

Kapitel 06.01: Einzeller und die Mikroskopie von Zellen



Cymatopleura solea (eine Diatomee) - ein einzelliges Lebewesen

Inhalt

Kapitel 06.01: Einzeller und die Mikroskopie von Zellen.....	1
Inhalt.....	2
Was ist Cytologie?.....	3
Kennzeichen aller Lebewesen.....	4
Die Gruppen der Lebewesen.....	5
Tierische Zellen:.....	5
Pflanzliche Zellen.....	5
Merkmale des Lebens.....	7
Beobachtung von Zellen: Auflösungsvermögen.....	8
Optische Untersuchungsgeräte der Cytologie I - Die Lupe.....	8
Optische Untersuchungsgeräte der Cytologie II - Das Lichtmikroskop als Werkzeug der Biologie.....	9
Die Begründer der Mikroskopie und der Zellenlehre.....	9
Aufbau des Lichtmikroskops.....	10
Optische Untersuchungsgeräte der Cytologie III - Das Elektronenmikroskop (EM).....	11
Aufbau des Elektronenmikroskops:.....	11
Es gibt zwei verschiedenen Prinzipien der Elektronenmikroskopie:.....	11
Die historische Entwicklung der Mikroskopie.....	12
Übersicht über die Färbemittel.....	13
Herstellung von Kongorothefe.....	13
Mikroskopieren von tierischen Zellen: Pantoffeltierchen, Amöben & Mundschleimhaut.....	14
Das Pantoffeltierchen - ein Einzeller.....	15
Aufbau des Pantoffeltierchens:.....	15
Weitere Merkmale der Pantoffeltierchen:.....	16
Das Pantoffeltierchen.....	17
Paramecium bursaria – ein besonderes Pantoffeltierchen.....	18
Aufgaben und Lösungen.....	19
Weg der Nahrung.....	19
Die Amöbe, ein Einzeller ohne feste Gestalt.....	20
Mikroskopieren von pflanzlichen Einzellern & Vielzellern: Zwiebelhautzelle, Wasserpest.....	21
1. Mikroskopierübung bei Zwiebelzellen.....	21
2. Wasserpest.....	23
Einzellige Organismen - die Grünalge Chlamydomonas.....	24
Der Blutschnee.....	24
Euglena - Das „Augentierchen“ - Tier oder Pflanze?.....	25
Tierische und pflanzliche Merkmale bei Euglena.....	25
Besonderheiten von Euglena:.....	26
Aufgaben zum Mikroskopieren:.....	27
Hypothetische Stammbaumeinordnungen.....	28
Einzellige Algen und Zellkolonien.....	29
Wie ist eigentlich die Vielzelligkeit entstanden?.....	29
a) Chlamydomonas.....	29
b) Zellkolonien: Gonium (4-16 Zellen), Pandorina (16 Zellen) und Eudorina (32 Zellen).....	29
c) Kugelalge Volvox.....	29
Formenvielfalt der Familie der „Volvocaceae“:.....	29
Vergleich von einzelligen Algen, der Kolonien und Volvox.....	30
Lösungen zum Arbeitsblatt.....	31
Fotos der Kugelalge Volvox.....	32
Algen.....	33
Kapsal (Pediastrum).....	35

Was ist Cytologie?

Die Cytologie ist die biologische Teildisziplin, welche als Wissenschaft die Zelle erforscht. Cyte bedeutet „Zelle“, Logos hingegen „Wort“.

Man kann Cytologie also am ehesten mit dem Begriff „Lehre der Zellbiologie“ übersetzen. Von besonderem Interesse sind dabei Zellbestandteile und die in Zellen ablaufenden Reaktionen.

Auch Beziehungen zwischen Zellen und Vorgänge zur Vermehrung sind Gegenstand der Forschung.

Die Zellbiologie ist Bestandteil vieler biologischer Disziplinen. Man findet sie in der Botanik, Biochemie, Entwicklungsbiologie, Immunologie, Molekularbiologie, Physiologie und der Zoologie. Besonders enge Beziehungen liegen dabei vor allem zur Genetik vor.

Cytologie ist die Lehre von den Zellen.

Zusatzinformationen

<https://de.wikipedia.org/wiki/Zellbiologie>

Kennzeichen aller Lebewesen

Betrachtet man die Haut eines Menschen auf dem Handrücken oder die Oberfläche eines Laubblatts, so sieht man als Gemeinsamkeit eine feine Struktur, die netzartig aufgebaut ist. Diese Strukturen sind die Zellen. Aus ihnen sind alle Lebewesen aufgebaut!

=> Die Zelle ist die kleinste Einheit des Lebens!

Viele Zellen vom gleichen Zelltyp lagern sich zu einem Gewebe bzw. Organ zusammen.

Bsp.: Die Haut (2m²), Muskeln, Gehirn, Herz, Sinnesorgane, Skelett, usw...
(auch das Skelett ist ein Organ - es besteht aus ca. 200 Knochen und Knorpel).

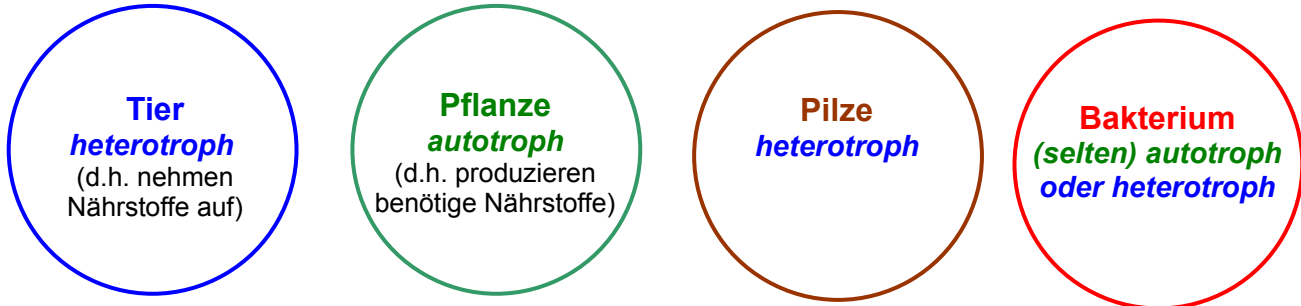
Die Organe ergeben in ihrer Gesamtheit das Organsystem. Alle Organsysteme bilden dann das Lebewesen:

Zelle -> Gewebe -> Organ -> Organismus

Die Gruppen der Lebewesen

Zellen findet man bei allen Lebewesen. Um die ganze Natur zu beschreiben, haben Biologen sie in vier Gruppen eingeteilt. Früher wurden diese auch Reiche genannt. In jeder Gruppe unterscheiden sich die Zellen in wesentlichen Merkmalen und demzufolge unterscheiden sich die Zellen in ihren Fähigkeiten und Funktionen.

Zu den Lebewesen gehören 4 Gruppen (Reiche): Tiere, Pflanzen, Pilze und Bakterien.



Zellatmung

Photosynthese
Zellatmung
Chloroplasten
Zellwand aus Zellulose
Vakuole

Zellwand
aus Chitin

einige mit Photosynthese
viele mit Zellatmung
einige mit Gärung

Tierische Zellen:

Stoffwechsel „heterotroph“ (d.h. sie müssen Nährstoffe aufnehmen)

Zellatmung:



Zusatzinformationen: <https://de.wikipedia.org/wiki/Tiere>

Pflanzliche Zellen

Drei Merkmale:

- große Zellsaftvakuole
- Zellwand (welche über der Zellmembran liegt)
- Chloroplasten (Ort der Photosynthese)

Stoffwechsel „autotroph“ (d.h. sie machen ihre Nährstoffe selbst)

- Photosynthese:



- Zell-Atmung (heterotroph):



Beachte: Auch Pflanzen haben Zellatmung! Sie müssen schließlich auch die durch die Photosynthese hergestellten energiereichen Stoffe verwenden!

Zusatzinformationen: <https://de.wikipedia.org/wiki/Pflanzen>

Bakterienzellen

- haben keinen Zellkern, das Erbgut frei schwimmt im Zellplasma
- sind kleiner als Tier oder Pflanzenzellen
- die DNA ist ringförmig
- haben eine Zellwand (die aber nicht aus Zellulose aufgebaut ist)
- Stoffwechsel: Viele Stoffwechselarten sind zu finden: Photosynthese, Atmung, Gärung u.a.

Zusatzinformationen: <https://de.wikipedia.org/wiki/Bakterien>

Pilzzellen

Höhere Pilze (Pilze mit Fruchtkörper) wurde in den Anfängen der biologischen Wissenschaft noch den Pflanzen zugeordnet. Es gibt aber durchaus große Unterschiede:

Pilze haben oft viele Zellkerne, eine Zellwand aus Chitin (anstelle von Zellulose) und sind nicht zur Photosynthese fähig. Ihr Stoffwechsel ist rein heterotroph.

Man kann dabei Pilze in zwei Gruppen einteilen:

- a) Destruentische Pilze ernähren sich von abgestorbenem organischen Material, wie Blättern, Ästen usw.
- b) Parasitäre Pilze ernähren sich von lebendigem organischem Material und leben und wachsen z.B. in der Haut von Wirbeltieren (auch Hautpilz genannt).

Merkmale des Lebens

Woran kannst du ein Lebewesen erkennen?

Die naturwissenschaftliche Definition von Leben ist genau genommen eine Beschreibung von charakteristischen Merkmalen, die in ihrer Gesamtheit ein Lebewesen definieren:

- a) Ernährung und Stoffwechsel
 - Photosynthese: $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{Sonnenenergie} \rightarrow 6\text{O}_2 + \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ (=Traubenzucker)
 - Zell-Atmung: $6\text{O}_2 + \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{biologische, chemische Energie}$
- b) Das Wachstum
- c) Fortpflanzung und Vermehrung
- d) Eigene Bewegung
- e) die Wahrnehmung von Reizen und die Reaktion darauf, Reizbarkeit (z.B. bei Venusfliegenfalle, Mimose)
- f) Aufbau aus Zellen

Alle bekannten Lebensformen, wie Bakterien, Pilze, Pflanzen und Tiere verwenden die gleichen chemischen Moleküle (z.B. Nucleinsäuren RNA und DNA sowie Proteine). Das Leben auf unserem Planeten begann vor etwa 3,5 bis 3,9 Milliarden Jahren und die Gemeinsamkeit dieser grundlegenden Bausteine lässt auf eine gemeinsame Herkunft, also der gemeinsamen Abstammung von einer ersten Zelle schließen.

Alle eukaryotischen Zellen (also Pilz, Tier und Pflanzenzellen) verfügen über identische Mitochondrien, Ribosomen, Biomembranen und weitere Organellen.

Zusatzinformationen:

<https://de.wikipedia.org/wiki/Leben>

Aufgaben:

1. Nenne Unterschiede zwischen Tier- und Pflanzenzellen.
2. Nenne die kleinste Einheit des Lebens und nenne Beispiele.
3. Nenne Merkmale des Lebens.
4. Nenne den Unterschied zwischen Reizbarkeit und Reaktion auf Reize.
5. Ist „Wachstum“ überhaupt als Merkmal des Lebens geeignet? Erwachsene Menschen leben doch auch, oder? Begründe Deine Aussage!
6. Nenne Beispiele für Pflanzenbewegung
7. Erkläre, warum Pflanzen in der Ökologie als Produzenten und Tiere als Konsumenten bezeichnet werden.
8. Pflanzen enthalten Chloroplasten und Mitochondrien. Ein häufiges Missverständnis bei Schülern ist die falsche Annahme, dass nur Tiere Mitochondrien haben und Zellatmung durchführen. Atmen Pflanzen also nicht? Erkläre, warum sie dies tun müssen.
9. Erkläre die Begriffe „autotroph“ und „heterotroph“.

Beobachtung von Zellen: Auflösungsvermögen

Unter Auflösungsvermögen versteht man den Mindestabstand, den zwei Punkte haben müssen, um getrennt voneinander erkannt zu werden.

Menschliches Auge: Auflösung 0,25 mm = 250µm

Lichtmikroskop: 0,25 µm

Die Auflösung von Wellenlänge des eingestrahlt Lichts abhängig. Daraus folgt: Die Linse ist nicht beliebig durchlässig für kleinere Wellenlängen.

Zusatzinformationen:

<https://de.wikipedia.org/wiki/Auflösungsvermögen>

Optische Untersuchungsgeräte der Cytologie I - Die Lupe

Eine Lupe hat eine Konvexlinse (=Sammellinse) mit kleiner Brennweite. Sie bildet einen Gegenstand innerhalb der Brennweite vergrößert und aufrecht ab.

Überlege Dir mal, wie man die Brennweite ermitteln kann?

Kannst Du auch einen Versuch zur Abschätzung des Vergrößerungsfaktors einer Linse entwickeln?

$$V = \frac{25 \text{ cm}}{f_L} \quad \leftarrow \text{deutliche Sichtweite des Auges}$$

f_L ← Brennweite der Linse

$$V = \frac{25 \text{ cm}}{2,5 \text{ cm}} = 10$$

Zusatzinformationen

<https://de.wikipedia.org/wiki/Lupe>

Aufgaben

1. Entscheide begründet, warum Pflanzen Lebewesen sind.
2. Begründe, warum eine Kerzenflamme kein Lebewesen ist.
3. Welches Lebenskennzeichen erfüllt eine Flugabwehrrakete nicht?
4. Erkläre den Zusammenhang zwischen Linsenkrümmung und der Vergrößerung der Linse.

Optische Untersuchungsgeräte der Cytologie II - Das Lichtmikroskop als Werkzeug der Biologie

Die Begründer der Mikroskopie und der Zellenlehre

a) **Antoni van Leeuwenhoek**: Der Amsterdamer ließ sich Linsen schleifen¹ und beobachtet ab 1660 mit seinen Linsen Wasserbakterien, Wimperntiere und Spermien. Er entdeckte unter anderem 1668 die roten Blutkörperchen und 1675 unzählige „kleine Lebewesen“ im Regenwasser. 1683 entdeckte er Bakterien zwischen seinen Zähnen. 1677 entdeckte er die Samenzellen und widersprach der vorherrschenden Theorie von der Spontanzeugung der kleinsten Lebewesen und wies nach, dass sich Flöhe und Muscheln aus Eiern entwickeln und nicht, wie man damals glaubte, spontan aus Schmutz oder Sand entstehen würden.

b) **Robert Hooke**

Robert Hooke baute 1665 dann das erste Mikroskop und beschrieb damit das Aussehen von Flaschenkork. Er hatte damit das Auflösungsvermögen des Auges um den Faktor einhundert verbessert.

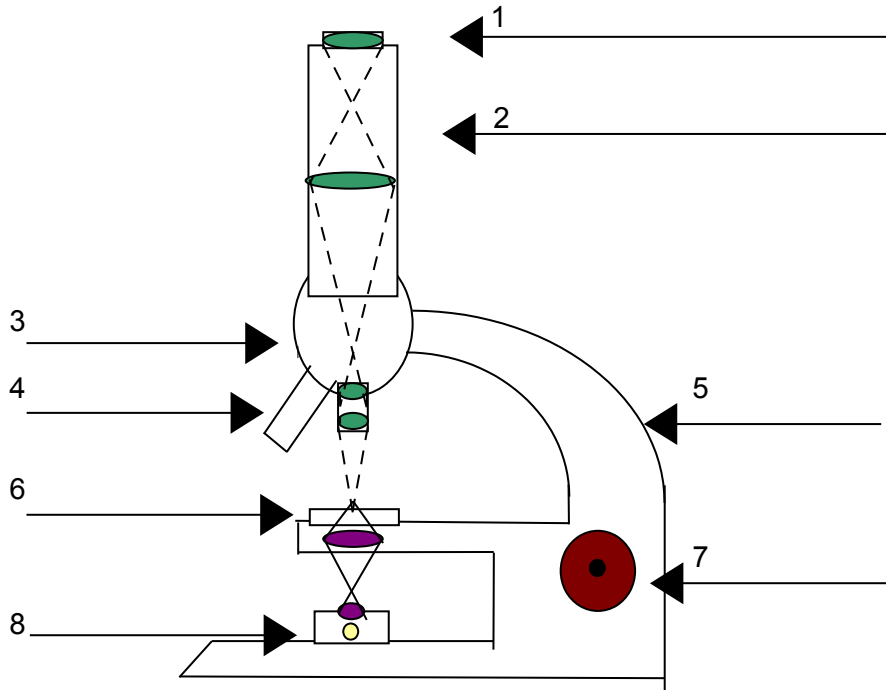
Auflösevermögen: Eigenschaft eines optischen Systems, nahe beieinander liegende Punkte getrennt voneinander abzubilden.

Gute Lichtmikroskope haben einen Vergrößerungsfaktor von > 2000.

Auflösevermögen	minimale Entfernung zweier Punkte
des menschlichen Auges	~0,1 mm
des Lichtmikroskops	~0,001 mm = 1µm
des Elektronenmikroskops	~ 0,0002 µm

¹ mit 1 mm Brennweite => Vergrößerung = 250

Aufbau des Lichtmikroskops



Ein Mikroskop² besteht aus mindestens zwei Linsen, der **Okularlinse** und der **Objektivlinse**. Beide sind an den gegenüberliegenden Enden eines geschlossenen Rohres (**Tubus**) angebracht. Sie erzeugen ein vergrößertes, reelles Abbild des zu untersuchenden Gegenstandes.

Die Gesamtvergrößerungsleistung eines Mikroskops wird durch die Brennweiten der beiden Linsensysteme bestimmt:

Gesamtvergrößerung = •

Zusatzinformationen:

https://de.wikipedia.org/wiki/Antonie_van_Leeuwenhoek

² Lösung: 1. Okularlinse, 2. Tubus, 3. Revolver, 4. Objektivlinse, 5. Griff, 6. Objektstischchen, 7. Stellrad, 8. Lichtquelle

Optische Untersuchungsgeräte der Cytologie III - Das Elektronenmikroskop (EM)

Elektronenstrahlen verhalten sich bei hoher Geschwindigkeit wie extrem kurzwelliges Licht. Deshalb hat man zum Betrachten extrem kleiner Gegenstände das Elektronenmikroskop entwickelt, welches Gegenstände mit Elektronen abbilden kann.

Die Auflösungsgrenze des Auges liegt bei etwa 0,1mm. Mit Elektronenmikroskopen lässt sich eine maximale Auflösung von etwa 500nm erreichen. Der Grund liegt in der viel kleineren Wellenlänge der Elektronenstrahlung im Vergleich zum sichtbaren Licht. Da keine kleineren Strukturen als die Größe der Wellenlänge abgebildet werden können, ist mit einem Elektronenmikroskop eine deutlich höhere Auflösung (derzeit etwa $1/1000\ 000\ 000\text{m} = 1\text{nm}$) erreicht werden als mit einem Lichtmikroskop (etwa $1/1000\ 000\text{m} = 1\ \mu\text{m}$).

Außerdem lässt sich mit heutigen Lichtmikroskopen nur maximal eine etwa 1000fache Vergrößerung erreichen, während man mit aktuellen Transferelektronenmikroskopen (=TEM) eine Vergrößerung von 1 000 000 erreicht werden. (Der Grund dafür liegt in der Wellenlänge, die beim sichtbaren Licht mindestens bei 380nm liegt, aber bei Elektronen (bei 100kV) nur 0,0038nm beträgt.)

Aufbau des Elektronenmikroskops:

Vom Prinzip liegt eine ähnliche Konstruktion wie beim Lichtmikroskop vor: Elektronenstrahlen (Elektronen sind negativ geladene Teilchen) werden dabei anstelle von Licht verwendet. Die Elektronen bewegen sich mit 200 000 km/s und sind viel „dünner“ als Lichtstrahlen. Deshalb kann man mit ihnen auch so feine Details abbilden.

Damit ein gutes Bild gelingt, muss das Objekt aber ultradünn geschnitten sein (v.a. bei der Transferelektronenmikroskopie). Weiterhin muss der Untersuchungsgegenstand sich im Vakuum befinden!

Als Strahlenquelle wird beim Elektronenmikroskop ein Elektronenstrahl benutzt. Dieser wird von einer Wolframheizkathode (oder einer Feldemissionskathode) freigesetzt und mittels elektromagnetischer Felder (entsprechen also den Linsen des LM!) auf die Ebene der Probe gebündelt. Elektronen, die die Probe durchdringen, werden durch eine Serie von Objektiv- und Projektorlinsen fokussiert und erzeugen auf einem fluoreszierenden Bildschirm ein vergrößertes Bild der Probe. Dies kann zusätzlich betrachtet werden oder mit einer eingebauten Kamera photographiert werden. In der gesamten Mikroskopsäule muss ein Vakuum bestehen.

Es gibt zwei verschiedenen Prinzipien der Elektronenmikroskopie:

- a) Rasterelektronenmikroskop:** die Oberfläche des Untersuchungsgegenstandes wird durch auftreffende Elektronen abgebildet. Das Bildsignal entsteht also durch eine Reflexion oberhalb der Probe
- b) Transmissionselektronenmikroskop:** die Probe wird von den Elektronen durchdrungen. Das Bild entsteht unterhalb der Probe.

Zusatzinformationen:

<https://de.wikipedia.org/wiki/Elektronenmikroskop>

Die historische Entwicklung der Mikroskopie

1605 Cornelis Jacobszoon Drebbel beschäftigt sich mit Linsen und erforscht Vergrößerungen (https://de.wikipedia.org/wiki/Cornelis_Jacobszoon_Drebbel)

1665 Robert Hooke baut mit Linsen das erste (dokumentierte) zweilinsige Lichtmikroskop. Damit erstellt er bis dahin unbekannte mikroskopische Zeichnungen pflanzlicher Zellen. Er veröffentlicht sein Buch „Micrographia“ 1665 mit zahlreichen mikroskopische Zeichnungen (https://de.wikipedia.org/wiki/Robert_Hooke)

1680 Antoni van Leeuwenhoek lernte Linsen besonders hoher Qualität zu schleifen und baute erste Mikroskope (mit bis zu 270facher Vergrößerung!). Er untersuchte u.a. das Kapillarsystem und Bakterien in Teichwasser und im menschlichen Speichel. Zur Besseren Darstellung und Kontrastierung experimentierte er mit Farbstoffen und führte wahrscheinlich als erster Färbungen mikroskopischer Präparate durch.

https://de.wikipedia.org/wiki/Antoni_Van_Leeuwenhoek

1810 Entdeckung der Lichtbrechung und der Polarisation des Lichtes durch Étienne Louis Malus. (https://de.wikipedia.org/wiki/Louis_Malus)

1852 Sir Georg Stokes entdeckt am Mineral Flussspat die Fluoreszenz

1880 Der Arzt Paul Ehrlich färbte schon in seiner Jugend mikroskopische Präparate. Er setzte die Mikroskopie konsequent zur Bekämpfung von Krankheiten ein und gilt u.a. als Vater der Chemotherapie. (https://de.wikipedia.org/wiki/Paul_Ehrlich)

1884 Hans Christian Gram entwickelt eine Färbetechnik für bestimmte Bakterien. So genannte „grampositive“ Bakterien färben sich damit violett. Aufgrund dieser Färbetechnik unterteilt man Bakterien in zwei Gruppen (grampositive und gramnegative Bakterien). Normalerweise werden Lebewesen eher nach Erbgut oder Eigenschaften klassifiziert. In diesem Fall ist eine Färbetechnik allerdings ausschlaggebend, da man herausfand, dass grampositive Bakterien anders auf Antibiotika reagieren als gramnegative.

(https://de.wikipedia.org/wiki/Hans_Christian_Gram, <https://de.wikipedia.org/wiki/Gram-Färbung>)

1938 Ernst August Friedrich Ruska (https://de.wikipedia.org/wiki/Ernst_Ruska) Max Knoll (https://de.wikipedia.org/wiki/Max_Knoll) und Bodo von Borries (https://de.wikipedia.org/wiki/Bodo_von_Borries) entwickeln das erste Elektronenmikroskop

1986 Nobelpreis für Physik für Heinrich Rohrer (https://de.wikipedia.org/wiki/Heinrich_Rohrer) und Ernst Ruska des für die Entwicklung des Rastertunnelmikroskops (bis 1982).

Übersicht über die Färbemittel

Um feine Strukturen in pflanzlichen und tierischen Zellen im lichtmikroskopischen Bild besser zu unterscheiden, sind manchmal Färbungen der richtige Weg, gewünschte Strukturen besser hervorzuheben und in der Sichtbarkeit zu verstärken.

- Eosin: Dieser Farbstoff penetriert die Plasmamembran intakter Zellen nicht, d.h. intakte Zellen bleibt ungefärbt. Er eignet sich also zum Erkennen abgestorbener Zellen (z.B. Lebend-/Tod-Färbung mit Eosin) sowie für histologische Präparate.
- Methyleneblau: Farbstoff zu Zellkernfärbung sowie zur generellen Erhöhung des Kontrasts
- Neutralrot: Farbstoff, welcher eine Zellplasmafärbung herbeiführt.
- Safranin: Färbt verholzte (ligninisierte) Zellmembranen bei Pflanzen.
- Orange G: Farbstoff zur Zellplasmafärbung
- Sudan III (auch Sudanrot genannt): apolarer Farbstoff, dient durch seine Fettlöslichkeit der Färbung von Fetten und Ölen.
- Iod/Iodkaliumiodid: Bekanntester Farbstoff zum Stärkenachweis
- Karminessigsäure färbt speziell DNA und Chromosomen rot an
- Histidinlösung verstärkt die Plasmaströmung bei Wasserpest (1 Tropfen zum Präparat)
- Indigokarmin: leicht grüner Farbstoff, welcher durch Sauerstoffkontakt sich blau färbt. Er kann damit als hochempfindlicher Sauerstoffnachweis dienen (z.B. bei der Photosynthese)

Herstellung von Kongorothefe

Der Farbstoff Kongorot kann zum Färben von Hefen verwendet werden. Nimmt ein Einzeller diese Hefen auf, kann der Weg der Nahrung gut im Lichtmikroskop beobachtet werden. Auch die enzymatische Verdauung wird so beobachtet.

Rezept: Eine Messerspitze frische Backhefe wird in ca. 100ml Leitungswasser verteilt und unter Rühren wenige Minuten aufgekocht und Kongorot zugegeben (weniger als eine kleine Messerspitze). Dabei wird die Chitinhülle (der Zellwand) der Hefezellen zerstört und der Farbstoff Kongorot kann in die Hefezellen eindringen.

Zusatzinformationen

<https://de.wikipedia.org/wiki/Kongorot>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Methylorange>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Methylrot>

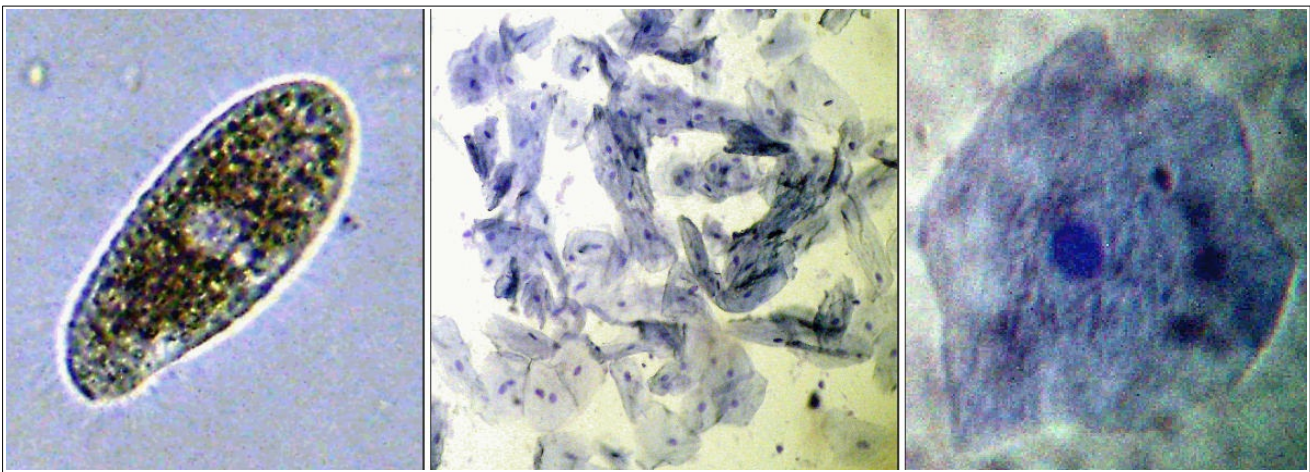
Mikroskopieren von tierischen Zellen: Pantoffeltierchen, Amöben & Mundschleimhaut

Material:

- Flusswasser, einmal mit Sand, einmal mit Kies,
- Flusswasser mit gemähtem, altem Gras (gute Ergebnisse!)
- Algenwasser aus Aquarien, Gartenteichen usw.
- Mundschleimhaut

Beobachtungsaufgaben:

- Welche Art der Zellbestandteile fallen in den Zellen besonders auf?
- Welche Farbe haben sie? Sind sie gleichmäßig über den Zellquerschnitt verteilt?
- In welchen Bereich des Zellraums scheinen sie etwas dichter zu liegen?
- Welcher Zellbestandteil fällt in der Mundschleimhautzelle besonders auf?
- Welche Farben lassen sich in Einzellern erkennen?



Pantoffeltierchen

Mundschleimhaut mit Methylenblau gefärbt

Zusatzinformationen

<https://de.wikipedia.org/wiki/Pantoffeltierchen>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Amöbe>

Das Pantoffeltierchen - ein Einzeller



Pantoffeltierchen im Lichtmikroskop

Das Pantoffeltierchen (=Paramecium) lebt in stehenden (oft faulenden) Gewässern. Es ist damit ein typischer Destruent (ernährt sich von totem organischen Material) und Fäulnisbewohner. Die Pantoffeltierchen sind Einzeller, innerhalb derer sie zur Gruppe der Wimperntierchen gehören. Sie ernähren sich von Plankton. Bei ungünstigen Lebensbedingungen (z.B. Austrocknung) bilden sie Dauerstadien (= Cysten), die auch durch die Luft mit dem Wind verbreitet werden. Ein besonderes Merkmal ist ihr Mundfeld, eine Öffnung innerhalb der Zellmembran, mit dem sie Nahrung einsaugen.

Zum Mikroskopieren kann zur Färbung Karminessigsäure verwendet werden.

Aufbau des Pantoffeltierchens:

Nr.	Bezeichnung	Aufgabe
1	Zellafter	Ausscheidung von Resten
2	Zellmund	Bildung von Nahrungsbläschen
3	Mundfeld	Einstrudeln von Nahrungsteilchen
4	Wimpern	Fortbewegung und Strudelbewegung
5	Zellhaut(-membran) mit Trichocysten	Form, Schutz, Abwehr
6	Kleinkern	Geschlechtliche Fortpflanzung
7	Großkern	Steuerung von Zellfunktionen
8	Nahrungsbläschen	Verdauung
9	Zellplasma	Stoffwechsel
10	Pulsierendes Bläschen	Ausscheidung von Abfallstoffen und osmotisch eingedrunenem Wasser

Weitere Merkmale der Pantoffeltierchen:

- Pantoffeltierchen haben durch bis zu 10 000 Wimpern eine eigene, aktive Bewegung.
- Sie haben einen eigenen Stoffwechsel. Sie nehmen also Nahrung wie Bakterien oder andere Einzeller auf und verdauen diese. Zur Ausscheidung dient der Zellafter.
- Pantoffeltierchen sind in Gewässern zu finden, in denen viele Verunreinigungen zu finden sind und die evtl. schon aktive Fäulnisvorgänge zeigen.
- Pantoffeltierchen sind Einzeller mit zahlreichen Organellen (siehe Tabelle).
- Sie pflanzen sich z.B. durch eine Querteilung fort. Dies ist bei optimalen Bedingungen alle 24h möglich. Sie können aber auch einen Teil ihres Erbgutes mit anderen Pantoffeltierchen austauschen. Man spricht dann von geschlechtlicher Fortpflanzung (bzw. Konjugation).
- Pantoffeltierchen suchen sich übrigens immer den Platz der günstigsten Lebensbedingungen. D.h. sie reagieren auf Reize ihrer Umwelt.
- Die Anzucht von Pantoffeltierchen ist leicht! Man nimmt etwas Heu oder Gras und gibt etwas Teichwasser hinzu. Am besten eignet sich Gras mehrere Tage nach dem Mähen der Wiese, welches schon leicht feucht „zusammenbabbt“. Das ganze lässt man in einem Glas mit Wasser mehrere Tage stehen.
- Tipp: Gibt man noch Moose dazu, findet man auch noch Rädertierchen und Bärtierchen.

Weitere Wimperntierchen sind z.B. Glockentierchen oder Trompetentierchen.

Videos aus meinem Kanal:

1. In diesem Video sieht man Pantoffeltierchen der Art *Paramecium caudatum*, welche auch zu den Wimperntierchen gehören. Aus der Form und der Art der Bewegung kann man das recht sicher sagen. *Paramecium caudatum* (geschwänztes Pantoffeltier).

Paramecium caudatum hat meist eine Länge von ca. 180 µm bis 300 µm.

Im Video sieht man Anfangs (oben rechts) noch andere Ciliaten. Es handelt sich dabei um die Gattung *Petritricha*, die man auch Glockentiere nennt. Typisch für diese ist, dass man sie in Kolonien findet. Im Video ca. bei Sekunde 34 – 36 erkennt man, wie bei einem Glockentier nach Berührung der Stiel kontrahiert. Blitzschnell nimmt es eine andere Position ein. Die kontraktile Stiele mit Fibrille sind allerdings schwer erkennbar.

<https://www.youtube.com/watch?v=gubh2dE0Ulo>

Zusatzinformationen:

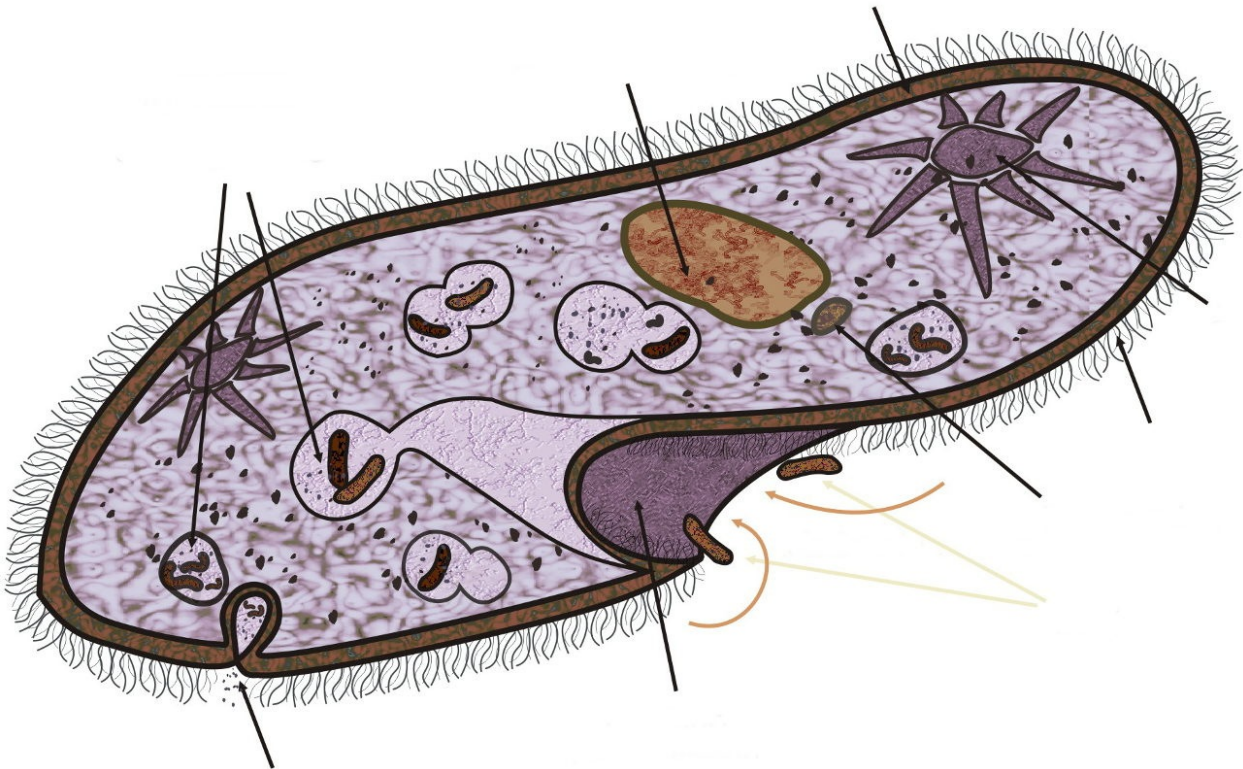
Für Bilder & Infos siehe auch: <https://de.wikipedia.org/wiki/Pantoffeltierchen>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Rädertierchen>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Bärtierchen>

Das Pantoffeltierchen

Pantoffeltierchen bei der Aufnahme von Bakterien durch das Mundfeld

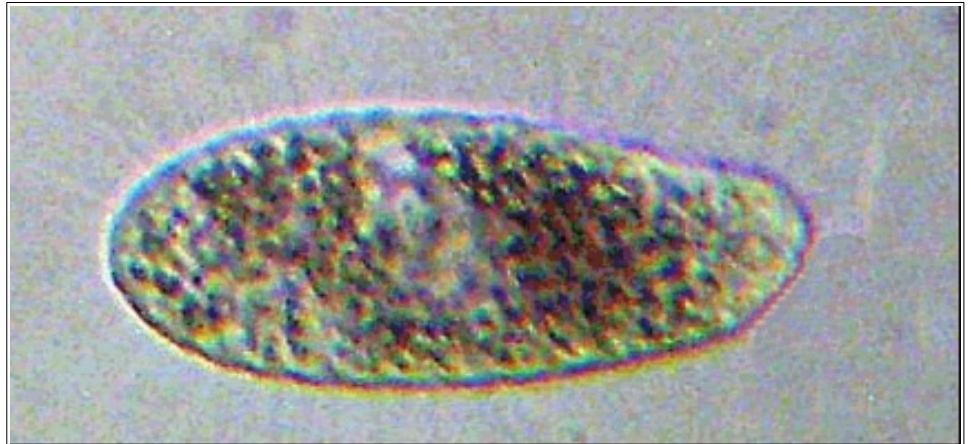


Quelle Bild: public domain by Wikicommonsuser Miklos https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Paramecium_sp.jpg

Ordne die folgenden Begriffe mit ihren Funktionen zu (bei einigen musst Du noch einen Beschriftungsstrich einzeichnen!):

- Zellafter: Ausscheidung von Resten
- Zellmund: Bildung von Nahrungsbläschen
- Mundfeld: Einstrudeln von Nahrungsteilchen
- Cilien (=Wimpern): Fortbewegung und Strudelbewegung
- Zellmembran: Form, Schutz
- Kleinkern: geschlechtliche Fortpflanzung
- Großkern: Steuerung von Zellfunktionen
- Nahrungsbläschen: Verdauung
- Zellplasma: Stoffwechsel
- Pulsierendes Bläschen: Wasserausscheidung

Beachte: Ein Pantoffeltierchen ist nicht achssymmetrisch zu zwei Geraden durch den Mittelpunkt.

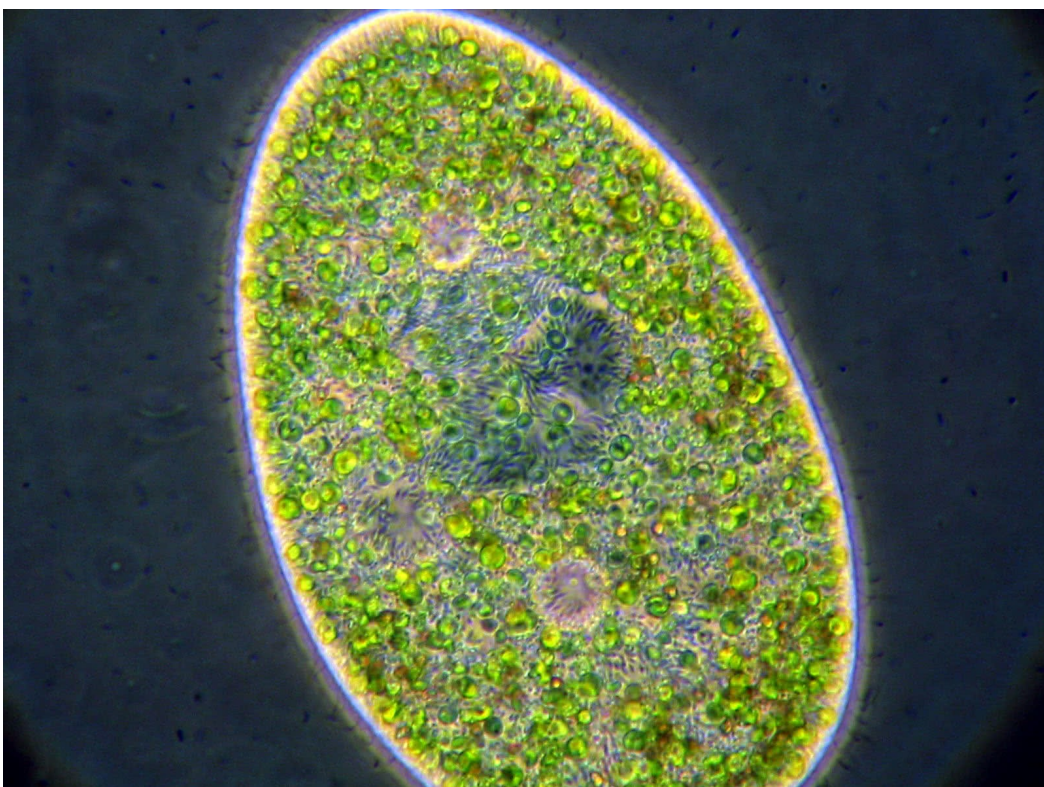
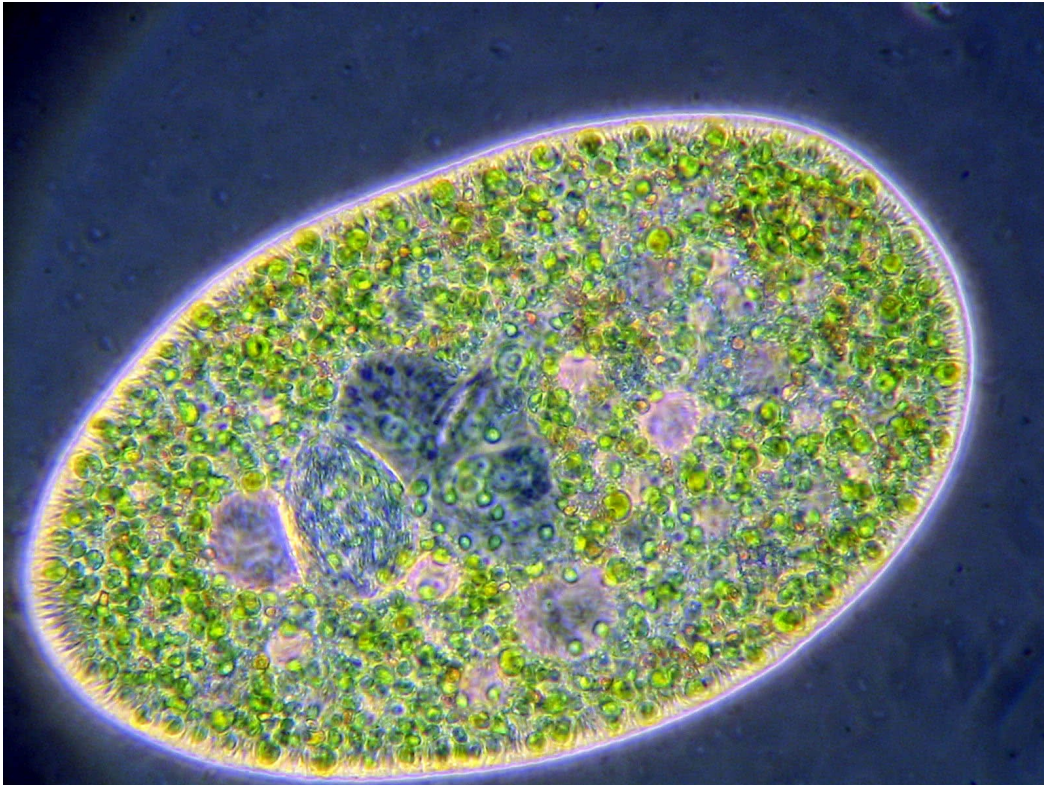


Paramecium bursaria – ein besonderes Pantoffeltierchen

Die Pantoffeltierchen, die in Büchern abgebildet sind, gehören meist zur Art *Paramecium caudatum*. Es gibt aber tatsächlich mehrere Pantoffeltierchen. Eine weniger bekannte ist das grüne Pantoffeltierchen *Paramecium bursaria*.

Normalerweise sind tierische Zellen nicht grün. Hier ist dies der Fall, da hunderte von einzelligen Grünalgen symbiotisch in ihm leben.

Die folgenden Bild sind von Thomas Harbich. Sie wurden im Phasenkontrastverfahren lichtmikroskopisch hergestellt.



Aufgaben und Lösungen

1. Vergleiche den Weg der Nahrung beim Pantoffeltierchen und beim Menschen. Welche Organellen entsprechen dabei welchen Organen des Menschen?

Weg der Nahrung

	Pantoffeltierchen (Organellen)	Mensch (Organe)
Nahrungsaufnahme:	Mundfeld	Mund
Verarbeitung und Verdauung:	Verdauungbläschen	Magen/Darm
Ausscheidung fester Stoffe:	Zellafter	After
Ausscheidung flüssiger Stoffe:	Pulsierendes Bläschen	Niere

2. Vergleiche eine Amöbe mit einem Pantoffeltierchen. Nenne Gemeinsamkeiten und Unterschiede.

Gemeinsamkeiten:

- Beide bestehen nur aus einer einzigen Zelle, die alle Lebensfunktionen wahrnimmt.
- Beide vermehren sich durch Zellteilung. Beide besitzen Pulsierende Bläschen.
- Beide bilden Nahrungsbläschen. Beide können Zysten bilden und so ungünstige Lebensbedingungen überstehen.

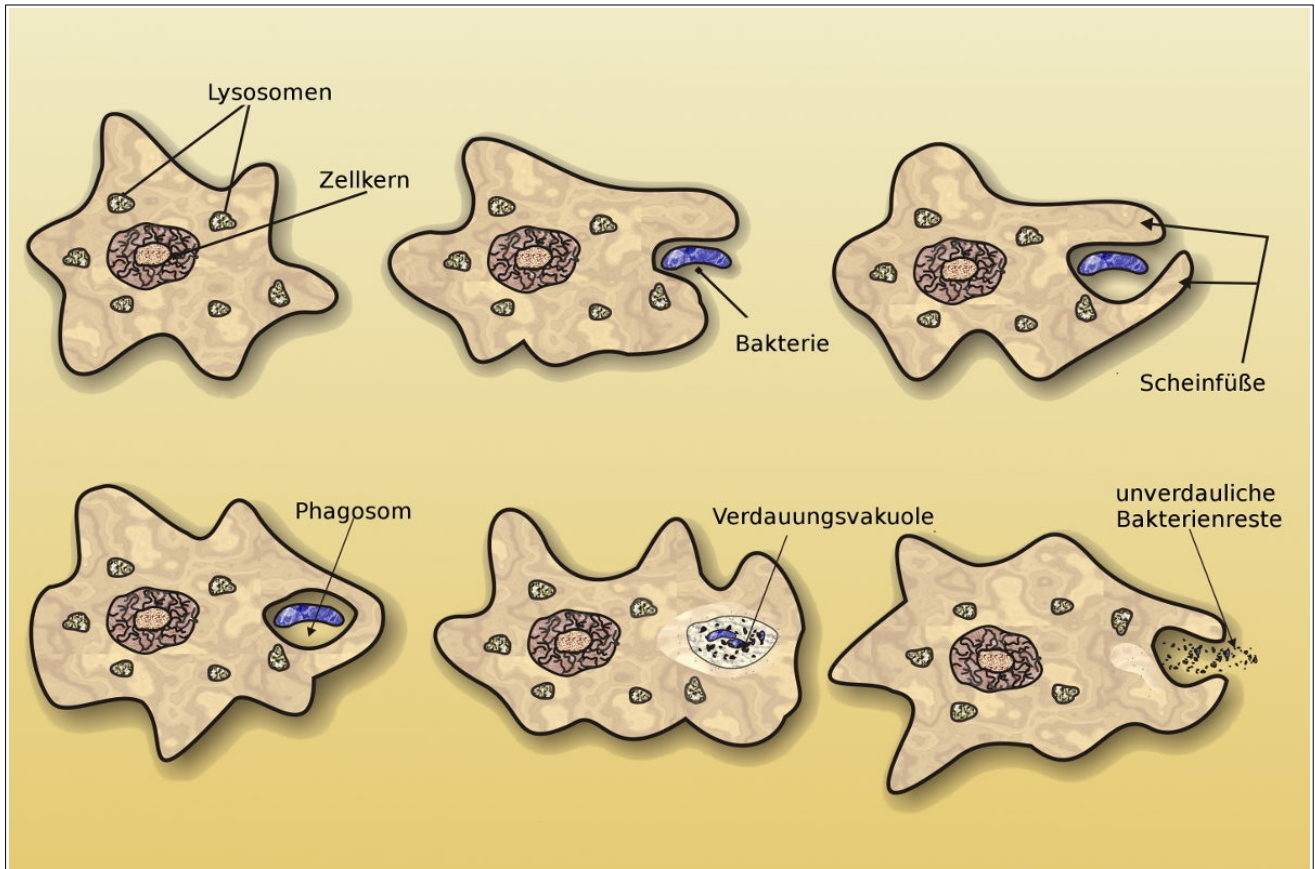
Unterschiede:

- Pantoffeltierchen besitzen eine vergleichsweise feste Form; Amöben ändern dauernd ihre Gestalt. Pantoffeltierchen bewegen sich mit Hilfe von Wimpern fort; Amöben bilden Scheinfüßchen aus.
- Pantoffeltierchen besitzen feste Zellbereiche für die Nahrungsaufnahme und die Ausscheidung, Zellmund und Zellafter; Amöben können an jeder beliebigen Stelle ihrer Zelloberfläche durch Umfließen (Phagozytose) Nahrung aufnehmen und unverdauliche Reste ausscheiden.
- Pantoffeltierchen haben zwei Pulsierende Bläschen; Amöben besitzen nur eines.
- Pantoffeltierchen leben in freiem Wasser und schwimmen; Amöben kriechen auf einer Unterlage.

3. Definiere (mit Hilfe des Schulbuchs oder auch von Wikipedia) „Organelle“ und „Organ“.

Die Amöbe, ein Einzeller ohne feste Gestalt

Die Amöben (von altgriechisch „amoibos“ - wechselnd) sind Einzeller, welche ihre Gestalt ändernde, um so z.B. ihre Beute zu Umspülen oder sich fortzubewegen. Sie besitzen keine feste Körperform.

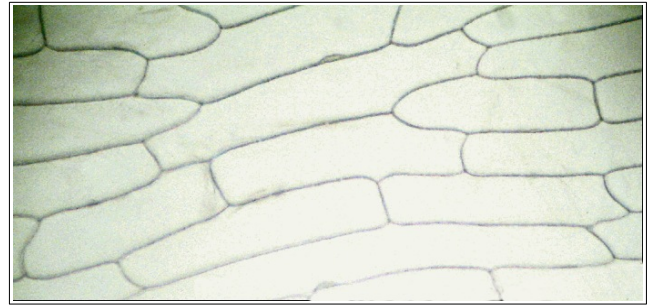


Quelle Bild: Public domain by Wikicommonsuser Miklos; Thank you; https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Amoeba_fagocitose.jpg

Zusatzinformationen und Bilder:
<https://de.wikipedia.org/wiki/Amöbe>

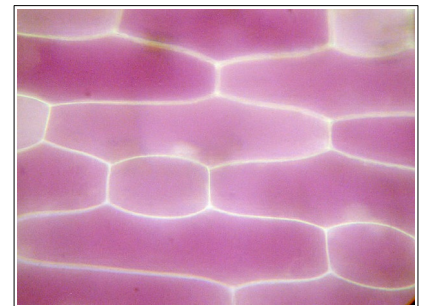
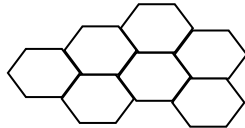
Mikroskopieren von pflanzlichen Einzellern & Vielzellern: Zwiebelhautzelle, Wasserpest

1. Mikroskopierübung bei Zwiebelzellen

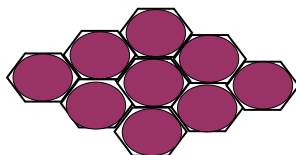


a) Ein einfaches Objekt ist die Zwiebelhautzelle einer Zwiebelinnenschale. (Tipp: **Karminessigsäure** färbt speziell Erbmasse rot an).

Man erkennt besonders schön die Vernetzung der Zellen untereinander. Beachte, sie sind nicht wie die Steine einer Mauer verknüpft, sondern eher so:



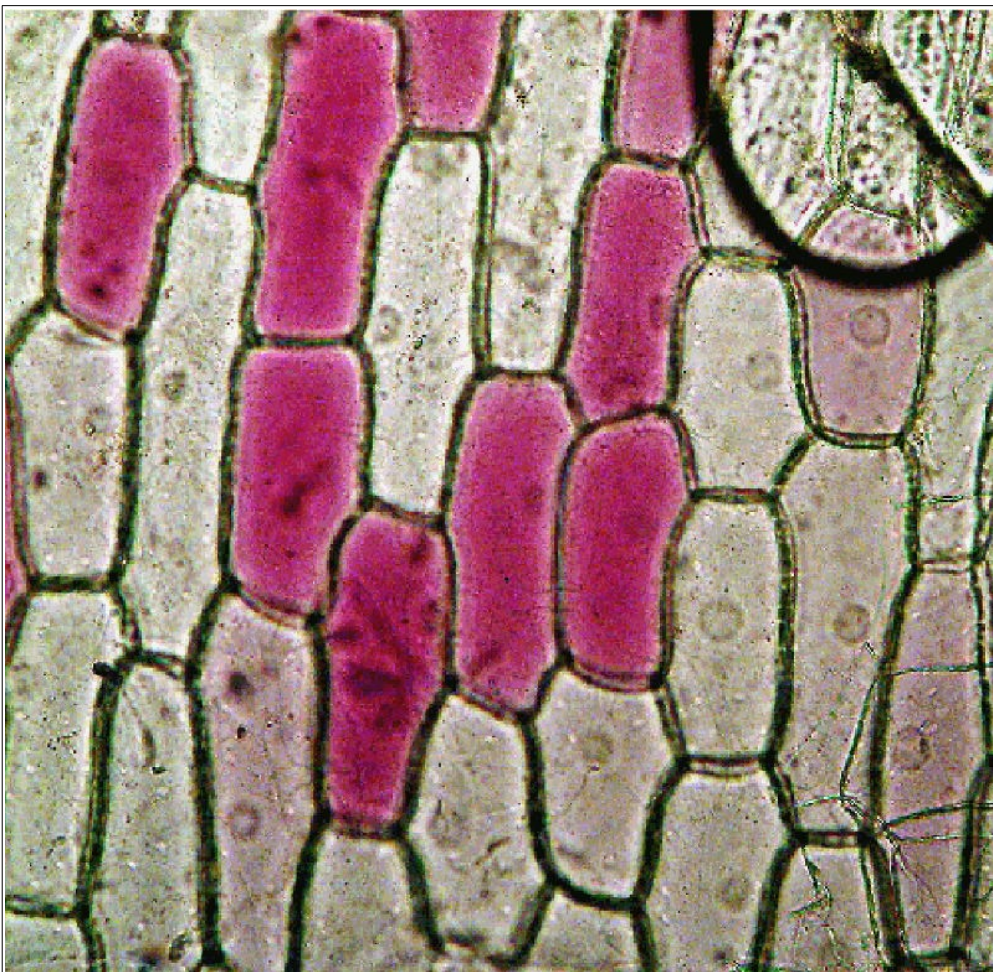
b) Nimmt man hingegen eine rote Zwiebel, so kann man sehr schön, das rote, noch lebende Häutchen zwischen den Schichten der Zwiebel abtrennen und mikroskopieren. Der rote Farbstoff ist v.a. in den Vakuolen gespeichert, so dass man diese jetzt ohne zusätzliche Färbung sehr gut erkennen kann.



c) Wenn man die Zwiebel wenige Tage auf einem mit Wasser gefülltem Becherglas stehen lässt, bilden sich Wurzeln, bei denen in den Zellkernen die verschiedenen Zellteilungsstadien (=Mitosestadien) zu erkennen sind (ein Mitosedurchgang dauert hier nur 90-120 min.).



Zwiebelzellen mit deutlich erkennbaren Zellwänden und Zellkernen.

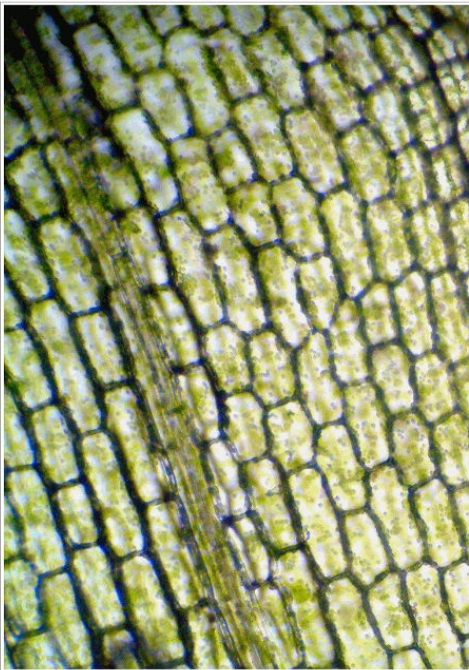


2. Wasserpest

Die Wasserpest (Elodea) kommen in Teichen, Weihern und Seen vor. Von den 12 bekannten Arten sind viele ursprünglich in der „neuen Welt“ beheimatet, also dem amerikanischen Kontinent. Durch Aquarienfreisetzungen und Anbau in Teichen und Aquarien ist sie mittlerweile auch bei uns vielfach zu finden.

Nimmt man ein Blättchen der Wasserpest und legt es auf einen Objektträger, so kann man sehr schön die Plasmaströmung beobachten - ohne dass man einen mikroskopischen Schnitt anfertigen muss.

Beachte genau: Wie ist die Strömungsrichtung bei benachbarten Zellen?



Aufgaben

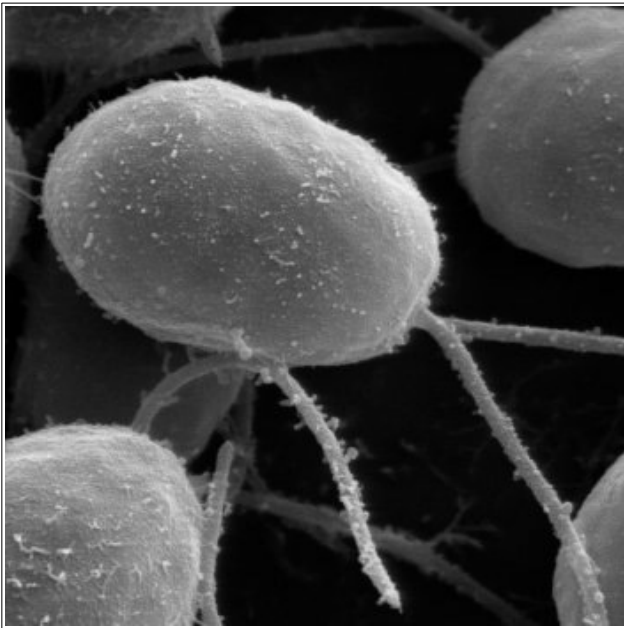
1. Welche ökologischen Konsequenzen kann das Importieren und spätere Freisetzen einer nicht heimischen (=endemischen) Art auf unser Ökosystem haben?
2. Nenne Gründe für die Ursachen der Plasmaströmung.
3. Begründe, warum bei Wasserpflanzen die Vakuolen oft im Lichtmikroskop nicht gut sichtbar sind.
4. Treffe eine Aussage zur Anzahl an übereinanderliegenden Zellschichten eines Blattes der Wasserpest.
5. Landpflanzen haben sehr viel dickere Blätter. Sie bestehen aus mindestens 5-10 Zellschichten. Nenne Gründe, warum dies im Vergleich zu Wasserpflanzen auch notwendig ist.

Einzellige Organismen - die Grünalge Chlamydomonas

Chlamydomonas ist eine kleine einzellige Grünalge (Durchmesser ca. 1/200 mm), welche in Aquarien, Pfützen, Seen, Flüssen und in feuchtem Boden vorkommt. Sie mag besonders stehende Gewässer. Ihr besonderes Merkmal ist, dass sie über zwei mehr oder weniger gleichlange Geißeln verfügt, welche der Fortbewegung dienen.

Chlamydomonas hat einen großen oder mehrere kleine Chloroplasten und einen Augenfleck, der der Bewegung zum Licht dient.

Chlamydomonas vermehrt sich entweder ungeschlechtlich durch eine Zellteilung oder durch Bildung von Geschlechtszellen, die zu einer Zygote verschmelzen. Im Anschluss findet dann eine Meiose mit der Bildung von vier Tochterzellen statt.



Quelle Bild: Public domain by Dartmouth Electron Microscope Facility, Dartmouth College & Wikicommonsuser Neil916, Luis Fernández García; <https://remf.dartmouth.edu/imagesindex.html>; [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chlamydomonas_\(10000x\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chlamydomonas_(10000x).jpg)

Mit freundlicher Genehmigung von
Prof. Dr. Paul Walther et al, Universität Ulm,
<https://www.uni-ulm.de/elektronenmikroskopie/>

Der Blutschnee

Ein seltenes Phänomen ist der sogenannte Blutschnee im Frühjahr der Arktis. Die Gattung *Chlamydomonas nivalis* bildet als Reaktion auf zu viel UV-Strahlung einen orangen Farbstoff (Karotin), welcher den Schnee dann rötlich färbt.

Zusatzinformationen

<https://de.wikipedia.org/wiki/Chlamydomonas>

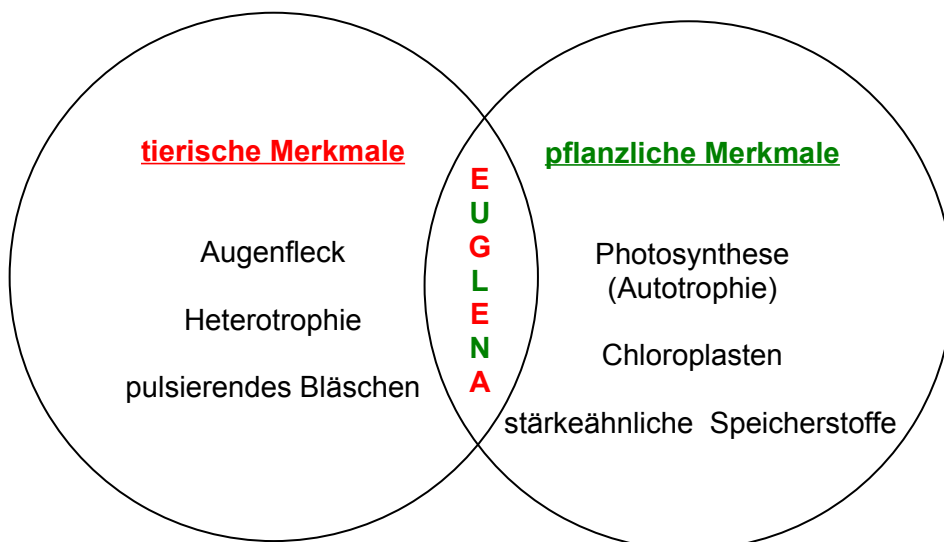
Euglena - Das „Augentierchen“ - Tier oder Pflanze?



Euglena wurde bei seiner Entdeckung früher von Biologen das „Augentierchen“ genannt. Heute ist man mit diesem Namen nicht sehr glücklich... Es handelt sich bei Euglena um einen Einzeller, der nahezu überall zu finden ist, wo es Wasser gibt. Man kann sie sogar in so lebensfeindlichen Gebieten wie zwischen Schneekristallen und in Salzseen finden.

Dieses Lebewesen zeigt sowohl tierische und pflanzliche Eigenschaften! Ursprünglich wurde es von Biologen als Tierchen (aufgrund seiner schnellen Bewegungen) eingeordnet. Doch heute ist dies umstritten. Was meinst Du dazu? Ist Euglena Tier oder Pflanze? Betrachte das Bild genau und wäge zwischen den erkennbaren pflanzlichen und tierischen Merkmalen ab.

Tierische und pflanzliche Merkmale bei Euglena



Besonderheiten von Euglena:

- An der Vorderseite befindet sich ein Geißelsäckchen, aus dem zwei Geißeln ragen (eine kurze und eine lange). Die lange Geißel dient der Fortbewegung durch eine schlagende Bewegung..
- Ebenfalls an der Vorderseite befindet sich ein pulsierendes Bläschen (auch pulsierende Vakuole genannt). Es dient dazu osmotisch eingedrungenes Wasser herauszupumpen.
- An der Geißelbasis befindet sich ein lichtempfindliches Feld (=Photorezeptor). Damit kann sich das „Augentierchen“ zum Licht hin oder vom Licht weg bewegen.
Die Funktionsweise ist recht einfach: ein roter Augenfleck beschattet einen dahinter liegenden Photorezeptor. Wenn Euglena sich in die falsche Richtung bewegt (also von der Lichtquelle fort), registriert dies der Photorezeptor und Euglena ändert seine Schwimmrichtung.
- Die Vermehrung erfolgt v.a. ungeschlechtlich durch Längsteilung.
- Euglena besitzt wie für Pflanzen typisch Chloroplasten. Sie enthalten den grünen Farbstoff Chlorophyll. Euglena ist zur Photosynthese fähig. Aber auch ohne Licht und Photosynthese kann Euglena überleben, wenn genügend Nahrung (z.B. organische Stoffe wie Glucose und Aminosäuren) vorhanden ist. Die grüne Farbe verschwindet dann.
- Ein Massenaufreten von Euglena kann ganze Gewässer grün färben.
- Die Evolution (stammesgeschichtliche Entwicklung) von Euglena kann heute durch Analysen des Stammbaums recht gut rekonstruiert werden. Man schlussfolgert, dass die Vorfahren-Zellen zunächst sich tierisch ernährten, also auf die Aufnahme von Nahrung angewiesen waren. (Der Vorgang heißt Phagocytose). Man vermutet nun, dass eine Zelle eines Tages eine Bakterium fraß, welches zu Photosynthese fähig war. Dies Bakterium war allerdings gegen die Verdauungssäfte der Euglena-Vorfahren immun und konnte weiter im Inneren der Zelle leben und Photosynthese betreiben. Der ursprünglichen Zelle kam das sicherlich sehr gelegen, da sie nun in ihrem inneren eine „Produktionsstätte“ für Zucker hatte, der durch das Sonnenlicht, Wasser und Kohlenstoffdioxid gebildet wurde. Beide Stoffe (H₂O und CO₂) sind im Überfluss vorhanden! Die photosynthetischen Bakterien teilten sich mehrfach, da sie keine Fressfeinde mehr zu befürchten hatten. Im Laufe der folgenden Jahre wurden aus ihnen Chloroplasten.
Ihre Nachkommen wurden mit jeder Zellteilung von Euglena weitervererbt. Dieser Vorgang wird heute als Endosymbiose bezeichnet. Ein Beweis dafür ist, dass Chloroplasten (genau wie Mitochondrien über eine doppelte Membran verfügen.

Zusatzinformationen:

<https://de.wikipedia.org/wiki/Euglena>

Aufgaben zum Mikroskopieren:

1. Recherchiere und erkläre die Fortbewegung von Euglena

Die Geißel von Euglena ist eine Zuggeißel. Sie arbeitet vergleichsweise ähnlich wie ein Flugzeugpropeller. Bei anderen Einzellern arbeiten die Geißeln wie eine Schubgeißel, also vergleichbar mit einer Schiffsschraube!

Phototaxis: Euglena schwimmt mit Hilfe seiner Geißel zum Licht hin.

Allerdings verläuft die Bewegung zum Licht nicht geradlinig! Eine ständige Korrektur der Bewegungsrichtung muss stattfinden, da sie die Lichtquelle nicht direkt wahrnimmt, sondern immer nur deren Schatten auf dem Augenfleck. Hinzu kommt eine permanente Eigendrehung der Alge, so dass es zu sich periodisch wiederholenden Beschattungen des lichtempfindlichen Organells durch den Augenfleck kommt. Dies verstärkt die Korrektur der Bewegungsrichtung.

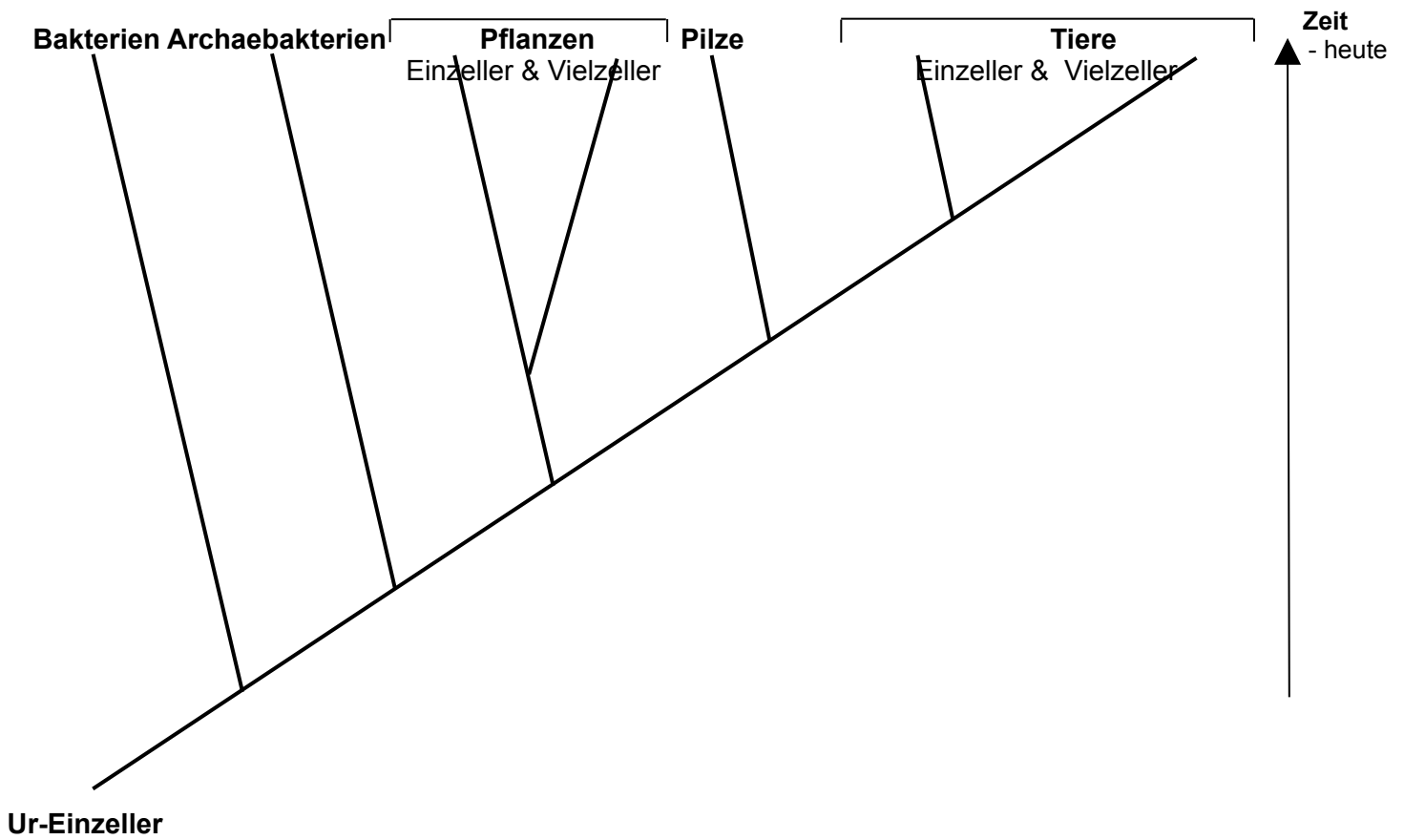
2. Weshalb ist der deutsche Name „Augentierchen“ für Euglena schlecht gewählt?

Ein Auge ist ein Organ aus vielen Millionen von Zellen. Der Augenfleck ist nur ein Pigmentfleck innerhalb einer einzigen Zelle. Der dahinter liegende Bereich kann nichts sehen, nur Lichtunterschiede wahrnehmen. Des Weiteren handelt es sich um eine Alge, also eine Pflanze und nicht um ein Tier. => kein Auge, kein Tier...

3. Experiment: Man stellt für 20 Minuten über ein Glas mit vielen Euglenen eine geschlossene Pappschachtel mit einem winzigen (1cm²) seitlichen Loch. Welche Beobachtung wird man nach dem Entfernen der Pappschachtel machen?

Alle Euglenen sind zu dem Punkt geschwommen, an dem das Licht eindringt. Nur hier können sie Photosynthese betreiben.

Hypothetische Stammbaumeinordnungen



Beachte:

- Es gibt zwei Typen von prokaryotischen Zellen (Bakterien und Archaeen (welche früher auch Archaeobakterien genannt wurden)). Obwohl die Namen sehr ähnlich klingen, so sind sie doch sehr verschieden (so verschieden wie Pro- und die Eukaryonten!).
- Die Entwicklungslinien besaßen vermutlich unterschiedliche Evolutionsgeschwindigkeiten. Archäobakterien haben sich sehr langsam fortentwickelt, eukaryontische Zellen viel schneller.
- Eukaryotische Mitochondrien und Chloroplasten stammen mit sehr großer Wahrscheinlichkeit von endosymbiotischen Bakterien ab.

Einzellige Algen und Zellkolonien

Wie ist eigentlich die Vielzelligkeit entstanden?

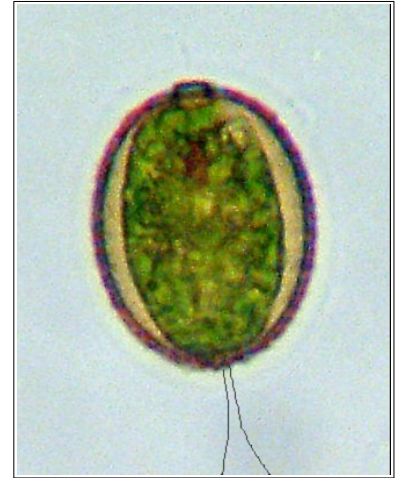
Erste Zellen waren sicher einzellig. Um nachzuvollziehen, was damals, vor ca. 450 000 Millionen Jahren geschah, kann man heute ein Phänomen bei Grünalgen beobachten und so Rückschlüsse ziehen. Denn diese Algen können als Einzeller oder als Mehrzeller (=Algenkolonie) auftreten. Eine Algenkolonie ist noch kein echter Vielzeller, aber vermutlich der erste evolutive Schritt dorthin.

a) Chlamydomonas

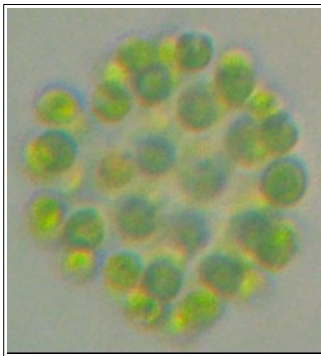
Potentiell unsterbliche einzellige Grünalge, welche vor allem im unteren Bereich von sauerstoffreichen Seen lebt.

Sie ist mit ihren zwei Geißeln sehr beweglich und hat vergleichbar mit Euglena einen Augenfleck.

Ein Verwandter: <https://de.wikipedia.org/wiki/Chlorella>

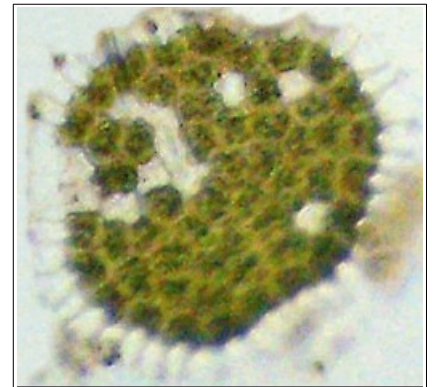


b) Zellkolonien: Gonium (4-16 Zellen), Pandorina (16 Zellen) und Eudorina (32 Zellen)



Alle Kolonien bestehen aus identischen Zellen (immer Vielfache, also 2, 4, 8, 16, 32), die sich alle noch teilen können und durch eine Gallerthülle verbunden sind.

Wird die Hülle zufällig aufgerissen, so sind die einzelnen Zellen sowie der Verband weiterhin lebensfähig.



c) Kugelalge Volvox

Von Mai bis August findet man Volvox in Tümpeln und Teichen besonders häufig. Sie besteht aus bis zu zwanzigtausend Zellen, die über Plasmabrücken verbunden sind.

Nicht alle Zellen sind bei Volvox gleich. Es gibt spezielle Zellen zur Fortbewegung, Fortpflanzung oder Ernährung. Zur Fortpflanzung wachsen im Inneren der Hohlkugel Tochterzellen heran. Sind sie groß genug, reißt die Kugelalge auf und setzt die Tochterkugeln frei. Die Mutterkugel stirbt dabei.

Formenvielfalt der Familie der „Volvocaceae“:

Oltmansiella	4 Zellen, bandförmig
Gonium	4-16 Zellen, flach
Stephanosphaera	4-16 Zellen, kranzförmig
Pandorina	16 Zellen mehrschichtig
Eudorina	32 Zellen, mehrschichtig,
Pleodorina	128 Zellen, Hohlkugel
Volvox	1000-20000 Zellen, Hohlkugel

Zusatzinformationen:

<https://de.wikipedia.org/wiki/Zellkolonie>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Alge>

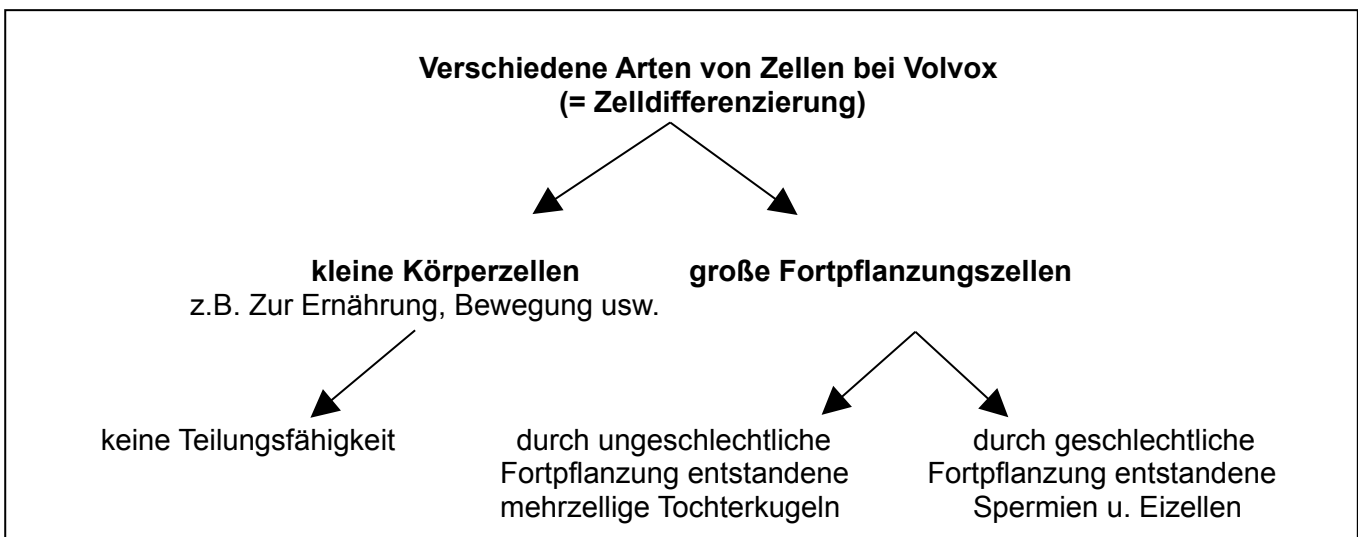
<https://de.wikipedia.org/wiki/Chlamydomonas>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Volvox>



Vergleich von einzelligen Algen, der Kolonien und Volvox

	Chlamydomonas	Gonium	Eudorina	Volvox
Zahl der Zellen:	1 => Einzeller	4-16 identische Zellen => Vielzeller	32 identische Zellen => Vielzeller	bis zu 20000 Zellen => Vielzeller
Form	einzellig (mit zwei Geißeln)	flache Scheibe (mit 2 Geißeln je Zelle)	mehrlagige Scheibe (mit 2 Geißeln je Zelle)	Hohlkugel
Aufgaben der einzelnen Zellen:	alle Lebensfunktionen (z.B. Fortbewegung, Reaktion auf Reize, Ernährung & Stoffwechsel, Fortpflanzung) Vermehrung durch Teilung => potentiell unsterblich	alle Lebensfunktionen ---> (ebenso) ---> (ebenso)	alle Lebensfunktionen ---> (ebenso) ---> (ebenso)	Spezialisierung der Zellen, d.h. Aufgaben sind auf verschiedene Zellen verteilt. Z.B.: Zellen für die Ernährung, Bewegung, Fortpflanzung usw. Verbindung der Zellen untereinander mit Plasmabrücken => Koordination
Besonderheiten	- 2 gleiche Geißeln - manche Arten haben nur einen Chloroplasten - potentiell unsterblich	- Kolonie (d.h. Verbund gleicher Zellen) Geißeln ragen nach außen, so das die Bewegung nur eingeschränkt ist (da keine Koordination erfolgt) - potentiell unsterblich	---> ---> - potentiell unsterblich	Vermehrung durch Tochterkugeln, die ungeschlechtlich im Inneren gebildet werden => Zelltod beim Aufreißen der Mutterkugel - sterblich



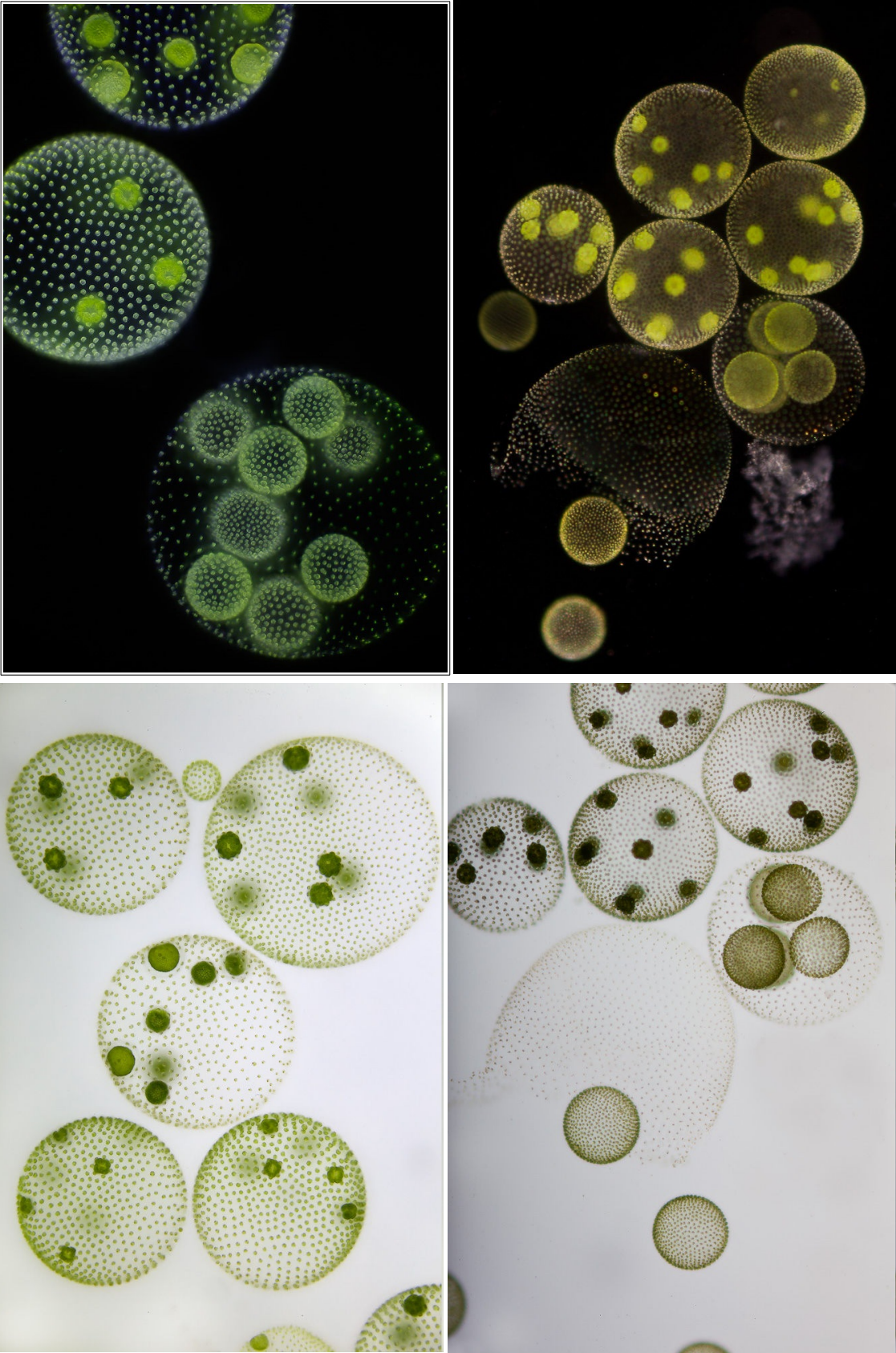
Eine Aufgabe zum Nachdenken:

1. Nenne Vor- und Nachteile der Spezialisierung. Finde Beispiele aus Natur, Technik und der menschlichen Gesellschaft (Vergleiche Volksschullehrer, Fachlehrer am Gymnasium).

Lösungen zum Arbeitsblatt

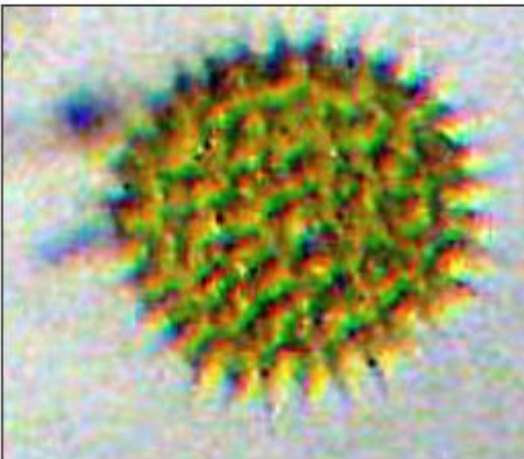
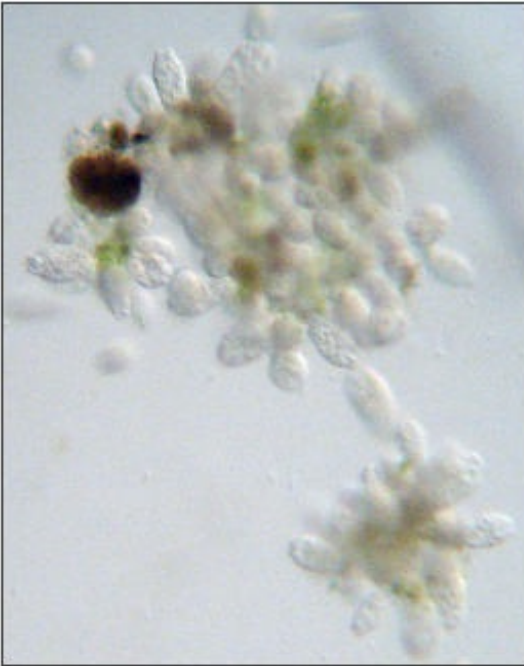
- i) Chlamydomonas II) Gonium III) Eudorina IV) Volvox 1) Fortpflanzungszelle 2) Körperzelle
3) Plasmabrücke 4) Tochterkugel 5) Gallerte
6) Geißeln 7) Pulsierendes Bläschen 8) Augenfleck 9) Zellkern 10) Stärkebildungszentrum
11) Chloroplast 12) Zellwand

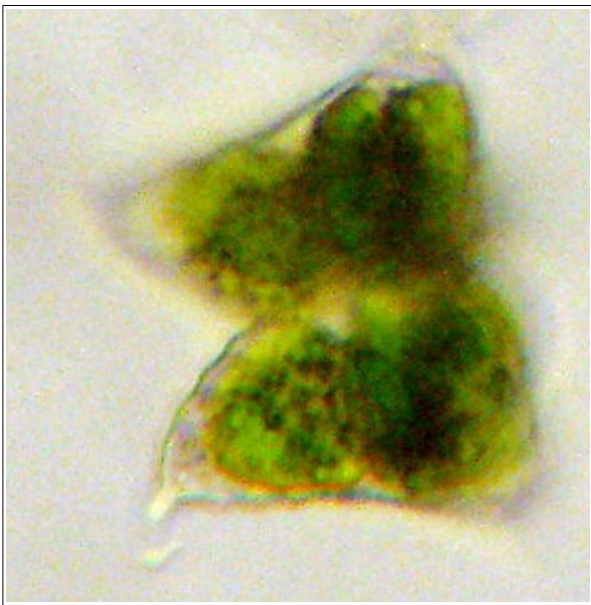
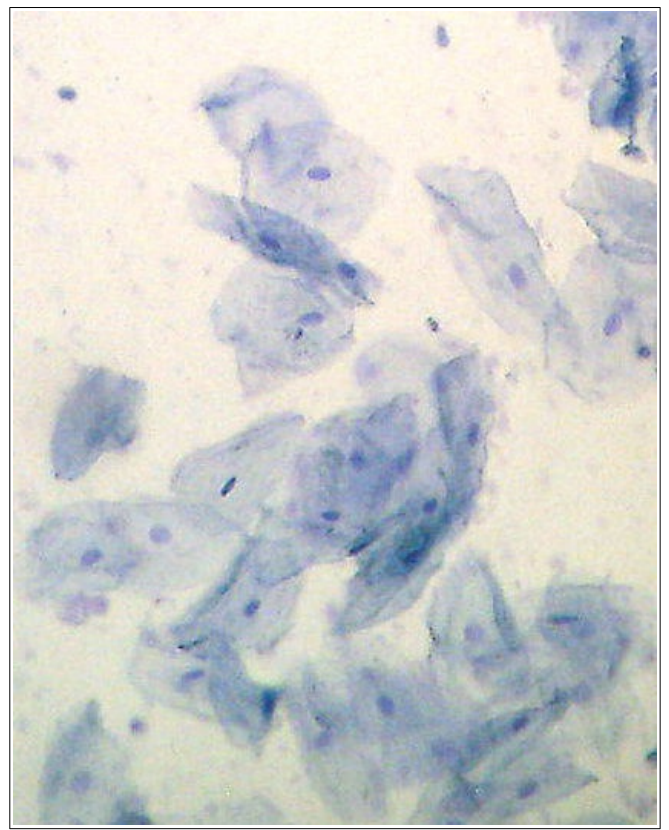
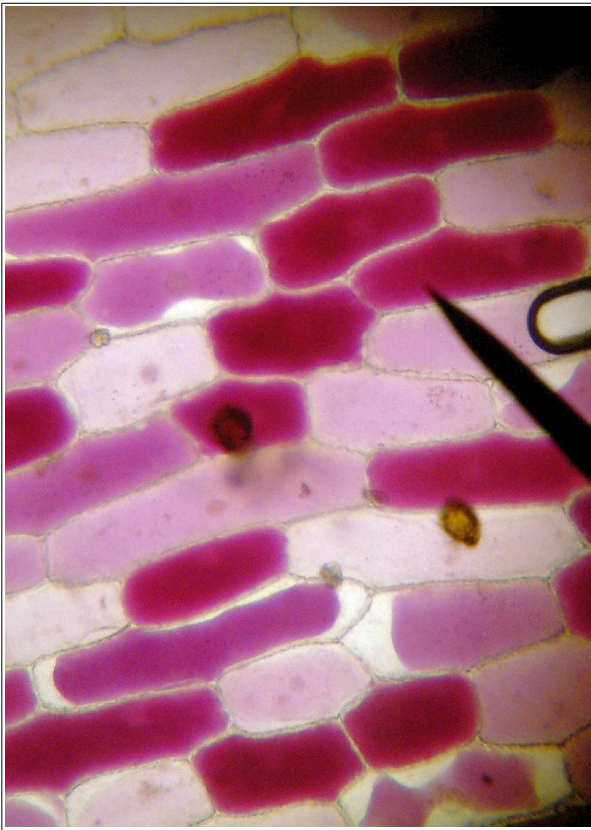
Fotos der Kugelalge Volvox



Quelle Volvoxbilder: [Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Germany](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mikrofoto.de-volvox-16.jpg) license. Mikro-foto.de, Fank Fox & Wikipedia - Vielen Dank
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mikrofoto.de-volvox-16.jpg?](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mikrofoto.de-volvox-16.jpg)
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mikrofoto.de-volvox-17.jpg>
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mikrofoto.de-volvox-4.jpg>
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mikrofoto.de-volvox-8.jpg>

Algen





Kapsal (Pediastrum)

