusatzinformation sowie Literatur- und Medienhinweise, Lehrerband S. 42).</p>

Lösungen

[zu SB S. 32/33]

- **1** Erläutern Sie den Bau und die Funktion des Zellkerns.
Der Zellkern enthält genetisches Material, das die Funktionen der Zelle steuert. Er ist von zwei Membranen begrenzt, die direkt mit dem ER verbunden sind. Über zahlreiche Kernporen findet ein Stoffaustausch zwischen dem Zellkern und Zellplasma statt.
- **2** Beschreiben Sie die Versuche mit *Acetabularia* und stellen Sie Schlussfolgerungen dar, die man aus diesen Versuchen ziehen kann.
*Versuch oben: Einer entkernten Alge der Art *Acetabularia mediterranea* wird der arttypische Hut abgetrennt. Anschließend wird der entkernten Alge ein Zellkern der Art *Acetabularia crenulata* ins Rhizoid übertragen. Die Alge regeneriert einen neuen Hut, der nun typisch für die Art *Acetabularia crenulata* ist.
 Versuch unten: Einer Alge der Art *Acetabularia crenulata* und einer der Art *Acetabularia mediterranea* wird jeweils der Hut abgetrennt. Anschließend werden die beiden Rhizoide mit Zellkernen vereinigt. Die beiden Rhizoide regenerieren zusammen einen Hut, der einer Mischform der beiden arttypischen Hutformen entspricht.
 Aus beiden Versuchen kann man schließen, dass die Form des Hutes und damit Wachstumsprozesse durch den Zellkern gesteuert werden.*
- **3** Entgegen früherer Annahmen ist das genetische Material auch außerhalb der Zellteilung in einem geordneten Zustand (Abb. 4). Erläutern Sie Gründe.
Auch außerhalb der Zellteilung nehmen Chromosomen bestimmte Positionen im Zellkern ein. Chromosomen im Zentrum des Kerns sind weniger dicht gepackt und ihr genetisches Material ist folglich aktiver als in Chromosomen des Randbereichs. In den unterschiedlichen Zelltypen eines Lebewesens (z. B. Muskel-, Nerven-, Knorpelzellen etc.) befinden sich jeweils v. a. diejenigen Chromosomen weniger dicht gepackt im Zentrum des Zellkerns, deren genetisches Material für den jeweiligen Zelltypus erforderlich ist. Dadurch ist es unter anderem möglich, dass in den unterschiedlichen Zellen desselben Organismus das jeweils für den Zelltyp erforderliche genetische Material aktiv ist.

Zusatzinformation

Das Hutchinson-Gilford-Progerie-Syndrom (HGPS)

HGPS ist eine sehr seltene Erkrankung. Laut Angaben der Progeria Research Foundation gibt es weltweit insgesamt 162 betroffene Kinder (Stand Juli 2019). Die Krankheit wurde erstmals 1886 von Jonathan Hutchinson (1828—1913) und Hastings Gilford (1861—1941) beschrieben. Betroffene Kinder kommen ohne Auffälligkeiten zur Welt, beginnen jedoch im ersten Lebensjahr, das für die Krankheit typische Erscheinungsbild zu entwickeln. Das liegt daran, dass das Protein Lamin A erst nach der Geburt in größeren Mengen hergestellt wird. Bei erkrankten Kindern kann die Lamin-A-Synthese nicht stattfinden. Zu den auffälligsten Symptomen gehören Haarausfall, Kleinwuchs und ein zu klein ausgeprägter Kiefer. Dazu kommen Symptome wie Arteriosklerose, Arthrose, Osteoporose und fehlendes Unterhaut-Fettgewebe, was die Haut alt und zerknittert aussehen lässt. Da die Betroffenen etwa fünf- bis zehnmal so schnell altern wie gesunde Kinder, sinkt ihre Lebenserwartung auf durchschnittlich 13 Jahre. Obwohl der Körper frühzeitig altert, treten viele Phänomene des normalen Alterns bei Betroffenen nicht auf. Kinder mit HGPS haben z. B. weder ein erhöhtes Tumorrisiko, Grauen Star oder Diabetes mellitus, noch treten neurodegenerative Krankheiten, wie Morbus Alzheimer, gehäuft auf.

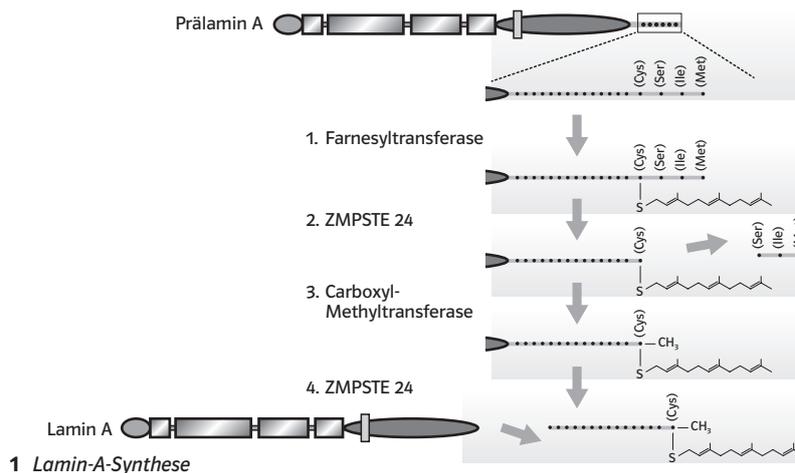
Ursache

Die Ursache der Erkrankung ist eine kleine Veränderung des Gens, das die Information für einen der Hauptbestandteile der Kernlamina beinhaltet, dem sogenannten Lamin-A-Protein. Die Folgen sind unter anderem defekte Lamin-A-Proteine, die in die Kernlamina eingebaut werden und so deren Stabilität herabsetzen. HGPS wird in den meisten Fällen durch eine Punktmutation im LMNA-Gen verursacht, das

sich auf dem Chromosom 1 (q23) befindet. Mutiert ist hier das Codon 608 (GGC) im Exon 11, bei der die Base Cytosin durch Thymin ausgetauscht ist, wodurch das Codon GGT entsteht. Theoretisch handelt es sich hier um eine stumme Mutation, da beide Triplets für die gleiche Aminosäure codieren. Aufgrund der veränderten Base wird jedoch eine verborgene Spleißstelle aktiviert. Dadurch fehlen 150 Basenpaare, also 50 Aminosäuren des Exons 11. Insgesamt konnten bisher 20 verschiedene Mutationsarten für die Entstehung von HGPS ausfindig gemacht werden.

Lamin-A-Synthese

Die Lamin-A-Synthese ist in Abb. 1 vereinfacht dargestellt. In einem ersten Schritt wird mithilfe der Farnesyltransferase eine Farnesylgruppe an die viertletzte Aminosäure Cystein (Cys) gebunden. Anschließend wird das Prälamina A zwischen den Aminosäuren Cys und Serin (Ser) von der Protease ZMPSTE 24 gespalten. Die drei letzten Aminosäuren Ser, Isoleucin (Ile) und Methionin (Met) werden dadurch entfernt. Mithilfe der Carboxyl-Methyltransferase wird eine Methylgruppe an Cys angebaut. Abschließend wird durch das Enzym ZMPSTE 24 ein weiteres Stück des Proteins, bestehend aus den letzten 15 Aminosäuren, abgespalten. Somit ist aus Prälamina A ein funktionsfähiges Lamin A entstanden. Aufgrund der durch die veränderten Spleißstelle fehlenden 50 Aminosäuren können zwar die ersten Schritte (1—3) der Lamin-A-Synthese ebenfalls stattfinden, jedoch ist die Erkennungsstelle für ZMPSTE 24 zur Abspaltung der 15 letzten Aminosäuren am Proteinende (Schritt 4) verloren gegangen. Das mutierte Prälamina A bleibt erhalten. Es wird auch als Progerin bezeichnet. Die Folge dessen ist ein nicht sachgemäßer Einbau von Progerin anstatt von Lamin A in die Kernlamina.



Literatur- und Medienhinweise

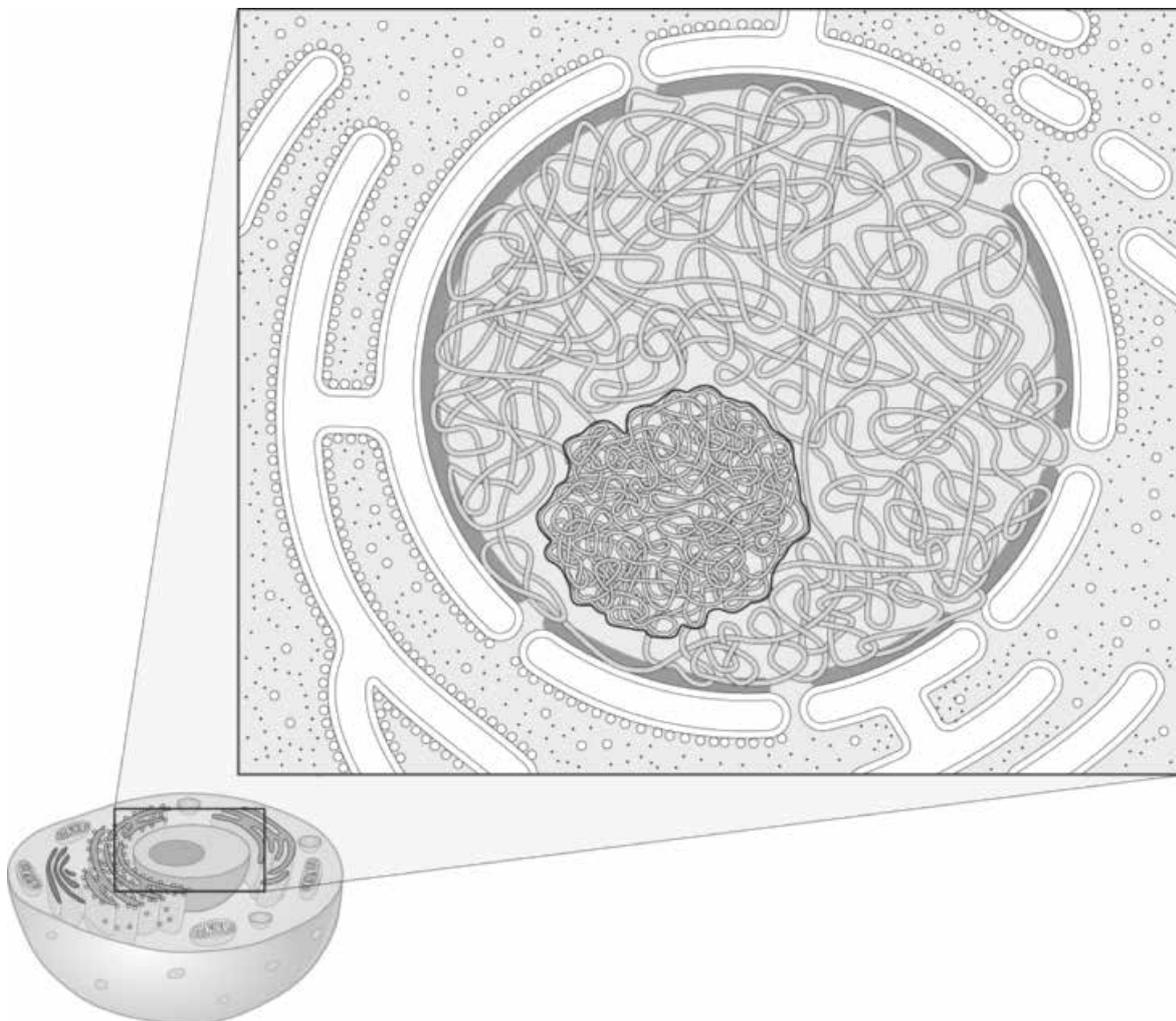
Larriou, D., Britton, S., Demir, M., Rodriguez, R., Jackson, S. P.: Chemical inhibition of NAT10 corrects defects of laminopathic cells. In: Science, 2014 May 2, 344(6183), S. 527—532. doi: 10.1126/science.1252651.

<https://www.progeriaresearch.org>

Der Zellkern und seine Strukturen

In einer eukaryotischen Zelle enthält der Zellkern den Großteil an genetischem Material. Je nach Zelltyp beträgt sein Durchmesser zwischen 5 und 25 μm . Die Zellkernhülle umschließt den Zellkern und schafft damit einen vom Cytoplasma abgetrennten Raum. Die Zellkernhülle ist eine Doppelmembran, die in eine innere und äußere Zellkernmembran unterteilt wird und von zahlreichen **Kernporen** durchzogen ist. Die Poren „kontrollieren“ den Stofftransport von Molekülen aus und in den Zellkern. An diesen Stellen ist die **äußere Zellkernmembran** nach innen gewölbt und mit der **inneren Zellkernmembran** verbunden. Außer an den Kernporenbereichen ist die innere Zellkernmembran von einer sogenannten **Kernlamina** ausgekleidet. Dieses Netz aus Proteinfilamenten stützt die Kernhülle und gibt dem Zellkern seine Form. Zwischen der inneren und der äußeren Membran der Kernhülle befindet sich der **perinucleäre Raum**, der stellenweise mit dem Lumen des rauen Endoplasmatischen Reticulums (ER) in Verbindung steht.

Innerhalb des Zellkerns befinden sich **Chromatinfäden**, die aus DNA und Proteinen bestehen und die Grundlage der genetischen Information bilden. Eine weitere Struktur im Zellkern ist der **Nucleolus** (Kernkörperchen); hier wird die ribosomale RNA synthetisiert. Daraus werden zusammen mit Proteinen aus dem Cytoplasma die **Ribosomen** hergestellt. Die Substanz, die den restlichen Zellkern ausfüllt, wird als **Karyoplasma** bezeichnet. Sie enthält verschiedene Enzyme für die Replikation, Transkription und Prozessierung von genetischem Material.



1 Struktur und Lage des Zellkerns

- 1 Nennen Sie die im Text dargestellten Bestandteile des Zellkerns und ordnen Sie diesen in tabellarischer Form eine Funktion zu.
- 2 Ordnen Sie die im Text markierten Strukturen der Abb. 1 zu.

ARBEITSBLATT

Der Zellkern und seine Strukturen

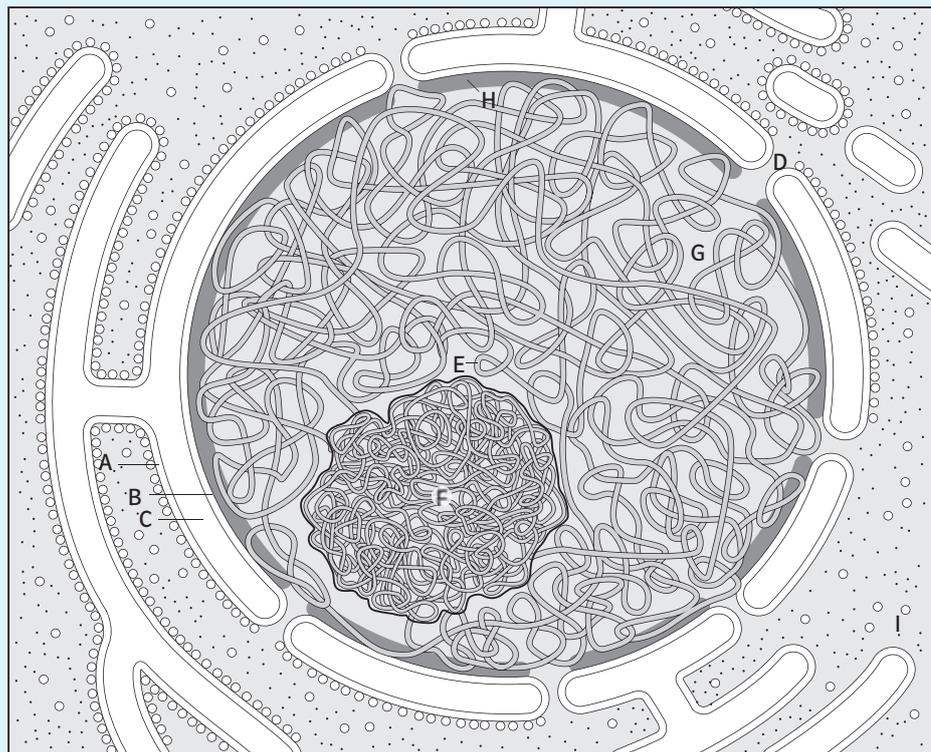
Lösungen

1

Bestandteil	Funktion
Zellkernhülle bestehend aus äußerer und innerer Zellkernmembran sowie dem perinucleären Raum	Kompartimentierung, Abgrenzung des Reaktionsraums
Kernporen	Kontrolle des Stofftransports in den und aus dem Zellkern
Kernlamina	Stützfunktion, formgebend
Chromatinfäden	stoffliche Grundlage der genetischen Information
Nucleolus	Synthese der ribosomalen RNA, aus der zusammen mit Proteinen die Ribosomen hergestellt werden
Karyoplasma	Enzyme für die Replikation, Transkription und Prozessierung

2

- A = äußere Zellkernmembran
 B = innere Zellkernmembran
 C = perinucleärer Raum
 D = Kernpore
 E = Chromatinfäden
 F = Nucleolus/Kernkörperchen
 G = Karyoplasma
 H = Kernlamina
 I = Ribosomen



Zellzyklus — Mitose und Interphase

[SB S. 34/35]

So können Sie mit dem Thema arbeiten	
Einstieg/Motivation	<p>Leitfrage Wie läuft die Mitose ab?</p> <p>Methodenauswahl Für den Einstieg wird der Lerngruppe ein Cartoon zur Zellteilung präsentiert (s. Literatur- und Medienhinweise, Lehrerband S. 46) mit dem Ziel, das Vorwissen der Schülerinnen und Schüler zu aktivieren und die Abbildung im Unterrichtsgespräch mit Details zu füllen.</p>
Erarbeitung	<ul style="list-style-type: none"> • Mithilfe des Schülerbuchs S. 34/35 wird der Ablauf der Mitose wiederholt. Die Schülerinnen und Schüler lesen hierfür den Text und bearbeiten die Aufgaben 1 und 2. • Besonders anschaulich gemacht werden kann die Mitose, indem man eine Chromosomenpräparation der Zwiebelwurzel zusammen mit der Lerngruppe durchführt (s. Praktische Tipps, Lehrerband S. 46).
Sicherung	Die Lösungen der Aufgaben 1 und 2 im Schülerbuch S. 35 werden besprochen.
Vertiefung	<ul style="list-style-type: none"> • Die Überlegung, bei welchem Teilschritt der Mitose sich der M-Kontrollpunkt befindet (Aufgabe 2 im Schülerbuch S. 35), bietet einen Anknüpfungspunkt, um sich vertiefend mit der Mitose auseinanderzusetzen. • Das Arbeitsblatt „Mitotische Katastrophen“ (s. Lehrerband S. 47) beschäftigt sich mit dem Einfluss dreier Proteine, die auf die eine oder andere Art und Weise an der Ausbildung des Spindelapparats beteiligt sind, auf die Mitose. Das Fehlen bestimmter Proteine kann sogenannte mitotische Katastrophen auslösen, was negative Konsequenzen für den weiteren Verlauf des Zellzyklus zur Folge hat.

Lösungen

[zu SB S. 34/35]

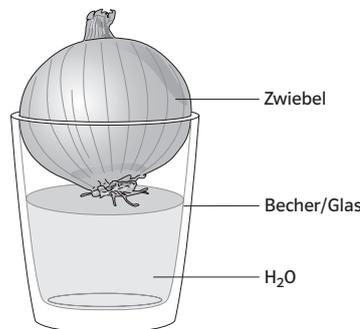
- **1** Ordnen Sie die in Abb. 1 dargestellten Zellzyklus-Stadien den zugehörigen Phasen in Abb. 2 zu.
A frühe Metaphase, B Telophase, C Prophase, D Interphase, E frühe Metaphase, F Anaphase
- **2** Stellen Sie eine Hypothese auf, welcher Teilschritt der Mitose am M-Kontrollpunkt überprüft wird.
Am M-Kontrollpunkt wird überprüft, ob die Einzelchromosomen mit dem Spindelapparat verbunden sind.

Praktische Tipps

Chromosomenpräparation aus der Wurzelspitze einer Küchenzwiebel (*Allium cepa*)

Beim Mikroskopieren der Zellen von Zwiebelwurzelspitzen können verschiedene Mitosestadien betrachtet werden. Die Zwiebeln werden von der Lehrkraft mindestens eine Woche vor dem Mikroskopieren auf einen mit Wasser gefüllten Becher gesetzt, sie dürfen dabei nicht mit dem Wasser in Berührung kommen. Je nach Größe der Lerngruppe sollten so viele Zwiebeln angesetzt werden, dass jede Schülergruppe mindestens zwei Wurzelspitzen zur Verfügung hat.

Für das Mikroskopieren der Wurzelspitze anhand selbst erstellter Präparate sollte eine Doppelstunde eingeplant werden. Alternativ kann man auch auf vorgefertigte Präparate zurückgreifen, die man z. B. im Fachhandel käuflich erwerben kann. Zwar nimmt das Mikroskopieren fertiger Präparate weniger Zeit in Anspruch, die Herstellung eigener Präparate fördert jedoch aktiv den Erwerb von Präpariertechniken.



1 Zwiebelwurzeln in Wasser

Geräte:

Objektträger, Deckglas, Schutzbrille, Küchenrolle, Teelicht, Streichhölzer/Feuerzeug, Mikroskop, Präparierbesteck (Skalpells, Pinzette und Präpariernadel), Pipette, Schneideunterlage

Chemikalien:

Karminessigsäure

Durchführung:

Mithilfe eines Skalpell wird ein möglichst kleines Stück der Wurzelspitze abgetrennt und auf einen Objektträger gelegt. Vor der Arbeit mit Karminessigsäure muss eine Schutzbrille aufgesetzt werden. Auf die Wurzelspitze gibt man nun einen Tropfen Karminessigsäure. Das Präparat wird vorsichtig über der Flamme erhitzt, damit der Farbstoff in die Zellen der Wurzelspitze eindringen kann. Hierbei kann sich auf der Unterseite des Objektträgers Ruß bilden, der vor dem Mikroskopieren gründlich abgewischt werden muss. Sobald der Farbstoff eingekocht ist, kann ein Deckglas auf das Präparat aufgebracht werden. Auf das Deckglas wird ein Stückchen Küchenrolle gelegt und mit dem Daumen fest, aber vorsichtig auf das Deckglas gedrückt, da dieses leicht brechen kann. Mit einem Stift wird anschließend in kreisenden Bewegungen auf das Deckglas geklopft, um die Zellmasse gleichmäßig zu verteilen. Nun kann das Präparat mikroskopiert und sichtbare Mitosestadien skizziert werden.

Zusatzinformation

Der Spindelapparat

Der Spindelapparat besteht aus Mikrotubuli, die während der Interphase einen Teil des Cytoskeletts bilden und Aufgaben der Organisation übernehmen. Während der Prophase werden die Mikrotubuli für die Mitose außerhalb des Zellkerns, am Centrosom, aufgebaut, während die cytoplasmatischen Mikrotubuli gleichzeitig abgebaut werden, vermutlich damit ausreichend

Material für den Aufbau der Mitose-Mikrotubuli vorhanden ist. Das Centrosom ist ein membranloses Zellorganell, das auch als Mikrotubuli-Organisationszentrum bezeichnet wird. Vor Beginn der Mitose in der Interphase verdoppelt sich das Centrosom. Die beiden entstandenen Tochter-Centrosomen entfernen sich nach und nach in Richtung der beiden Pole voneinander.

Literatur- und Medienhinweise

Abbildung zum Einstieg:

<http://www.laborjournal.de/blog/wp-content/uploads/2014/07/originoflife1.jpg>

Kimura, M., Yoshioka, T., Saio, M., Banno, Y., Nagaoka, H., Okani, Y.: Mitotic catastrophe and cell death induced by depletion of centrosomal proteins. *Cell Death and Disease*, 2013/4. doi:10.1038/cddis.2013.108

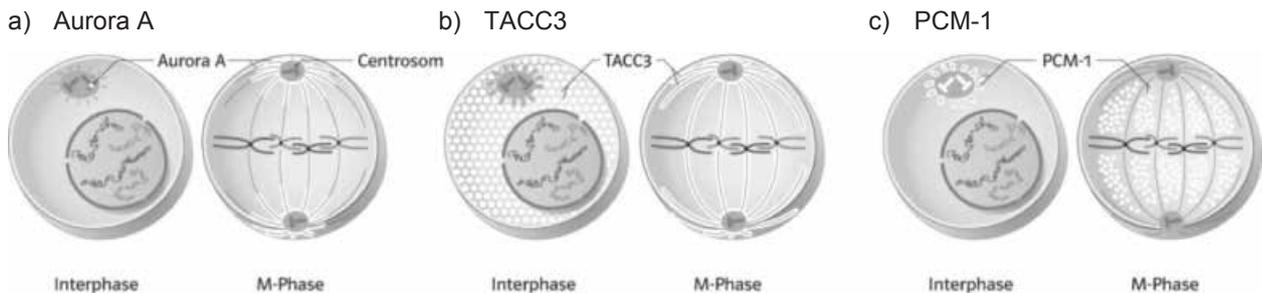
Daten auf DVD

• Gefährdungsbeurteilung

Mitotische Katastrophen

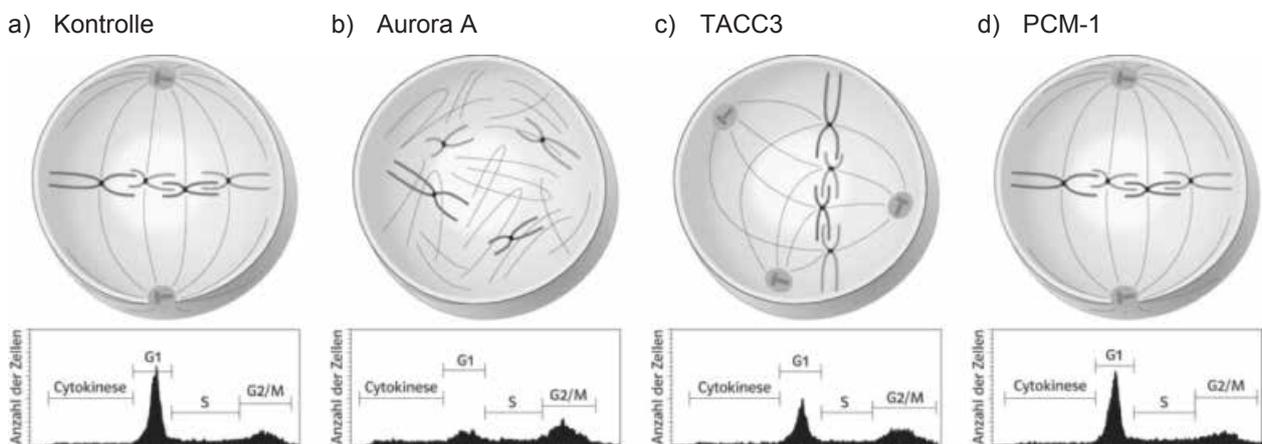
Die Zelle besitzt Mechanismen, um Schäden an der DNA zu erkennen. Oftmals führt das Erkennen von Fehlern dazu, dass der Zellzyklus gestoppt wird, um diese zu beheben. Hierbei kann es passieren, dass die Zelle den Zellzyklus in der G₂-Phase trotz unvollständiger Reparaturmaßnahmen nicht länger anhalten kann. Eine mitotische Katastrophe, die meist zum Zelltod führt, bahnt sich an.

Wissenschaftler haben herausgefunden, dass neben Schäden an der DNA auch der Abbau von Proteinen des Centrosoms zu einer mitotischen Katastrophe führen kann. Die Folge fehlender centrosomaler Proteine ist eine von der Norm abweichende Gestalt des Spindelapparats. Um Proteine identifizieren zu können, deren Ausfall eine mitotische Katastrophe auslösen kann, wurden diese in einem ersten Experiment während der Interphase und der Metaphase (M-Phase) der Mitose markiert.



1 Vorkommen centrosomaler Proteine während der Interphase und der M-Phase der Mitose

Im weiteren Verlauf der Versuchsreihe wurde der Einfluss der ausgewählten centrosomalen Proteine auf das Aussehen des Spindelapparats analysiert. Dafür wurde eine festgelegte Anzahl von Zellen experimentell verändert. Ihnen fehlte entweder das Protein Aurora A, TACC3 oder PCM-1. Außerdem wurde nach 48 Stunden ermittelt, in welchem Stadium des Zellzyklus sich die Zellen befanden. Die Zellen hatten unter den angegebenen Bedingungen den Zellzyklus nach 48 Stunden einmal durchlaufen und befanden sich größtenteils in der G₁-Phase (s. Kontrollgruppe, der keine Proteine entfernt wurden).



2 Auswirkung fehlender centrosomaler Proteine auf den Spindelapparat und den Zellzyklus

- 1 Beschreiben Sie das Vorkommen der drei centrosomalen Proteine Aurora A, TACC3 und PCM-1 während der Interphase und der M-Phase.
- 2 Erläutern Sie, welchen Einfluss das Ausschalten der Proteine jeweils auf das Aussehen des Spindelapparats und den Zellzyklus hat.
- 3 Formulieren Sie jeweils eine begründete Hypothese, inwiefern die im Material dargestellten Versuchsergebnisse (Aurora A, TACC3 und PCM-1) Hinweise auf einen möglichen Zelltod liefern.

ARBEITSBLATT

Mitotische Katastrophen

Lösungen

- 1** Aurora A ist während der Interphase kaum am Centrosom sichtbar. Nur an einer Stelle ist das Protein vorhanden. In der M-Phase ist Aurora aber deutlich nachweisbar. Es befindet sich an beiden Centrosomen der Spindelpole und an dem davon ausgehenden oberen Abschnitt der Mikrotubuli des Spindelapparats.
Das Protein TACC3 ist während der Interphase gleichmäßig in der ganzen Zelle verteilt. Es ist keine Anordnung in Richtung der Centrosomen zu erkennen. Erst in der M-Phase befindet sich TACC3 an den Centrosomen und den gesamten Mikrotubuli des Spindelapparats.
PCM-1 befindet sich während der Interphase an den Centrosomen und im Bereich um die Centrosomen herum. In der M-Phase ist PCM-1 in den Zwischenräumen zu erkennen. Es befindet sich weder an den Mikrotubuli des Spindelapparats noch an den Centrosomen.
- 2** Der Kontrollversuch zeigt einen optimal ausgebildeten Spindelapparat. Nach 48 Stunden befindet sich der überwiegende Teil der Zellen in der G_1 -Phase, was der Norm entspricht. Einige wenige Zellen wurden in der G_2 /M-Phase gestoppt, da es immer zu unvorhersehbaren Fehlern kommen kann, die den Zellzyklus anhalten.
Wird Aurora A ausgeschaltet, sind lediglich ungeordnete Strukturen erkennbar, es hat sich kein erkennbarer Spindelapparat ausgebildet. Da sich das Protein Aurora A in der M-Phase vorrangig an den Centrosomen, von denen die Ausbildung des Spindelapparats initiiert wird, und dem oberen Bereich der Mikrotubuli befindet, liegt die Vermutung nahe, dass der Prozess der Ausbildung frühzeitig chaotisch abläuft, da der Beginn der Mikrotubuli-Ausbildung gestört wird. Die Folge ist, dass keine Mitose stattfinden kann, weil die fehlerhaft ausgebildeten Mikrotubuli ihrer Aufgabe, die Chromosomen auf die Tochterzellen zu verteilen, nicht nachkommen können. 48 Stunden nach dem Abschalten von Aurora A befindet sich deshalb ein Großteil der Zellen in der G_2 /M-Phase, was dafür spricht, dass in vielen Zellen aufgrund der detektierten Fehler der Zellzyklus spätestens in der M-Phase gestoppt wurde.
Ohne TACC3 zeigt der Spindelapparat eine veränderte Polarität. Anstatt zwei Centrosomen an den Spindelpolen gibt es drei Centrosomen, die Mikrotubuli ausbilden. Die Folge ist, dass alle drei Centrosomen Chromosomen zu sich ziehen, was eine Fehlverteilung der Chromosomen auf die Tochterzellen zur Folge hat. Ein Teil der Zellen wird daher schon während der G_2 /M-Phase gestoppt. Der Großteil der Zellen wird jedoch in der G_1 -Phase angehalten. Da sich allerdings auch die Zellen der Kontrollgruppe nach 48 Stunden in der G_1 -Phase befinden, kann keine konkrete Differenzierung des Ergebnisses vorgenommen werden. Vermutlich detektiert erst der Kontrollpunkt in der G_1 -Phase die Fehlverteilung (nicht am G_2 - oder M-Kontrollpunkt), da sich alle für die Mitose benötigten Komponenten gebildet haben und die Mitose an sich erst einmal ablaufen konnte.
Das ausgeschaltete PCM-1 hat keine Auswirkungen auf den Ablauf der Mitose. Der Spindelapparat wird wie bei den nicht manipulierten Zellen ausgebildet und die Mitose findet statt. Die meisten Zellen befinden sich nach 48 Stunden regulär in der G_1 -Phase. Wie auch in der Kontrollgruppe wird ein geringer Anteil an Zellen aufgrund zufällig auftretender Defekte in der G_2 /M-Phase gestoppt.
- 3** Vermutlich wird bei Zellen ohne Aurora A zeitnah der Zelltod eingeleitet. Das Protein entfaltet seine Wirkung direkt zu Beginn der Mitose; durch sein Fehlen kann sich kein Spindelapparat ausbilden, weshalb die Zelle schon am Kontrollpunkt zwischen Meta- und Anaphase gestoppt wird.
Ohne TACC3 kann sich ein Spindelapparat ausbilden, der jedoch eine andere Polarität aufweist. Die einzelnen Schritte der Mitose können erst einmal ablaufen, sodass am Kontrollpunkt nach der Metaphase nur ein Teil der Zellen gestoppt wird. Die anschließende Kontrolle vor Beginn der S-Phase erkennt aber die meist fehlerhafte Chromosomenverteilung, was zur Einleitung des Zelltods führt. Jedoch ist die Zelltod-Rate geringer, weil die Möglichkeit besteht, dass Chromosomen richtig auf die Tochterzellen verteilt werden. Das ist bei Aurora A ausgeschlossen.
Das fehlende PCM-1 führt zu keiner erhöhten Zelltod-Rate und die Ergebnisse sind identisch mit denen der Kontrollgruppe. Viele Zellen verlieren nach der Mitose ihre Teilungsfähigkeit und verharren in der G_1 -Phase. Die Experimente haben keine Auffälligkeiten hinsichtlich einer möglichen mitotischen Katastrophe gezeigt.

Endomembransystem

[SB S. 36]

Extra: Cytoskelett

[SB S. 37]

So können Sie mit dem Thema arbeiten	
Einstieg/Motivation	<p>Leitfrage Welche Aufgabe haben die netzartigen Strukturen und Vesikel innerhalb einer Zelle?</p> <p>Methodenauswahl Die der Lerngruppe bisher bekannte typische Darstellung einer Zelle (s. Abb. 1 und 2, Schülerbuch S. 24/25) wird präsentiert und mit einem elektronenmikroskopischen Bild (s. Abb. 4, Schülerbuch S. 37) verglichen.</p>
Erarbeitung	<ul style="list-style-type: none"> • Damit die Schülerinnen und Schüler eine Vorstellung davon bekommen, was auf dem Bild im Schülerbuch S. 37, Abb. 4 zu sehen ist, lesen sie den Text im Schülerbuch S. 36 sowie den Extra-Kasten auf S. 37. • Bearbeitung der Aufgabe im Extra-Kasten auf S. 37 im Schülerbuch.
Sicherung	Anschließend ist es von Vorteil, die grundlegenden Strukturen und prinzipiellen Aufgaben des Cytoskeletts im Tafelbild festzuhalten. Eine Besprechung der Lösung der Seite 37 (Extra) im Schülerbuch sollte folgen.
Vertiefung	Die bisherigen Erkenntnisse über das Cytoskelett werden mithilfe des Arbeitsblatts „Bewegungen in der Zelle“ (s. Lehrerband S. 51) vertieft. Abschließend bietet es sich an, die besprochenen Vorgänge in Form von kurzen Videosequenzen zu präsentieren (s. Literatur- und Medienhinweise, Lehrerband S. 50).

Lösungen

[zu SB S. 36]

- 1 Stellen Sie die Abläufe im Endomembransystem dar, die zum Abbau eines eingedrungenen Bakteriums führen.
An den Ribosomen des rauen ERs werden Enzyme hergestellt und im ER verpackt und verändert. Über Vesikel gelangen sie in den Golgi-Apparat, in dem sie weiter verändert werden. Die fertig gestellten Enzyme werden über Vesikel (Lysosomen) vom Golgi-Apparat abgeschnürt. Diese Lysosomen können mit Vesikeln verschmelzen, in denen sich eingedrungene Bakterien befinden. Mithilfe der Enzyme können die eingedrungenen Bakterien abgebaut werden.

[zu SB S. 37, Extra]

Taxol wird als Tumorstoff in der Krebstherapie verwendet. Er behindert die Bildung des Spindelapparats. Leiten Sie die Folgen für die Zellteilung in gesundem und krankem Gewebe ab.
Sowohl in kranken als auch in gesunden Zellen kann der Spindelapparat aus Mikrotubuli nicht aufgebaut werden. Die Chromosomen können bei der Zellteilung nicht bewegt werden. Es sind keine weiteren Zellteilungen möglich.

Praktische Tipps

Die Schülerinnen und Schüler können eine Vielzahl von Organellen identifizieren und benennen. Beim Blick durch das Mikroskop sind je nach Präparat allerdings nur noch einige wenige Organellen bzw. Strukturen innerhalb der Zelle deutlich erkennbar. In beiden Darstellungen im Schülerbuch S. 24/25 scheint der Zellinnenraum abgesehen von Zellorganellen und ein paar undefinierbaren Punkten leer zu

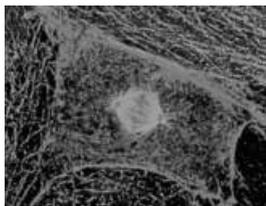
sein. In dieser Stunde lernen die Schülerinnen und Schüler daher das Cytoskelett kennen und erweitern ihr Konzept über die Zelle. Der Begriff Cytoskelett ist irreführend und sollte im Unterrichtsgespräch thematisiert werden. Es handelt sich nämlich nicht um ein klassisches, starres Skelett, sondern um sehr dynamisch agierende Strukturen.

Zusatzinformation

Cytoskelett

Mikrotubuli und Actinfilamente sind in allen Zellen gleich aufgebaut. Die Intermediärfilamente hingegen variieren je nach Zelltyp, wie in der folgenden Tabelle aufgeführt.

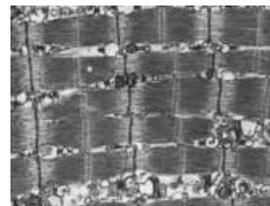
Intermediärfilament-Typ	Vorkommen
Keratin	Epithelzellen
Vimentin	Leukocyten, Fibroblasten, Endothelzellen
Desmin	Herz-, Skelett-, glatte Muskelzellen
Peripherin	periphere Neurone
GFAP	Gliazellen
Neurofilament	Neurone
Lamin A, B, C	nucleäre Lamina



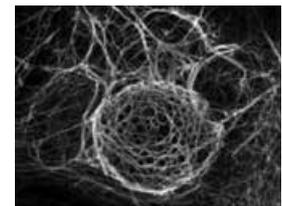
a) Mikrotubuli



b) Vimentinfilamente



c) Actinfilamente



d) Cytokeratinfilamente

1 Cytoskelettelemente

Mikrotubuli (a) und Vimentinfilamente (b) verlaufen zum Teil gleich. Ein sehr dichtes Netz ist im Bereich des Zellkernes vorhanden. Zur Zellperipherie hin dünnen die Mikrotubuli aus, wodurch ihre Struktur deutlicher erkennbar ist. Actinfilamente (c) konzentrieren sich im Bereich der Zellmembran. Innerhalb der Zelle ist eine regelmäßige Anordnung in Längsrichtung ohne höher konzentrierte Bereiche sichtbar. Cytokeratinfilamente (d) wiederum sind in alle Richtungen vernetzt, wobei auch hier vor allem im linken oberen Bereich Übereinstimmungen im Verlauf der beiden Filamente zu erkennen sind.

Der im Schülerbuch S. 37 in Abb. 3 dargestellte Tubulin-Dimer als Bestandteil des Mikrotubulus besteht aus dem globulären Protein Tubulin, das in einer α - und einer β -Form vorkommt. α - und

β -Tubulin lagern sich mittels Disulfidbrücken zusammen. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von Heterodimeren. Der Vorgang des Zusammenlagerns, bei dem ein Mikrotubulus entsteht, wird Polymerisation genannt. Der Abbau am anderen Ende des Mikrotubulus nennt man Depolymerisation.

Das Gift Colchicin kann die Ausbildung eines Mikrotubulus unterbinden, indem es an die Tubulin-Dimere bindet und die Polymerisation verhindert. Die Ausbildung des Spindelapparats wird unterbrochen, weshalb sich die Zellen nicht teilen können. Dies nutzt man u.a. zur Herstellung von mikroskopischen Präparaten während der Metaphase, wenn alle Chromosomen an der Äquatorialebene angeordnet sind.

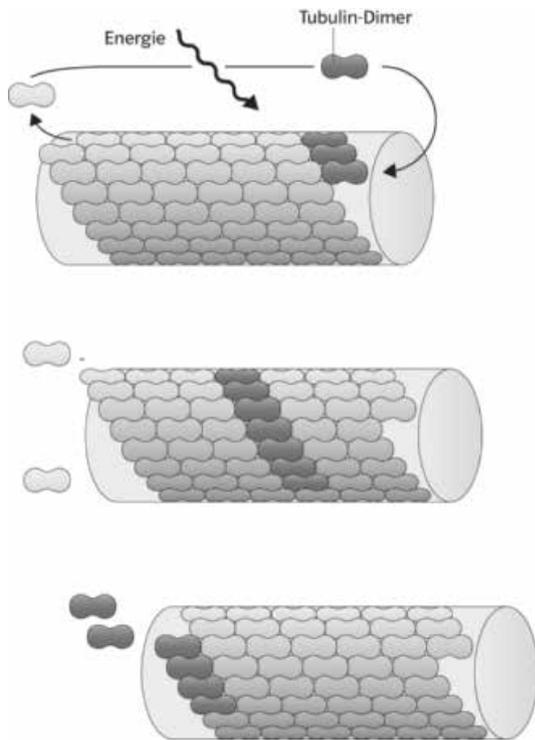
Literatur- und Medienhinweise

Hirsch-Kaufmann, M., Schweiger M., Schweiger, M. R.: Biologie und molekulare Medizin für Mediziner und Naturwissenschaftler. Thieme Verlag, 7. Auflage, Stuttgart 2009, S. 60–72.

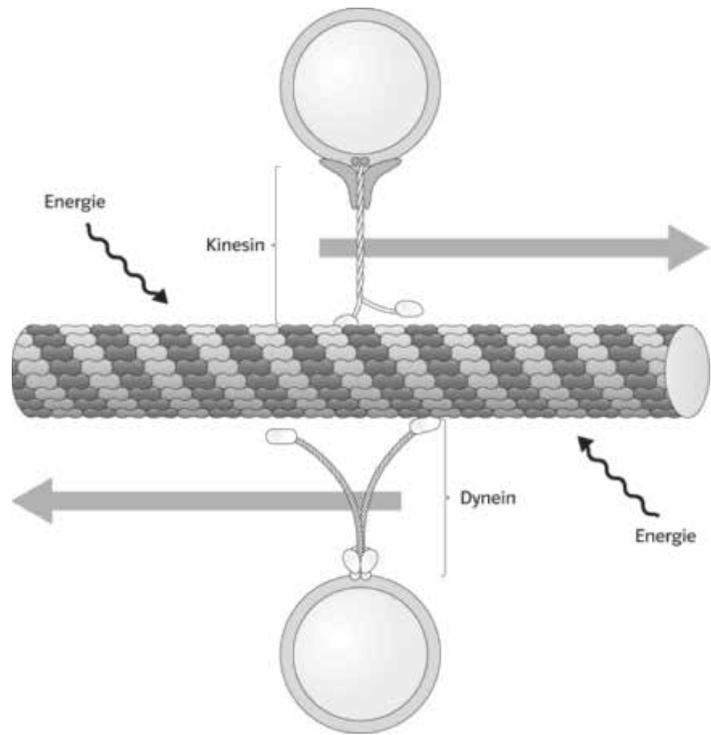
Film: Inner Life of the Cell. 2013. 08:00 min. www.youtube.com/watch?v=FzcTgrxMzZk

Bewegungen in der Zelle

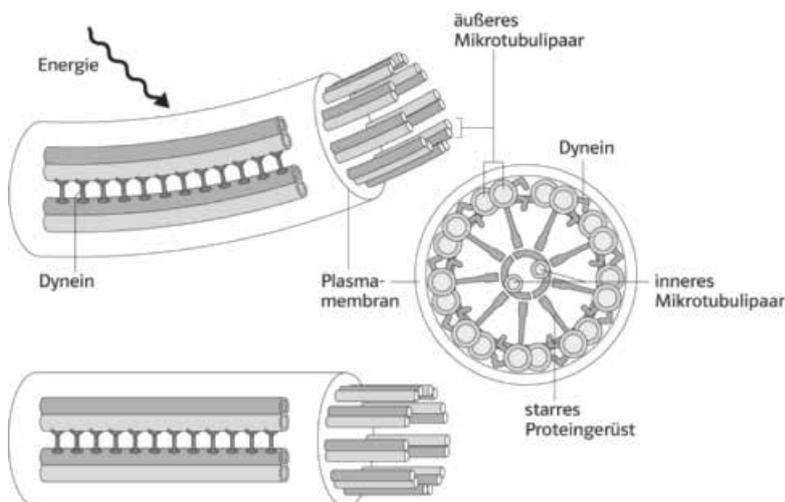
Bevor mit dem Elektronenmikroskop detaillierte Einblicke in das Innenleben einer Zelle möglich waren, dachte man, dass sich die Zellorganellen frei schwimmend im Cytoplasma bewegen. Mittlerweile weiß man jedoch, dass mithilfe von Actinfilamenten und Mikrotubuli viele verschiedene Bewegungsabläufe innerhalb der Zelle stattfinden. Die in Abb. 1 dargestellte Mikrotubulus-Bewegung findet z. B. während der Mitose statt, wenn sich der Spindelapparat ausbildet. Außerdem werden ständig Moleküle innerhalb der Zellen transportiert. Hierfür muss chemische in mechanische Energie umgewandelt werden. Diese Aufgabe übernehmen sogenannte Motorproteine, wie Kinesin oder Dynein.



1 Mikrotubulus-Bewegung



2 Mikrotubulus-Bewegung durch Kinesin und Dynein



3 Dynein-Motor

- 1 Beschreiben und recherchieren Sie die in den Abbildungen dargestellten Bewegungsabläufe.
- 2 Analysieren und, wenn nötig, recherchieren Sie, welche Aufgaben die Bewegungsabläufe erfüllen.

ARBEITSBLATT

Bewegungen in der Zelle

Lösungen

- 1 Abb. 1: Mikrotubuli sind strangförmige Gebilde. Während am einen Ende Tubulin-Dimer abgebaut werden, können sie am anderen Ende angebaut werden. Für den Anbau der Tubulin-Dimere wird Energie benötigt.
- Abb. 2: Dynein und Kinesin bewegen sich an dem Mikrotubulus in eine bestimmte Richtung fort. Kinesin bewegt sich in eine Richtung, Dynein nimmt den entgegengesetzten Weg. Dabei können beide eine Last mit sich ziehen. Abwechselnd wird unter Energieaufwand ein Arm ausgestreckt und anschließend der zweite nachgezogen.
- Abb. 3: Insgesamt neun Mikrotubulipaare sind kreisförmig angeordnet. Zwischen ihnen befindet sich das Motorprotein Dynein, das die einzelnen Paare miteinander verbindet. In der Mitte der Röhre befindet sich ein weiteres Mikrotubulipaar. Eine Verbindung zwischen den Mikrotubulipaaren wird durch ein starres Proteingerüst gewährleistet. Unter Energieaufwand können die Motorproteine (Dynein) einen ihrer Arme ausstrecken. Je nachdem, welcher Arm ausgestreckt und welcher nachgezogen wird, biegen sich die Mikrotubulipaare und daraus folgend die gesamte Röhre.
- Zusatzinformation: Das starre Proteingerüst verhindert, dass dieser Vorgang wiederholt ablaufen kann, da es sonst wie in Abb. 2 zu einer Verschiebung der Mikrotubulipaare kommen würde und nicht zu einer Biegung.
- 2 Abb. 1: Durch den gezielten An- oder Abbau der Mikrotubuli können sich diese in ihrer Länge verändern. Der Anbau führt zum Wachstum, der Abbau zum Schrumpfen der Mikrotubuli. Ein konkretes Beispiel hierfür ist die Ausbildung der Spindel während der Mitose. Werden Tubulin-Dimere gleichzeitig an- und abgebaut, resultiert dies in einer Bewegung des Mikrotubulus.
- Abb. 2: In dieser Abbildung fungieren die Mikrotubuli als Schienen für Motorproteine, die mit Vesikeln, Zellkomponenten oder sogar ganzen Zellorganellen beladen sein können und diese an bestimmte Stellen innerhalb der Zelle oder zur Zellmembran transportieren.
- Abb. 3: Der in dieser Abbildung dargestellte Bewegungsablauf dient vorrangig der Fortbewegung mithilfe von Geißeln oder Cilien. Bekannte Beispiele hierfür sind z.B. die wellenförmige Fortbewegung mithilfe der Geißel eines Spermiums oder das mit Cilien besetzte *Paramecium*.

Prokaryotische Zellen

[SB S. 38/39]

So können Sie mit dem Thema arbeiten	
Einstieg/Motivation	<p>Leitfragen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wie sind Bakterienzellen aufgebaut? • Welche Bedeutung haben Bakterien für den Menschen? <p>Methodenauswahl</p> <p>Zum Einstieg kann ein Fall geschildert werden: Eine Patientin kommt mit einem Infekt zum Arzt. Im Unterrichtsgespräch werden die Ursache und eine mögliche Behandlung erfragt sowie Hypothesen über die Wirkung der Antibiotika aufgestellt. Aus dem Unterrichtsgespräch ergibt sich die Frage, wie Bakterien aufgebaut sind und welche Charakteristika eine gezielte Wirkung der Antibiotika ermöglichen.</p>
Erarbeitung	<ul style="list-style-type: none"> • Grundlegendes Wissen über Prokaryoten wird mithilfe des Textes im Schülerbuch S. 38/39 erarbeitet. • Die Aufgaben 1 und 2 (s. Schülerbuch S. 39) werden bearbeitet.
Sicherung	<ul style="list-style-type: none"> • Die Aufgaben 1 und 2 im Schülerbuch S. 39 werden mittels Tafelanschrieb gesichert. • Im Unterrichtsgespräch werden die Begriffe „Prokaryot“, „Eukaryot“, „Bakterium“ und „Archaea“ wiederholt und zueinander in Bezug gesetzt.
Vertiefung	<ul style="list-style-type: none"> • Es kann der Frage nachgegangen werden, welche biologische Bedeutung Bakterien, außer der als Krankheitserreger, für den Menschen haben (s. Praktische Tipps und Zusatzinformation, Lehrerband S. 54). Dazu bietet sich die Bearbeitung des Arbeitsblatts „Die Darmflora — Prokaryoten im menschlichen Körper“ (s. Lehrerband S. 55) an. • Im Anschluss an die Bearbeitung des Arbeitsblatts „Die Darmflora — Prokaryoten im menschlichen Körper“ (s. Lehrerband S. 55) bietet es sich an, die Aufgabe 3 der S. 39 im Schülerbuch zu diskutieren.

Lösungen

[zu SB S. 38/39]

- **1** Vergleichen Sie prokaryotische und eukaryotische Zellen in einer Tabelle miteinander.
Prokaryoten: kein von Membranen umhüllter Zellkern, geringe bis keine Kompartimentierung innerhalb der Zelle
Gemeinsamkeiten: Zellmembran, Zellplasma
- **2** Stellen Sie die Vermehrung weniger Bakterien in einer Kultur grafisch dar. Sie sollen zunächst optimale Bedingungen vorfinden, aber nur zu Beginn der Kultur mit Nahrung versorgt werden.
Die Darstellung sollte drei Phasen zeigen: die Anlaufphase mit exponentiellem Wachstum, die stationäre Phase und den Rückgang in der Sterbephase.
- **3** Nehmen Sie Stellung zur Aussage: „Bakterien sind primitiv“.
Die Aussage trifft einerseits zu, weil prokaryotische Zellen einfach strukturiert sind. Sie trifft andererseits nicht zu, weil Bakterien „Hochleistungszellen“ sind, enorme Wachstums- und Vermehrungsraten aufweisen können, sich schnell anpassen können und weil es unter den Bakterien eine große Stoffwechselvielfalt gibt.

Praktische Tipps

Alltagsvorstellungen

Viele Schülerinnen und Schüler haben die Vorstellung, dass alle Bakterien schlecht für den Menschen sind und Krankheiten verursachen: Sie greifen den menschlichen Organismus an, indem sie in diesen eindringen, Prozesse stören und Zellen schädigen. Auf die Frage nach nützlichen Vertretern kann oftmals keine zufriedenstellende Antwort gegeben werden. Es bietet sich daher an, aufbauend auf das erarbeitete

Wissen über die Besonderheiten der prokaryotischen im Vergleich zur eukaryotischen Zelle die Alltagsvorstellungen der Lerngruppe aufzugreifen und der Frage nachzugehen, welche für uns Menschen essenziellen Leistungen Bakterien erbringen. Mithilfe des Arbeitsblatts „Die Darmflora — Prokaryoten im menschlichen Körper“ (s. Lehrerband S. 55) lässt sich dies am Beispiel der Darmflora erarbeiten.

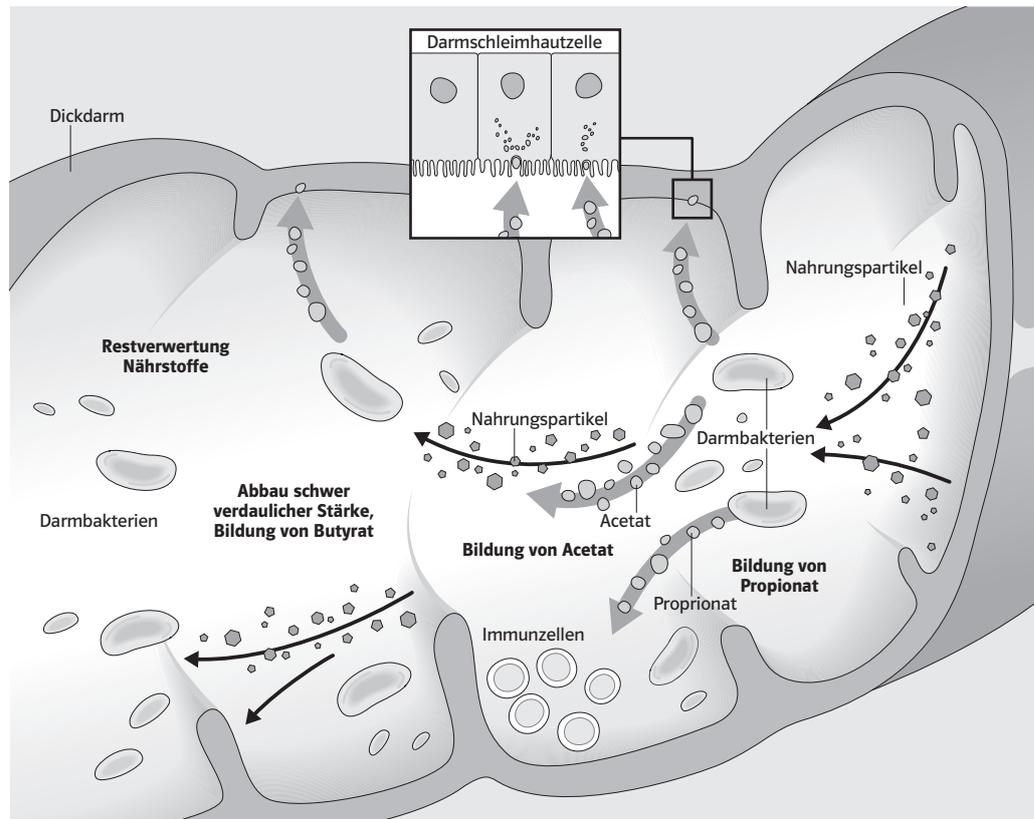
Zusatzinformation

Prokaryoten beeinflussen uns

Die Zusammensetzung unserer Darmflora, auch intestinale Mikrobiota genannt, rückt zunehmend in den Fokus der Forschung, da sich durch ihre Analyse u. a. Erkenntnisse für das Risiko weit verbreiteter Krankheiten, wie Arteriosklerose oder Diabetes, ergeben. Die intestinalen Mikrobiota übernehmen eine Vielzahl existenzieller Funktionen:

- Nahrungsbrei in seine Bestandteile aufspalten,
- Abwehr gegen Krankheitserreger bilden, die über den Darm in den Organismus eindringen können,
- effektive Aufnahme verschiedener Vitamine,
- Versorgung des Darmepithels.

Die auf dem Arbeitsblatt „Die Darmflora — Prokaryoten im menschlichen Körper“ (s. Lehrerband S. 55) beschriebenen Labortiere ohne Darmflora zeigen daher deutliche körperliche Defizite, wie eine dünnere Darmwand und weicheren Kot, gegenüber Tieren mit Darmflora. Sie wiegen weniger und haben weniger Körperfett.



1 Vorteilhafte Funktionen der Darmflora

Literatur- und Medienhinweise

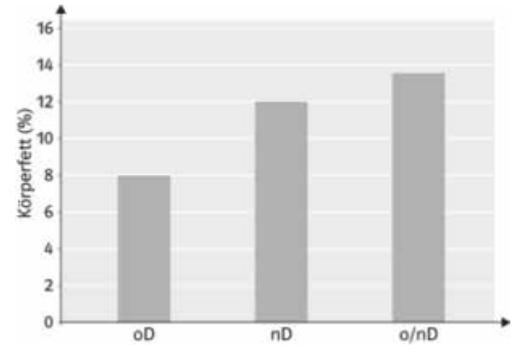
Gérard, P.: Übergewicht durch Darmflora. In: Spektrum der Wissenschaft spezial 2016/1, S. 24 — 29.

Die Darmflora – Prokaryoten im menschlichen Körper

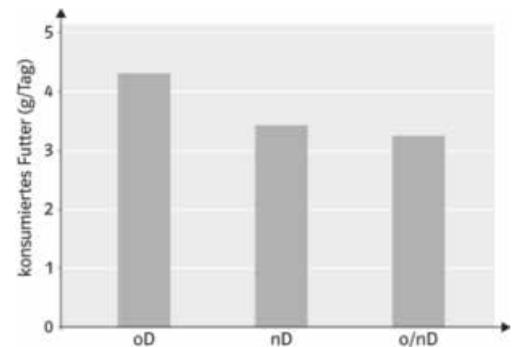
Mehr als 1000 verschiedene Arten von Bakterien und Archaeen leben in unserem Darm und tragen zu einer gut funktionierenden Verdauung bei. Gemeinsam bilden sie die Darmflora. Insgesamt leben in unserem Verdauungstrakt rund 10^{14} Prokaryoten, die zusammen rund 1 kg wiegen. Hinzu kommen Einzeller, deren Menge und Funktion noch nicht vollständig erforscht sind.

Die im Darm vorhandenen Bakterien können in Großgruppen eingeteilt werden, wie z. B. Firmicutes, Bacteroidetes oder Proteobacteria. Ein kleiner Teil der Bakterien kommt bei allen Menschen gleichermaßen vor, sie bilden den Grundstock der Darmflora. Der weitaus größere Teil der Darmflora ist jedoch von Mensch zu Mensch individuell ausgeprägt.

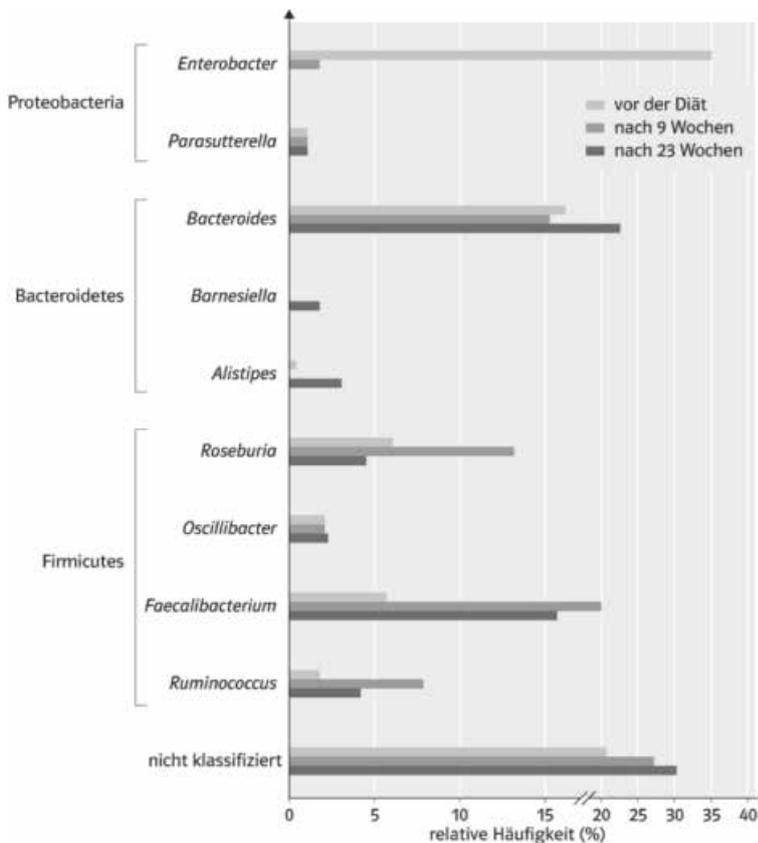
Für die genaue Analyse der Darmflora in einer wissenschaftlichen Studie wurden Mäuse oder Ratten ohne Darmflora (oD) gezüchtet. Der Vergleich dieser Mäuse mit Mäusen mit einer normalen Darmflora (nD) und Mäusen ohne Darmflora, denen die gewöhnliche Darmflora verabreicht wurde (o/nD), führte zu den Ergebnissen in Abb. 1 und 2.



1 Körperfettanteil in Abhängigkeit der Darmflora



2 Konsumiertes Futter in Abhängigkeit der Darmflora



3 Darmflora der Versuchsperson

In einer weiteren Studie wurde die Zusammensetzung der menschlichen Darmflora ermittelt. Ziel war es herauszufinden, welche Bakterien einen Einfluss auf den Körperfettanteil haben könnten. Hierfür wurde die Darmflora einer Versuchsperson mit durch Fehlernährung (besonders fettreiche Nahrung) bedingtem starkem Übergewicht (174,8 kg) analysiert. Anschließend wurde der bis dahin gewohnte, unausgewogene Ernährungsstil durch eine ausgewogene Ernährung ersetzt. Dies führte zu einer Gewichtsreduzierung von 51,4 kg innerhalb von 23 Wochen. Die Darmflora wurde nach 9 und 23 Wochen abermals analysiert. Die Ergebnisse sind in Abb. 3 dokumentiert.

- 1 Beschreiben Sie die Versuchsergebnisse von Abb. 1 und 2 und erklären Sie diese.
- 2 Analysieren Sie Abb. 3 und stellen Sie einen Zusammenhang zwischen Übergewicht und Darmflora her.
- 3 Entwickeln Sie eine weiterführende Testreihe, mit der die Ergebnisse von Abb. 3 bestätigt werden könnten.

ARBEITSBLATT

Die Darmflora — Prokaryoten im menschlichen Körper

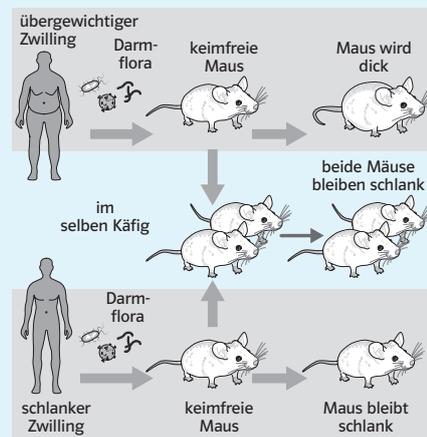
Lösungen

- Der Körperfettanteil einer Maus ohne Darmflora beträgt 8 %. Eine Maus mit eigener Darmflora besitzt ca. 12 % Körperfett. Überträgt man einer Maus ohne Darmflora die Darmflora einer anderen Maus, so steigt der Körperfettanteil sogar auf fast 14 %. Sieht man sich zudem Abb. 2 an, so fällt auf, dass Mäuse ohne Darmflora trotz geringstem Körperfettanteil die meiste Nahrung zu sich nehmen. Mäuse mit eigener Darmflora nehmen weniger Nahrung am Tag auf, zeigen jedoch höhere Körperfettwerte. Noch drastischer sieht das Ergebnis bei Mäusen mit übertragener Darmflora aus. Sie nehmen den geringsten Anteil an Nahrung zu sich, zeigen jedoch den höchsten Körperfettanteil. Dies könnte daran liegen, dass die Mäuse vor der Darmflora-Übertragung in einer Mangelsituation waren und dann eine noch bessere Nahrungsverwertung und Körperfettbildung zeigten. Das Ergebnis könnte auch dadurch bewirkt sein, dass evtl. größere Mengen an Darmflora übertragen wurden. Prinzipiell sorgt die Darmflora für die Aufnahme und Verwertung der verabreichten Nahrung. Ist keine Darmflora vorhanden, sind dementsprechend auch keine Bakterien an der Zerlegung komplexerer, teilweise schwer verdaulicher Substrate beteiligt. Diese verlassen den Organismus daher unverdaut. Ist die Darmflora vorhanden, wird die Nahrung besser verdaut und mehr Fett eingelagert.
- Die Versuchsperson wird im Material als übergewichtig beschrieben. Vor Beginn der Nahrungsumstellung machten Bakterien der Gruppe *Enterobacter* ca. 35 % der Darmflora aus. Die zweitgrößte Gruppe war mit ca. 18 % *Bacteroides*, gefolgt von *Roseburia* mit 7 %. Viele weitere Bakterien konnten vor Beginn der Nahrungsumstellung identifiziert werden. Nach neun Wochen hatte sich das Vorkommen der einzelnen Bakterien schon signifikant verändert. Einige Bakterien, wie *Roseburia*, *Faecalibacterium* und *Ruminococcus*, waren häufiger anzutreffen als noch vor Beginn der Nahrungsumstellung. Besonders die am häufigsten aufgetretene Gruppe *Enterobacter* sank in ihrer Häufigkeit auf ca. 2 %. Nach 23 Wochen zeigte sich abermals ein verändertes Bild der Darmflora. Bisher kaum in Erscheinung getretene Bakterien, wie *Barnesiella* oder *Alistipes*, waren nun häufiger vorhanden. Einige Arten, wie z. B. *Parasutterella* oder *Oscillibacter*, zeigten während des gesamten Versuchszeitraumes kaum Veränderungen in der Häufigkeit. Am signifikantesten ist die Veränderung in der Häufigkeit von *Enterobacter*. Zu Beginn des Versuches war es mit ca. 35 % noch das am häufigsten vorhandene Bakterium. Nach 23 Wochen war es überhaupt nicht mehr nachweisbar. Dies lässt den Rückschluss zu, dass es sich hierbei um ein Bakterium handeln könnte, das dafür sorgt, dass der Körper fettreiche Nahrung besser einlagern kann.
- Für die Bestätigung der dargelegten Hypothese, dass *Enterobacter* für das vermehrte Einlagern von Fett verantwortlich ist, könnten wiederum Mäuse ohne Darmflora genutzt werden. Wie im ersten Versuch könnten die Auswirkungen über den Körperfettanteil von Mäusen analysiert werden. Mäuse ohne Darmflora (oD) und Mäuse ohne Darmflora und *Enterobacter* (EoD) werden über einen bestimmten Zeitraum mit der gleichen Menge an fettreicher Nahrung gefüttert. Wenn *Enterobacter* für die vermehrte Fetteinlagerung verantwortlich ist, dann müssten EoD-Mäuse einen größeren Körperfettanteil haben als oD-Mäuse. Zusätzlich könnte man auch ein weiteres Bakterium in die Versuchsreihe einbeziehen, das erst nach 23 Wochen in der Darmflora nachweisbar war, wie z. B. *Barnesiella*. Theoretisch könnte dies einen genau gegenteiligen Effekt haben und Fetteinlagerungen verhindern.

Zusatzinformation

Da es anhand der bisher durchgeführten Studien Hinweise darauf gab, dass die Kombination aus Umwelt- und genetischen Faktoren die Zusammensetzung unserer Darmflora beeinflusst, hat man das in Abb. 1 dargestellte Experiment mit der Darmflora eines eineiigen Zwillingspaars durchgeführt.

Erstaunlicherweise blieben beide Mäuse, wenn sie gemeinsam in einem Käfig gehalten wurden, schlank. Da Mäuse den Kot ihrer Artgenossen fressen, können sie dadurch ihre Darmflora austauschen. Die Darmflora der schlanken Maus konnte offensichtlich die Darmflora der dicken Maus verdrängen. Dies könnte für therapeutische Zwecke genutzt werden.



1 Zwillingsexperiment

Material: Endosymbiontentheorie

[SB S. 40]

Material: Trennung von Zellbestandteilen durch Zentrifugation

[SB S. 41]

So können Sie mit dem Thema arbeiten	
Einstieg/Motivation	<p>Leitfragen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Welche Besonderheiten zeigen die Zellorganellen Chloroplasten und Mitochondrien? • Wie sind diese Organellen entstanden? <p>Methodenauswahl</p> <p>Anhand eines schematischen Bildes eines Mitochondriums und eines Chloroplasten (Abb. 1 im Schülerbuch S. 27) werden die Besonderheiten dieser Zellorganellen im Vergleich zu anderen membranumgebenen Zellorganellen im Unterrichtsgespräch gesammelt und herausgestellt. Im Anschluss werden Hypothesen formuliert, welche Ursachen für diese Besonderheiten verantwortlich sein könnten.</p>
Erarbeitung	<ul style="list-style-type: none"> • Mit dem Film „Zellorganellen — Die Endosymbiontentheorie“ (s. Literatur- und Medienhinweise, Lehrerband S. 58) kann die Endosymbiontentheorie vorgestellt werden. • Die Schülerinnen und Schüler informieren sich mit dem Schülerbuch S. 40 über den Ablauf der Endosymbiose und die Hinweise im Bau der Mitochondrien und Chloroplasten, die auf die Endosymbiontentheorie rückschließen lassen. • Die Schülerinnen und Schüler bearbeiten die Aufgaben 1, 2 und 4 im Schülerbuch S. 40, ggf. zusätzlich Aufgaben 3 und 5 (Binnendifferenzierung).
Sicherung	Die Ergebnisse zu den Aufgaben 1, 2 und 4 (bzw. auch 3 und 5) aus dem Schülerbuch S. 40 werden im Unterricht vorgestellt und besprochen.
Vertiefung	Ausgehend von den in den Aufgaben formulierten Belegen für die Endosymbiontentheorie kann mithilfe des Arbeitsblatts „ <i>Nuclearia spec.</i> — ein besonderer Einzeller“ (s. Lehrerband S. 59) ein weiterer Beleg für diese Theorie aufgezeigt werden.

Lösungen

[zu SB S. 40]

- **1** Beschreiben Sie mithilfe von Abb. 1 die Entstehung der Ur-Tierzelle und der Ur-Pflanzenzelle.
Ur-Tierzelle: Bildung eines Zellkerns durch Einstülpungen der Zellmembran, die das genetische Material umschließen/Aufnahme eines aeroben Prokaryoten durch Einstülpung der Zellmembran (Endocytose) und dessen stabile Integration in die Zelle — Evolution eines aeroben Eukaryoten; Ur-Pflanzenzelle: zusätzliche Aufnahme eines fotosynthetisch aktiven Prokaryoten durch Einstülpung der Zellmembran und dessen stabile Integration
- **2** Erläutern Sie das Zustandekommen von zwei Membranen, die Chloroplasten und Mitochondrien begrenzen.
Die innere Membran stammt vom ursprünglichen Prokaryoten ab/äußere Membran stammt von der Urzelle ab, die durch eine Einstülpung den Prokaryoten aufgenommen hat.
- **3** Der einzellige Erreger der Malaria (Plasmodium) besitzt ein Organell (Apicoplast), das von vier Membranen umgeben ist.
 Stellen Sie eine Hypothese zur Entstehung des Apicoplasten auf.
Er ist durch Aufnahme einer eukaryotischen Zelle entstanden, die einen einzigen Chloroplasten enthielt (sekundäre Endosymbiose).
- **4** Begründen Sie mithilfe von Abb. 2 die Richtigkeit der Endosymbiontentheorie.
Diese beiden Organellen gehen auf Prokaryoten zurück, weil sie ein ähnliches genetisches Material aufweisen, über eine eigene Proteinbiosynthese mit 70-S-Ribosomen verfügen, sich wie Prokaryoten mithilfe von mikrotubulähnlichen Strukturen teilen und ihre innere Membran einen ähnlichen Bau wie prokaryotische Membranen aufweist.
- **5** Im Laufe der Evolution wurden viele ursprünglich prokaryotische Gene aus den Organellen in den Zellkern übertragen.
 Stellen Sie eine Hypothese auf, wie dies die Integration der Prokaryoten in die Zelle begünstigte.
Durch den Transfer von Genen in den Zellkern wurde eine Abhängigkeit der ursprünglich frei lebenden Prokaryoten von der sie umgebenden Zelle geschaffen. Eine Koordination und Feinabstimmung zwischen der Zelle und den ursprünglichen Prokaryoten wurde dadurch möglich.

Lösungen

[zu SB S. 41]

- 1 Nennen Sie Beispiele aus dem Alltag, bei denen das Prinzip der Zentrifugation verwendet wird.
Saftpresse, Salatschleuder, Waschmaschine u. a.
- 2 Erklären Sie die Funktionsweisen der beiden Verfahren der Zellfraktionierung.
Differenzielle Zentrifugation: Auftrennung in mehreren Zentrifugationsschritten aufgrund unterschiedlicher Sedimentationsgeschwindigkeiten der einzelnen Zellbestandteile; Dichtegradienten-Zentrifugation: Auftrennung in einem Dichtegradienten (Zellbestandteile reichern sich im Gradienten an Stellen mit ähnlicher Dichte an.)
- 3 Erläutern Sie Vor- und Nachteile der jeweiligen Zellfraktionierung.
Vor- und Nachteile der Dichtegradientenzentrifugation: Nur ein Zentrifugationsschritt ist schonender für die Organellen. Jedoch können die unterschiedlichen Organellen beim Abpipettieren im gleichen Zentrifugenröhrchen vermischt werden. Vor- und Nachteile der Differentiellen Zentrifugation: Mehrere Zentrifugations- und Pipettierschritte können die Organellen beschädigen. Bei der Entnahme des Sediments aus dem Röhrchen ist die Gefahr einer Vermischung von Organellen jedoch ausgeschlossen.
- 4 Bei einer Dichtegradientenzentrifugation von homogenisierten Pflanzenzellen ergibt sich eine weitere Zellfraktion. Stellen Sie eine Hypothese auf, um welche Zellfraktion es sich handeln könnte.
Die grüne Bande entsteht durch Chloroplasten.

Zusatzinformation

Die Endocytose als ein beobachtbarer zellulärer Prozess zur Aufnahme von großen Partikeln oder von Zellen legt nahe, dass dieser Prozess im Laufe der Evolution auch bei der Entstehung der eukaryotischen Zellorganellen mit zwei Biomembranen eine Rolle gespielt haben könnte. Diese sogenannte „Endosymbiontentheorie“ wurde erstmals vom russischen Biologen Konstantin Mereschkovskij (1865 – 1921) formuliert. Sie besagt, dass die r-Mitochondrien und Chloroplasten aus bereits selbstständig lebensfähigen Prokaryoten entstanden sind.

Man geht davon aus, dass es zunächst zu einer Aufnahme der Mitochondrien kam, da sich Mitochondrien in allen eukaryotischen Zellen befinden, während Chloroplasten fast immer nur im Pflanzenreich auftreten. Das Zusammenleben der aufgenommenen Prokaryoten war eine Lebensgemeinschaft, die gegenseitige Vorteile mit sich brachte. Nach allen Erkenntnissen lebten die Vorgänger der Mitochondrien aerob und heterotroph. Die anaerob lebende Wirtszelle hatte so in einer Umgebung mit steigendem Sauerstoffgehalt einen Endosymbionten, der den Sauerstoff zur oxidativen Umsetzung der von der Wirtszelle bereitgestellten energiereichen organischen Verbindungen nutzen konnte. Die Vorgänger der Chloroplasten waren ver-

mutlich fotoautotrophe Prokaryoten. Nach der Aufnahme durch die Wirtszellen konnten diese noch zusätzlich das Sonnenlicht zur Herstellung energiereicher organischer Verbindungen nutzen. In den nun pflanzlichen Eukaryoten-Zellen konnte der oxidative Abbau dieser Verbindungen zur Energiebereitstellung durch die Mitochondrien stattfinden, was die Symbiose noch weiter optimierte.

Die Plausibilität der Endosymbiontentheorie wird durch viele Fakten gestützt. Neben der bereits im Schülerbuch S. 40 genannten Daten gibt es weitere, die im Unterrichtsgespräch ergänzend diskutiert werden können:

- Die Größe der Organellen entspricht der von Bakterien.
- Die inneren Membranen zeigen biochemische Ähnlichkeit mit den Biomembranen der rezenten Prokaryoten im Hinblick auf Membranbausteine, Enzyme und Transportsysteme.
- Die DNA der Organellen ist, im Gegensatz zur Zellkern-DNA, nicht an Histone gebunden.
- Alle „Werkzeuge“ der Proteinbiosynthese (Ribosomen, t-RNAs) sind im Organell vorhanden.
- Die Mitochondrien und Chloroplasten zeigen eine Empfindlichkeit gegenüber bestimmten Antibiotika.

Literatur- und Medienhinweise

Campell, N. A., Reece, J. B.: Mitochondrien und Plastiden stammen von endosymbiontischen Bakterien ab. Pearson Studium, München 2006, S. 655 – 658.
Posch, T., Pitsch, G.: Einzeller des Jahres 2019: Nuclearia: Ein Einzeller, der selten alleine is(s)t! 2019. <http://www.protozoologie.de>

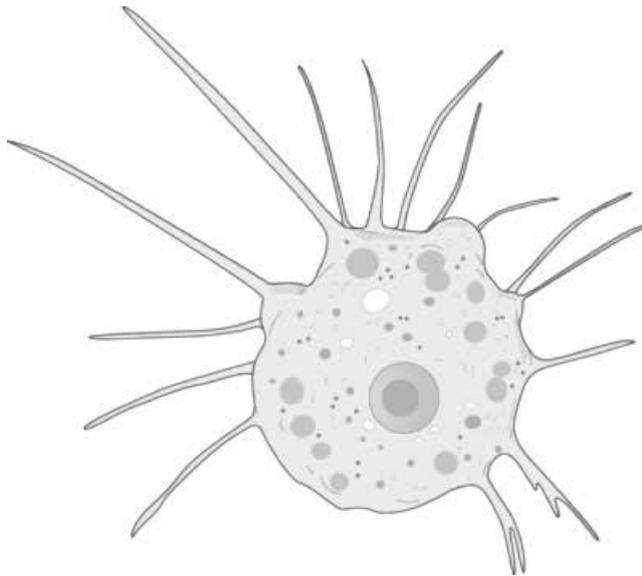
Film: Zellorganellen: Die Endosymbiontentheorie. Max Plank Wissenschaftsfilme, 2015. 05 :00 min. <https://www.youtube.com/watch?v=9LTMDLDsL98>

***Nuclearia spec.* – ein besonderer Einzeller**

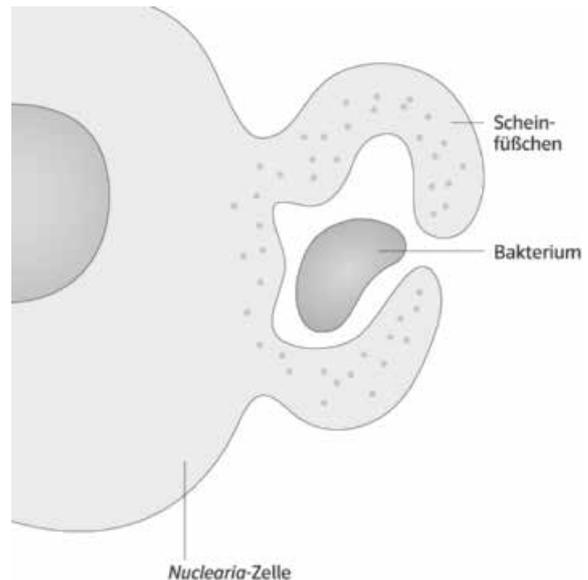
Nuclearia spec. wurde von der Deutschen Gesellschaft für Protozoologie zum Einzeller des Jahres 2019 ernannt. Dieser Einzeller zeigt nach neueren Untersuchungen viele interessante Besonderheiten. Der Name „*Nuclearia*“ rührt daher, dass die Zellen einen deutlich sichtbaren Zellkern (Nucleus) besitzen.

Es konnten unterschiedliche Wechselbeziehungen zwischen *Nuclearia*-Arten und verschiedenen Bakterien festgestellt werden. Zum einen besitzt *Nuclearia spec.* eine äußere Schleimschicht, die von Bakterien besetzt wird. Außerdem wurde gezeigt, dass die Einzeller oft Bakterien in ihre Zelle aufnehmen und mit diesen eine dauerhafte Lebensgemeinschaft eingehen.

Nuclearia spec. kann in kugeligem Gestalt vorkommen oder als amöboide Form, die durch feine Scheinfüßchen gekennzeichnet ist (Abb. 2). Es wurde beobachtet, dass die Scheinfüßchen von *Nuclearia spec.* Bakterien umfließen und diese dann direkt in die *Nuclearia*-Zelle aufgenommen werden.



1 *Nuclearia spec.* (amöboide Form)



2 *Nuclearia spec.*: Aufnahme eines Bakteriums

- 1 Begründen Sie, ob es sich bei *Nuclearia spec.* um einen Eukaryoten oder einen Prokaryoten handelt, und grenzen Sie die Zelltypen klar voneinander ab.
- 2 Beschreiben Sie mithilfe der Abb. 1 und 2 sowie des Textes unter Verwendung von Fachbegriffen, wie die intrazellulär lebenden Bakterien in die Zellen der amöboiden Form von *Nuclearia spec.* gelangen können.
- 3 Erläutern Sie, von wie vielen Membranen die intrazellulär lebenden Bakterien umgeben sind und welchen Ursprung diese Membranen haben.
- 4 Stellen Sie Parallelen zwischen den beschriebenen Untersuchungen zu *Nuclearia spec.* und der Endosymbiontentheorie her und bewerten Sie die Bedeutung solcher Organismen für diese Theorie.

ARBEITSBLATT

Nuclearia spec.* — ein besonderer Einzeller*Lösungen**

- 1 Es handelt sich um eine eukaryotische Zelle, da sie einen deutlich sichtbaren Zellkern besitzt. Eukaryoten besitzen im Gegensatz zu Prokaryoten weitere membranumgebene Zellorganellen, wie zum Beispiel Mitochondrien, das Endoplasmatische Reticulum, Dictyosomen und Lysosomen bzw. auch 80-S-Ribosomen.
- 2 In der amöboiden Form von *Nuclearia spec.* bilden sich Scheinfüßchen aus, die das Bakterium umwachsen. Schließlich schnürt sich ein Vesikel nach innen ab, das das Bakterium enthält. Diesen Vorgang nennt man eine Endocytose.
- 3 Das intrazellulär lebende Bakterium ist von zwei Biomembranen umgeben. Die innere Membran stammt vom Bakterium selbst. Die äußere Membran kommt von *Nuclearia spec.* und umgibt nach der Endocytose das Bakterium zusätzlich.

4	Endosymbiontentheorie	Vorgänge bei <i>Nuclearia spec.</i>
	Urtümlicher Prokaryot wird durch Endocytose in die Wirtszelle aufgenommen.	Bakterien werden durch Endocytose nachweislich in die <i>Nuclearia</i> -Einzeller aufgenommen.
	Eine Lebensgemeinschaft zum gegenseitigen Vorteil entsteht (Symbiose).	In <i>Nuclearia</i> -Zellen leben die intrazellulären Bakterien nachweislich dauerhaft weiter, evtl. zum Vorteil beider Organismen.
	Das aus der Endocytose hervorgegangene Organell (z. B. Mitochondrium) ist von zwei Membranen umgeben.	Nach der Endocytose ist das aufgenommene Bakterium von zwei Membranen umgeben.

An derzeit lebenden Organismen wie *Nuclearia spec.* beobachtbare Vorgänge, die Parallelen mit der Endosymbiontentheorie zeigen, stützen die Theorie.