

1 Die Zelle

1.1 Die Zelle — kleinste lebende Einheit

Zelle, Gewebe, Organ

[SB S. 18/19]

So können Sie mit dem Thema arbeiten	
Einstieg/Motivation	<p>Leitfrage Welche Organisationsebenen gibt es in einem Organismus?</p> <p>Methodenauswahl</p> <ul style="list-style-type: none">Für den Einstieg werden den Schülerinnen und Schülern vielfältige Bilder aller Organisationsstufen 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:<ul style="list-style-type: none">– Apfelbaum, ALBERT EINSTEIN, Elefant, Kieselalge– Blatt, Blüte, Auge, Niere, Gehirn– Nervenzellen, Schwammgewebe, Herzmuskulatur– Erythrocyt, Samenzelle, Schließzellen der Spaltöffnung– Mitochondrium, Chloroplast– DNA, Protein– H₂O, O₂Je nach Wissensstand der Lerngruppe können die Begriffe so gewählt werden, dass sie zusätzlich die Möglichkeit bieten, kurz und knapp Themen der Mittelstufe anzureißen.
Erarbeitung	Mithilfe des Arbeitsblatts „Die Organisationsebenen“ (s. Lehrerband S. 11) wird das im Einstieg Besprochene am Beispiel des Menschen konkretisiert und die Thematik durch den Einzeller <i>Paramecium</i> (Pantoffeltierchen) und das Organsystem Haut erweitert.
Sicherung	Für die Besprechung der Aufgabe 2 des Arbeitsblatts „Die Organisationsebenen“ (s. Lehrerband S. 11) steht der Lehrkraft auf der folgenden Seite zusätzliches Material zur Verfügung (s. Zusatzinformation, Lehrerband S. 10). Am Beispiel der Haut kann die Differenzierung von Organ und Organsystem vorgenommen werden.
Vertiefung	Abschließend kann im Schülerbuch S. 18/19 gelesen werden.

Lösungen

[zu SB S. 18/19]

- **1** Ordnen Sie den Bildern aus Abb. 2 die Begriffe Zelle, Gewebe, Organ, Organismus zu.
Organismus: Wasserpest
Organ: Blatt
Gewebe: fotosynthetisch aktive Zellen des Blattgewebes
- **2** Die extrazelluläre Matrix spielt in der medizinischen Forschung mittlerweile eine große Rolle. Erläutern Sie die Gründe für das besondere Interesse daran.
Die extrazelluläre Matrix spielt z.B. eine wichtige Rolle bei der Erforschung der Wundheilung und der damit verbundenen Entwicklung von Materialien mit ähnlichen Eigenschaften (z.B. Barrieren für Erreger) für die Wundversorgung. Ein anderes Beispiel ist die Heilung nach Knochenbrüchen oder Sehnenrissen, die vielleicht beschleunigt werden kann.

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

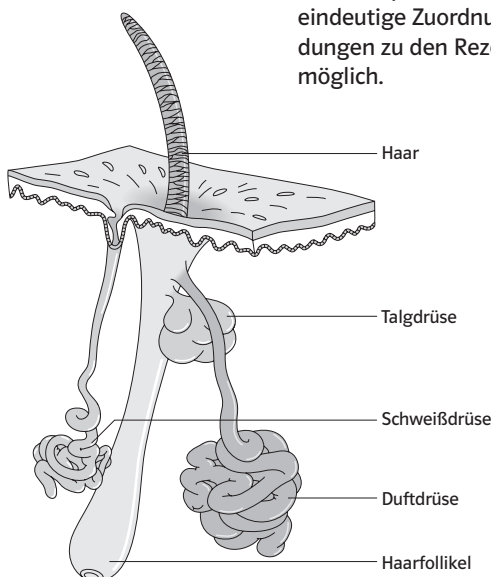
Die Haut wird im Allgemeinen als „Grenzorgan“ bezeichnet, da sie die Barriere zwischen den innerhalb des Organismus konstanten Bedingungen und physikalisch-chemisch wechselnden äußeren Bedingungen darstellt. In der Literatur (s. Literatur- und Medienhinweise) werden jedoch beim Aufbau der Haut Hautsinnesorgane (Sensoren für Tast-, Temperatur- und Schmerzsinne) 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).

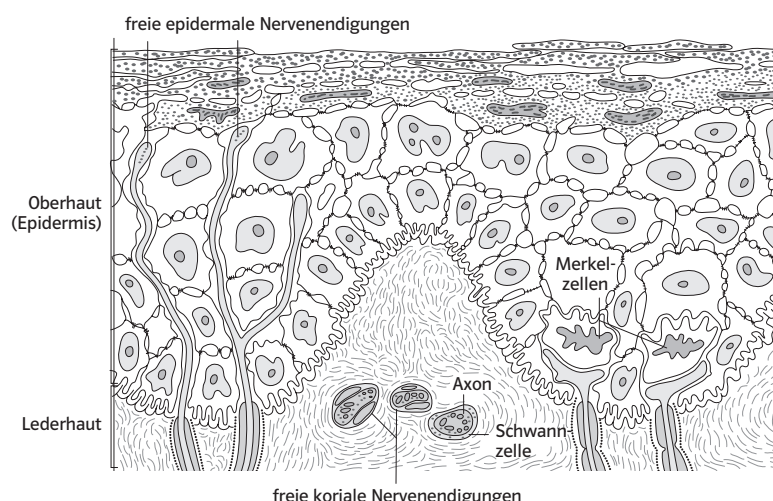
Hautsinnesorgane werden in Nervenendkörperchen und freie Nervenendigungen unterteilt, die je nachdem mit Mechano-, Druck-, Schmerz- oder Temperaturrezeptoren versehen sind. Die eindeutige Zuordnung einzelner Sinnesempfindungen zu den Rezeptortypen ist nicht immer möglich.

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 (dumpfer 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

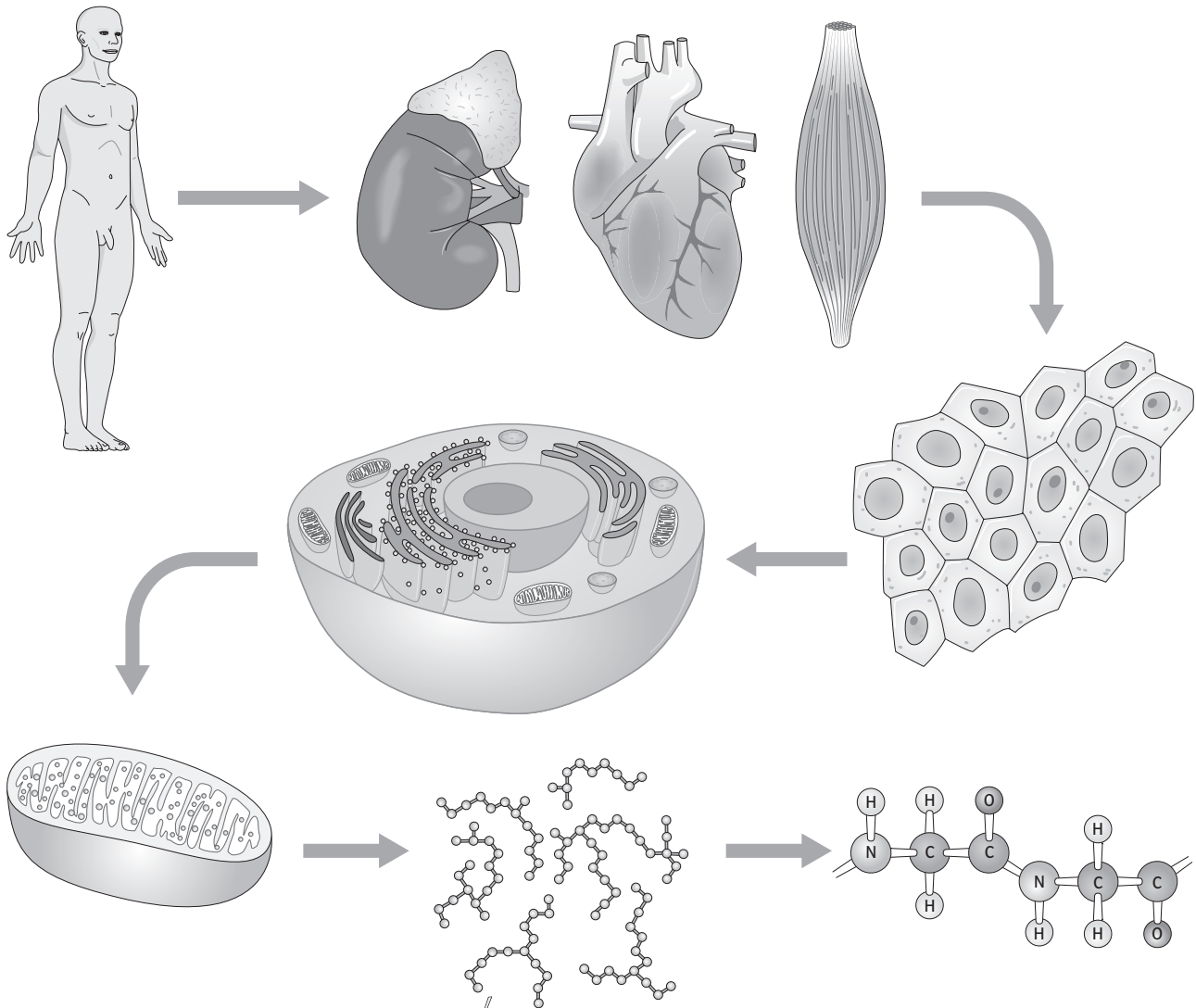


2 Hautsinnesorgane (Querschnitt von Ober- und Lederhaut)

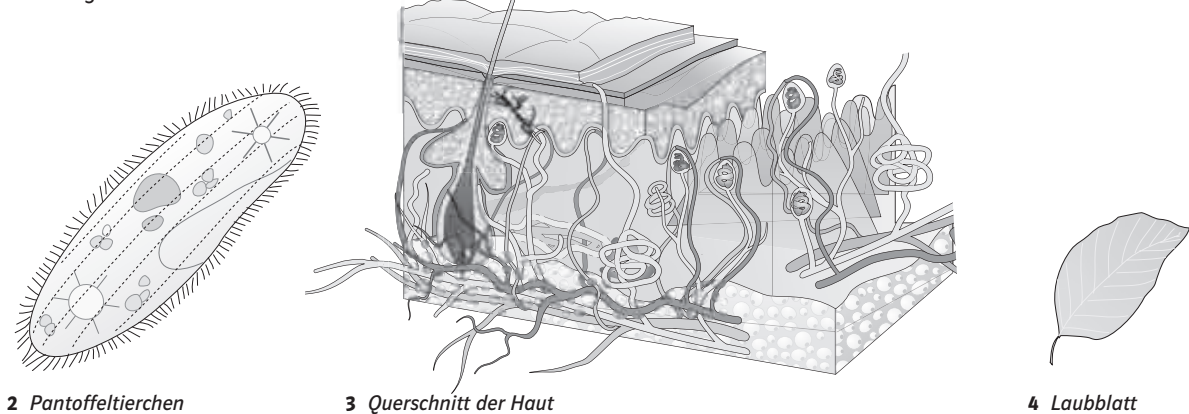
Literatur- und Medienhinweise

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



- 1 Beschriften Sie die dargestellten Organisationsebenen und notieren Sie eine kurze Definition der jeweiligen Strukturebene.
- 2 Benennen Sie jeweils die einzelnen Organisationsebenen für das Pantoffeltierchen, die Haut und das Blatt eines Laubbaumes.
- 3 Nehmen Sie Stellung zu der Aussage „Das Ganze ist mehr als die Summe der Einzelteile“.

ARBEITSBLATT

Die Organisationsebene

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 eines Organismus ist die Zelle.
 Zellorganell: Zellorganellen sind Funktionseinheiten innerhalb einer Zelle mit klar definierter Struktur und Funktion.
 Molekül: Durch Bindungskräfte 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** Organismus: Pantoffeltierchen
 Atom: Sauerstoff, Wasserstoff, ...
 Molekül: z. B. Wasser, ...
 Zellorganell: Nahrungsvakuole, ...
 Zelle: Pantoffeltierchen
 Gewebe: /
 Organ: /
 Organismus: Pantoffeltierchen
- Organ(-system): Haut
 Atom: Kohlenstoff, Wasserstoff, ...
 Molekül: z. B. ATP-Synthase, ...
 Zellorganell: z. B. Mitochondrium
 Zelle: Epidermiszelle
 Gewebe: Epidermis (Oberhaut)
 Organ: Haut
 Organismus: z. B. Mensch
- Organ: Blatt
 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 eine Hierarchie von aufeinander aufbauenden Strukturebenen 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. 20/21]

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 in das Mikroskopieren werden tote Insekten bereitgestellt, die in Gruppenarbeit mithilfe von Binokular und Mikroskop genauer betrachtet werden. Winzige Details der Organismen, wie „behaarte“ Glieder, Komplexaugen oder die Gliederung der Flügel, können angesehen werden. Beobachtungen werden auf weißem Papier skizziert, wobei darauf zu achten ist, dass die Zeichnungen eine angemessene Größe besitzen. • 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.
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 die aufgetauchten Fragen und Probleme thematisiert sowie der korrekte Umgang mit dem Mikroskop erarbeitet. Hierfür wird der Aufbau eines Lichtmikroskops (Arbeitsblatt „Das Lichtmikroskop“, s. Lehrerband S. 15) mit allen wichtigen Einzelteilen und deren Funktion besprochen.
Sicherung	<ul style="list-style-type: none"> • Das ausgegebene Arbeitsblatt „Das Lichtmikroskop“ (s. Lehrerband S. 15) kann in Form einer Folie mit den eingetragenen Begriffen und Funktionen als Unterstützung dienen. • Unbekannte Begriffe werden an dieser Stelle im Unterrichtsgespräch aufgegriffen und der richtige Umgang mit den Schülerinnen und Schülern direkt am Mikroskop thematisiert.
Vertiefung	<p>Um die Grenzen des Sichtbereiches zu verdeutlichen und zukünftige 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.</p>

Lösungen

[zu SB S. 20/21]

- 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 Hypothese auf, an welchen Standorten Pflanzen besonders viele Spaltöffnungen aufweisen.
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

Lösungen

- 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 Ordnen Sie die Stärkekörner Ihrer Präparate dem jeweils passenden Teilbild der Abb. 4 zu. *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.

Zusatzinformation

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. Lehrerband S. 15) Schwierigkeiten haben, die Bestandteile und ihre Funktionen konkret zu benennen. Daher bietet es sich an, die Bestandteile und Funktionen in Form einer Hilfskarte bereit zu halten. Auf diese können schwächere Schülerinnen und Schüler zurückgreifen.

Welche Ausmaße darf mein zu betrachtendes Objekt besitzen?

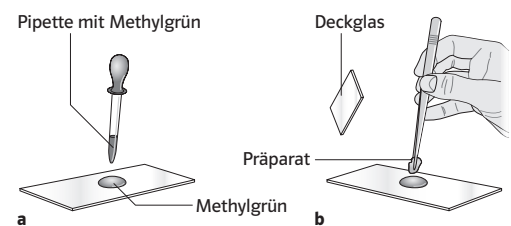
Den Schülerinnen und Schülern fehlt oftmals die Vorstellung für die Ausmaße, vor allem für die Dicke der Objekte. Es bietet sich an, mithilfe von Overheadprojektor und Petrischalen die einzelnen Zellebenen darzustellen. Hierfür stellt man mehrere Petrischalen, in denen sich Objekte, wie z. B. Steine, Radiergummis, Büroklammern oder ähnliches befinden, auf einen Overhead-Projektor. Je mehr Petrischalen aufeinander gestapelt sind, desto schwieriger wird es, einen bestimmten Bereich scharf zu stellen. Dieses 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 Zellmodell veranschaulichen. Hierfür nimmt man eine durchsichtige Plastikbox, die neben einer Walnuss als Zellkern, mit z. B. vielen Gefrier-

beuteln gefüllt ist. Je nach Lage des Zellkernes und Sicht auf die Zelle, kann der Zellkern vom übrigen Zellinhalt verdeckt werden.

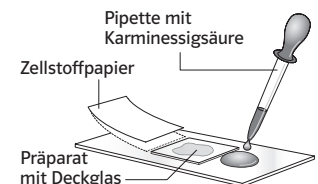
Präparate anfärben

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



1 Anfärben mit Methylgrün

Zoologische und widerstandsfähigere botanische Präparate können mit Karminessigsäure angefärbt werden. Die



2 Anfärben mit Karminessigsäure

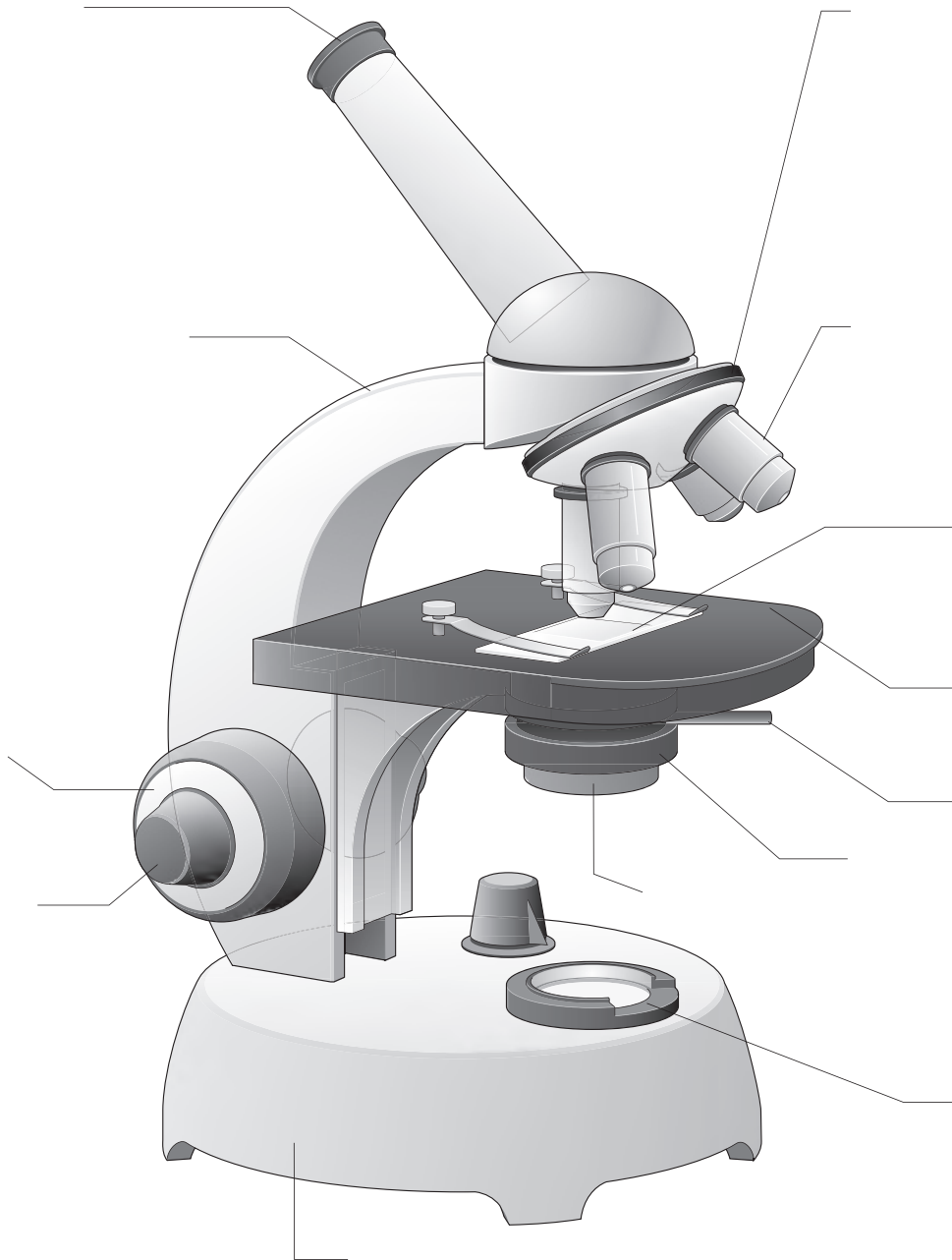
Karminessigsäure wird dafür neben das Deckgläschen getropft und mit Zellstoffpapier (Küchenrolle oder Taschentuch) von der gegenüberliegenden Seite wieder abgesaugt (Abb. 2).

Lebende Organismen werden mit stark verdünnten und optimalerweise kaum toxischen Farbstoffen angefärbt. Hierfür kann man entweder direkt auf dem Objektträger einen Tropfen Neutralrot-Farblösung (1%) und einen Tropfen der Wasserprobe bringen oder man gibt 3–5 Tropfen Neutralrot in ein Becherglas mit ca. 50 ml der zu mikroskopierenden Wasserprobe. Nach 10 Minuten entnimmt man eine Probe und bringt diese auf einen Objektträger auf.

Literatur- und Medienhinweise

TAIZ, L.; ZEIGER, E.: Plant Physiology. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 2007, 4. Auflage

Das Lichtmikroskop



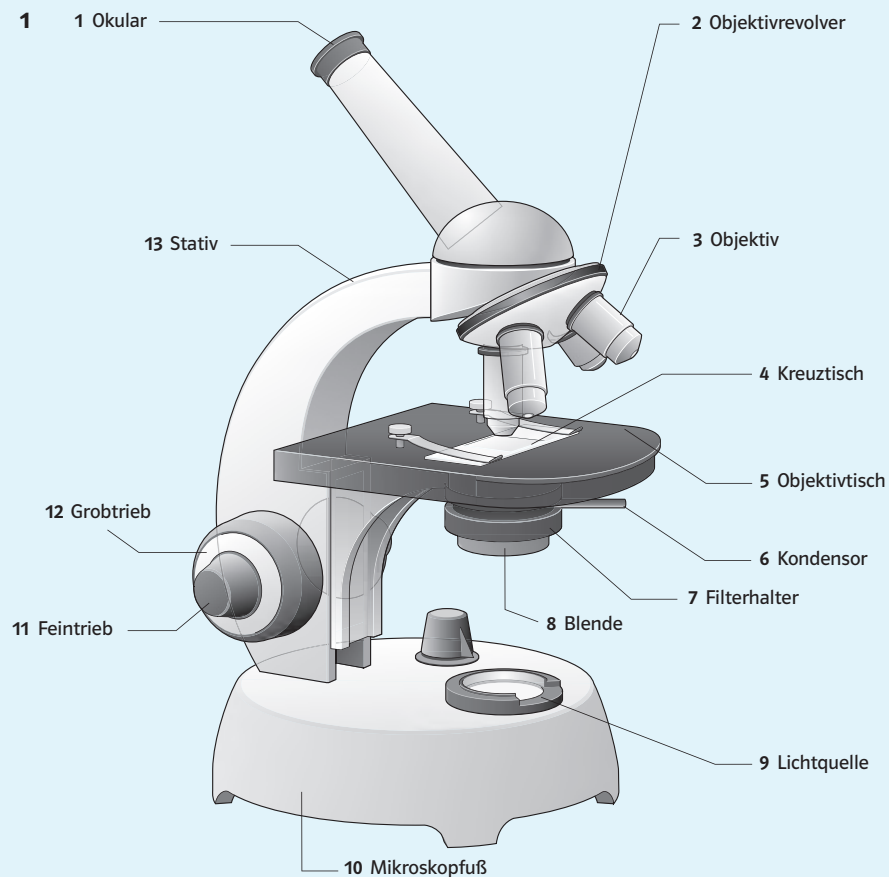
1 Das Lichtmikroskop

- 1 Beschriften Sie die 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.

ARBEITSBLATT

Das Lichtmikroskop

Lösungen



1 Das Mikroskop und seine Bestandteile

- 2
- 1 Okular = besteht aus verschiedenen Linsen und dient zum Hindurchsehen und zur Betrachtung des Objektes.
 - 2 Objektivrevolver = durch Drehen wird ein neues Objektiv eingestellt.
 - 3 Objektive = unterschiedliche Linsen projizieren ein reelles und optisches Abbild des Objektes.
 - 4 Kreuztisch = das Bewegen eines Objektes in zwei Richtungen innerhalb einer Ebene wird hiermit ermöglicht.
 - 5 Objektivtisch = 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.
 - 9 Lichtquelle = erzeugt das nötige Licht.
 - 10 Mikroskopfuß = dient einem sicheren und festen Stand.
 - 11 Feintrieb = hiermit wird der Objektivtisch um Millimeter bewegt, damit ein Objekt exakt betrachtet werden kann.
 - 12 Grobtrieb = hiermit kann der Objektivtisch 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. Wichtig ist es, immer mit der geringsten Vergrößerung zu beginnen. Wenn das Bild hier scharf gestellt werden konnte, kann man das nächst stärker vergrößernde Objektiv auswählen.

Lichtmikroskopie

[SB S. 22/23]

So können Sie mit dem Thema arbeiten	
Einstieg/Motivation	Leitfragen <ul style="list-style-type: none"> Wie funktioniert ein Lichtmikroskop? Warum können auch moderne Lichtmikroskope nur einen begrenzten Bereich sichtbar machen? Methodenauswahl <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"> Der Text im Schülerbuch auf S. 22 thematisiert ausgehend von einer Lupe die Funktion von Linsen und die damit verbundene Entwicklung bis hin zum Lichtmikroskop. Weiterhin kann mit den Schülerinnen und Schülern ein Vergleich der Vergrößerung des Sehwinkels durch Linsen durchgeführt werden. Bearbeitung der Aufgabe 1 im Schülerbuch auf S. 23.
Sicherung	In der Gruppe wird eine einer Antwort auf die Leitfrage „Wie funktioniert ein Lichtmikroskop?“ formuliert.
Vertiefung	<ul style="list-style-type: none"> Die im Schulbuch angesprochenen Grenzen 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. 22/23]

- **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 sicht- 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, kann 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 auch 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. Mithilfe des Fingers kann ebenso ein

Wassertropfen auf die Klarsichtfolie gebracht werden. Durch Bewegen der Deckleiste über einen Text oder Schieben der Klarsichthülle 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 halbrunden kugeligen 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.

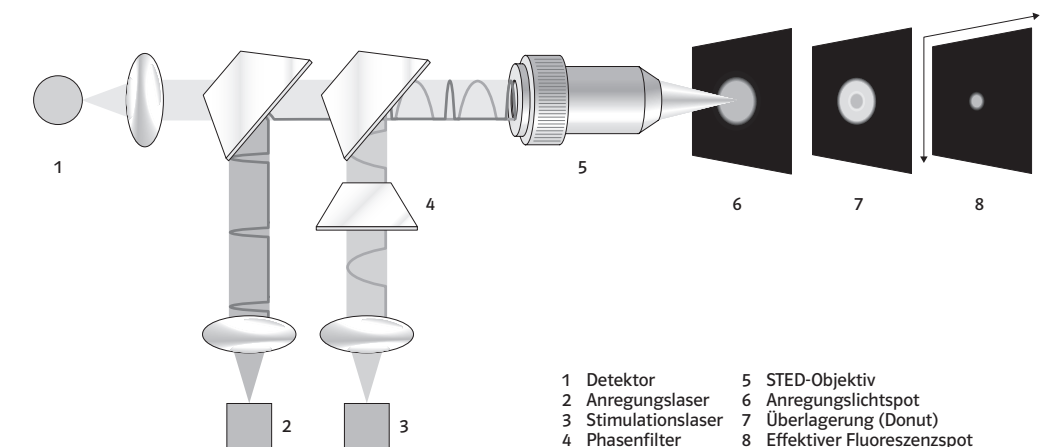
Zusatzinformation

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.

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.



1 Aufbau eines STED-Mikroskops

Hierfür nahm er ein Gitter, bestehend aus vielen sehr eng beieinander liegenden Linien, und berechnete, wie eng diese Linien sein dürfen, so dass 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 dargestellt.

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

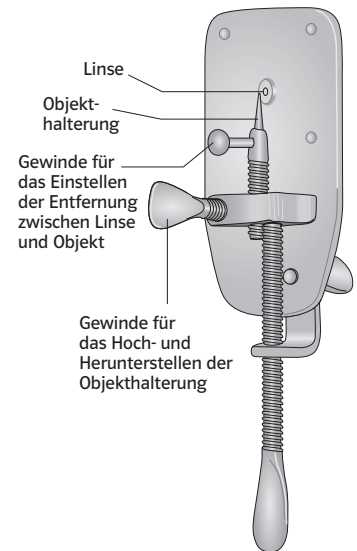
Durch einen Anregungslaser (2) wird einem kleinen Ausschnitt des Präparates Licht einer bestimmten Wellenlänge zugeführt. Dieses sorgt für die Anregung und das daraus resultierende Aufleuchten des Präparats (6). Gleichzeitig wird mithilfe eines Stimulationslasers (3) weiteres Licht hinzugefügt. Dieses 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, so dass lediglich der Mittelpunkt des betrachteten Bereiches (8) sichtbar bleibt. Auf diese Art und Weise wird das gesamte Präparat abgefahren.

Literatur- und Medienhinweise

SIEBER, J. J.: STED-Mikroskopie — Lebendzellbeobachtungen jenseits der Beugungsgrenze. In: Optik & Photonik, 2010, 1, S.36 — 39. http://www.wiley-vch.de/berlin/journals/op/10-01/OP1001_S36—S39.pdf

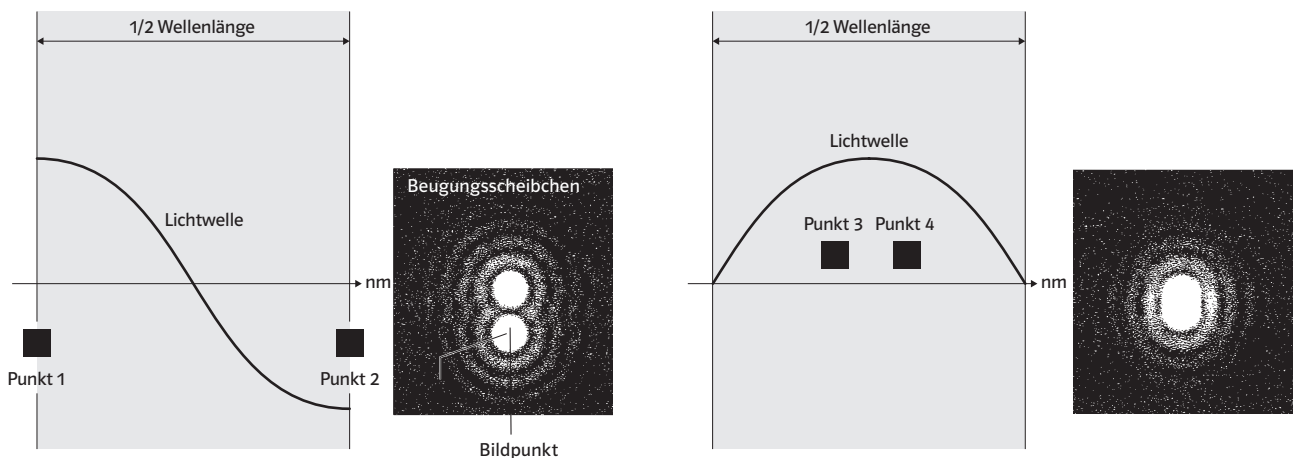
Die Grenzen des Lichtmikroskops

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 erstes, mit einem selbstgebauten Lichtmikroskop einzellige Organismen zu beobachten. Mithilfe selbst entwickelter 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 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 aneinander liegende 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 (s. Schülerbuch S. 22 / 23) und beschreiben Sie die Vorgehensweise.

ARBEITSBLATT

Die Grenzen des Lichtmikroskops

Lösungen

- 1 Das von 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 kann wie durch ein Schlüsseloch durch die Linse betrachtet werden.
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 Objektivtisch 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 kann das Handmikroskop so gehalten werden, dass optimale Lichtverhältnisse geschaffen werden. Anstatt einer Linse besitzen heutige Lichtmikroskope zwei Linsensysteme (Objektiv und Okular). Weitere auf die Sichtbarkeit eines Objektes einflussnehmenden Bestandteile heutiger Mikroskope sind Feintrieb, Kondensor 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 Mensch wahrnehmbare Wellenlänge. Alle anderen sichtbaren Farben haben eine größere Wellenlänge. Rotes Licht hat z.B. mit 780 nm fast die doppelte Wellenlänge von Blau. Da es sich bei blauem Licht um die kleinste Wellenlänge handelt, ist auch der Abstand, den zwei Punkt in blauem Licht haben dürfen, damit sie noch als einzelne Punkte erkennbar sind, geringer als dies bei rotem Licht (780 nm) der Fall wäre.
- 4 Individuelle Lösung, verwendbares Material: STED-Mikroskopie (s. Schülerbuch S. 23 und Zusatzinformation Lehrerband S.18 und 20).

Zusatzinformation

Funktionsweise eines STED-Mikroskops

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 dies donutförmig mittels stimulierter Emission ausgeschaltet. Der Bereich bleibt dunkel. Wiederholt man diesen Vorgang mit dem gesamten Präparat, ergibt sich ein Bild, das deutlich schärfer ist, als dies mit anderen Lichtmikroskopen möglich wäre.