

Markl Biologie

Lösungen

Arbeitsheft Oberstufe
Zelle

Herausgegeben von:
Jürgen Markl

Autorinnen und Autoren:
Maria Beier
Sven Gemballa
Karin Grunewald
Holger Knerich
Ralf Küttner
Matthias Nolte

unter Mitarbeit von:
Julia Markl

Ernst Klett Verlag
Stuttgart · Leipzig

Quellennachweis

Descience, Andrea Ulrich, Luzern, **9.1; 11.1; 17.1; 17.2; 21.1; 24.1; 26.1; 28.1; 29.1; 30.1; 32.1; 36.1; 39.1; 40.1**; vasp datastructure GmbH, Ingrid Monnard, Zürich (Andrea Ulrich, Nadja Stadelmann, Anna Unterrassner, Tara Gschwend), **19.1**

1. Auflage

1 5 4 3 2 1 | 26 25 24 23 22

Alle Drucke dieser Auflage sind unverändert und können im Unterricht nebeneinander verwendet werden. Die letzte Zahl bezeichnet das Jahr des Druckes.

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Nutzung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlages. Hinweis § 60a UrhG: Weder das Werk noch seine Teile dürfen ohne eine solche Einwilligung eingescannt und/oder in ein Netzwerk eingestellt werden. Dies gilt auch für Intranets von Schulen und sonstigen Bildungseinrichtungen. Fotomechanische, digitale oder andere Wiedergabeverfahren nur mit Genehmigung des Verlages.

Nutzungsvorbehalt: Die Nutzung für Text und Data Mining (§ 44b UrhG) ist vorbehalten. Dies betrifft nicht Text und Data Mining für Zwecke der wissenschaftlichen Forschung (§ 60d UrhG).

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2022. Alle Rechte vorbehalten. www.klett.de

Das vorliegende Material dient ausschließlich gemäß § 60b UrhG dem Einsatz im Unterricht an Schulen.

Herausgeber: Prof. Dr. Jürgen Markl

Autorinnen und Autoren: Maria Beier, Prof. Dr. Sven Gemballa, Karin Grunewald, Holger Knerich, Ralf Küttner, Dr. Matthias Nolte, unter Mitwirkung von Julia Markl

Entstanden in Zusammenarbeit mit dem Projektteam des Verlages.

Externe Redaktion: Karolin Gerhardt, Köln

Satz: tiff.any GmbH & Co. KG, Berlin

Printed in Germany
ISBN 978-3-12-150061-1

1

Zelle

Die Zelle — Grundeinheit des Lebens

1.1 Genaues Beobachten hilft beim Lernen

A1 Stellen Sie ein Frischpräparat (z. B. vom Zwiebelhäutchen) her oder arbeiten Sie mit einem bereitgestellten Dauerpräparat. Fertigen Sie eine beschriftete mikroskopische Zeichnung von zwei bis drei Zellen aus dem Ihnen vorliegenden Präparat an.

Individuelle Lösung je nach Präparat

1.2 Besondere Zellstrukturen ermöglichen die Funktion des Atmungssystems

A1 Benennen Sie die bezifferten Teile der Atmungsorgane in Abb. 1 und beschreiben Sie den Zusammenhang zwischen Struktur und Funktion.

Die eingeatmete Luft gelangt durch den Nasen-Rachen-Raum ① in die Luftröhre ②. Im Nasen-Rachen-Raum wird sie durch gut durchblutete Schleimhäute angefeuchtet und angewärmt. Die Knorpelspangen an der Luftröhre schützen diese vor mechanischer Verformung (z. B.: beim Schlucken). Die Lunge ③ besteht aus vielen Lungenbläschen ④, die eine riesige innere Oberfläche bilden. Dadurch findet ein sehr effektiver Gasaustausch statt. Dieser wird auch möglich, weil Lungenbläschen und die daran angrenzenden Blutkapillaren nur von sehr dünnen, flächigen Zellen begrenzt sind. Sauerstoff (vom Lungenbläschen ins Blut) und Kohlenstoff (vom Blut in das Lungenbläschen) werden so schnell transportiert.

A2 Stellen Sie den Zusammenhang zwischen Struktur und Funktion der Zellen des Flimmerepithels tabellarisch dar. Begründen Sie, wie das Zusammenwirken der Zelltypen die Funktion ermöglicht.

Zelltyp	Struktur	Funktion
Nervenzelle	druckempfindliche Zellmembran	lösen Niesen und Husten aus
Zellen mit Flimmerhärchen	bewegliche Flimmerhärchen	transportieren Schleim nach oben
Becherzellen	sehr stoffwechselaktive Zellen	produzieren Schleim

Der Schleim der Becherzellen bildet ein Medium, an dem die kleinen Partikel haften. Der Schleim wird mithilfe der beweglichen Flimmerhärchen des Flimmerepithels nach oben transportiert. Die Nervenzellen lösen einen Hustenreiz aus, wenn größere Partikel in die Atemwege kommen. Nur die gemeinsame Funktion aller Zelltypen ermöglicht also die Reinhaltung der Atmungsorgane.

A3 Ordnen Sie die Strukturen aus Abb. 1 den Betrachtungsebenen der Biologie zu.

Zellen: Nervenzelle, Zellen mit beweglichen Flimmerhärchen, Becherzellen, Zellen der Lungenbläschen und Kapillaren

Gewebe: Flimmerepithel

Organe: Nasen-Rachen-Raum, Luftröhre, Lunge

1.4 Knochen sind stabile Organe, die Blut bilden können

A1 Erklären Sie die Begriffe Gewebe und Organ.

Gewebe sind geordnete Zellverbände, in denen ein bestimmter Zelltyp häufig oder ausschließlich vorhanden ist. Gewebe haben bestimmte Funktionen.

Ein Organ ist ein Teil eines Organismus, der aus verschiedenen spezialisierten Geweben gebildet wird und bestimmte Aufgaben erfüllt.

A2 Ein Oberschenkelknochen ist ein Organ. Erläutern Sie das mithilfe der Abb. 1. Ein Knochen ist ein abgegrenzter Teil eines Organismus. Er besteht aus Knochengewebe und Knochenmark. Das sind zwei spezialisierte Gewebe mit unterschiedlichen Funktionen (Knochengewebe: Um- und Aufbau der Knochensubstanz; Knochenmark: u.a. Bildung von Blutzellen).

A3 Fertigen Sie eine beschriftete schematische Zeichnung des eingerahmten Bereichs der Knochenmark-Aufnahme in Abb. 2 an. Orientieren Sie sich dabei an Abb. 1 auf S.22 im Schulbuch.

Individuelle Lösung

A4 Ein Mitschüler sagt: „Auch das Knochenmark ist ein Organ.“ Beurteilen Sie diese Aussage.

Hier sind verschiedene Antworten möglich:

1. Die Aussage ist falsch. Das Knochenmark ist ein Gewebe. Es besteht aus mehreren Zelltypen mit bestimmten Funktionen. Es ist aber kein abgegrenztes Gebilde.
2. Die Aussage ist richtig. Das Knochenmark ist ein Organ. Die Stammzellen bilden ein Gewebe mit der Funktion der Blutbildung. Andere Gewebe wie Bindegewebe kommen auch vor. Außerdem ist das Knochenmark ein vom umgebenden Knochen gut abgegrenztes Gebilde.

1.5 Elektronenmikroskopische Bilder müssen interpretiert werden

A1 Fertigen Sie eine schematische Zeichnung der in Abb. 2 gezeigten Zelle der Wasserlinse an.

Individuelle Lösung

A2 Übertragen Sie die Beschriftung der Zellbestandteile aus Abb. 1 auf Ihre Zeichnung.

Individuelle Lösung

hellblau – Zellkern, grün – Chloroplast, hellbraun – Cytoplasma, dunkelbraun – Zellwand mit Zellmembran

A3 Nennen Sie die Zellbestandteile, deren eindeutige Zuordnung zu Ihrer Zeichnung des TEM-Bildes schwierig oder nicht eindeutig ist. Begründen Sie.

Die Chloroplasten sind schwer zuzuordnen, da sie in der TEM-Aufnahme größer und mit innerer Struktur zu sehen sind. Die grüne Farbe hilft zwar, ist aber eine Koloration des Bildbearbeiters und keine Information aus dem Bild. Die Zellkerne sind in der Aufnahme blau eingefärbt, enthalten eine weitere innere Struktur (dunkelblau) und sind im Verhältnis viel größer als in Abb. 1. Da sie auch nicht rund sind, fällt die Zuordnung schwer. Vakuolen fehlen in den Zellen der TEM-Aufnahme. Die gelb gefärbten Bestandteile und die hellen Flächen sind in Abb. 1 nicht dargestellt. Die Zellwand ist in der TEM-Aufnahme viel dünner und die Zellmembran ist dort nicht zu erkennen.

Hinweis: Die hellen Flächen sind Schäden, die bei der Herstellung des Präparates entstanden sind. Bei den gelben Strukturen handelt es sich um Mitochondrien.

1.6 Zellorganellen ermöglichen den Stoffwechsel

A1 Erstellen Sie eine biologische Zeichnung (1/2 DIN-A4-Seite) eines Ausschnitts aus der Leberzelle in Abb. 1 (TEM-Aufnahme oben rechts) und beschriften Sie die eindeutig erkennbaren Zellbestandteile.

Individuelle Lösung

A2 Erläutern Sie das Prinzip der Kompartimentierung am Beispiel einer Leberzelle.

Kompartimentierung ist die Aufteilung eines Raumes in Teilräume mit verschiedenen Funktionen. In Zellen existieren von Biomembranen umschlossene Bereiche (Organellen), die verschiedene Funktionen erfüllen. Kompartimente der Leberzelle sind z. B. der Zellkern (beherbergt die DNA, Herstellung ribosomaler RNA), Mitochondrien (Energiebereitstellung) oder das endoplasmatische Retikulum (Herstellung von Proteinen).

A3 Leberzellen haben verhältnismäßig viele Mitochondrien. Erklären Sie das. In den Mitochondrien wird Energie für die Zelle bereitgestellt. Da Leberzellen sehr stoffwechselaktiv sind (Abbau von Substanzen, Speicherung von Nährstoffen u. a.) brauchen sie viel Energie. Eine Leberzelle kann ihren Energiebedarf also nur decken, wenn sie viele Mitochondrien besitzt.

A4 Am Bau der Leber und der Leberzellen wird deutlich, dass bestimmte Strukturen bestimmte Funktionen ermöglichen. Erläutern Sie das auf der Ebene des Organs Leber und auf der Ebene der Zellorganellen der Leberzellen.

Das Organ Leber besteht u. a. aus Leberzellen, die schwammartig angeordnet sind. Die vorhandenen winzigen Hohlräume (Sinusoide) enthalten Blut. Sie sind von keiner eigenen Gefäßwand begrenzt, sondern von den Leberzellen (Struktur). Dadurch entsteht eine große Oberfläche, mit der ein gesteigerter Stoffaustausch zwischen Leberzellen und Blut möglich ist (Funktion). Leberzellen haben Zellkerne (Struktur). In ihnen ist die DNA gespeichert (Funktion). Das endoplasmatische Retikulum ist stark gefaltet (Struktur). Es steht also viel Fläche für die Produktion von Proteinen zur Verfügung (Funktion).

2

Das Zusammenwirken von Zellbestandteilen

2.1 Der Zellkern steuert den Stoffwechsel des gesamten Organismus

A1 Benennen Sie die Strukturen **a** bis **d** des Zellkerns in Abb. 1 und geben Sie deren Funktionen an.

a Nucleolus, **b** Kernpore, **c** Kernmembran, **d** Chromatin

A2 Beschreiben Sie das Experiment aus Abb. 2.

Aus einer Eizelle, die aus dem Laich eines Frosches mit grüner Hautfarbe stammt, wird der Zellkern entfernt.

In die entkernte Eizelle des grünen Frosches wird ein Zellkern aus der Körperzelle eines Albino-Frosches übertragen. Diese Eizelle, die ursprünglich vom grünen Frosch stammt, entwickelt sich zu einem Albino-Frosch.

A3 Vergleichen Sie das in Abb. 2 gezeigte Experiment mit dem Experiment zum Kernaustausch bei *Acetabularia* (Abb. 2 auf S.33 im Schulbuch).

	Experiment mit Fröschen	Experiment mit <i>Acetabularia</i>
Fragestellung	Untersuchung der Rolle von Zellkern und Cytoplasma bei der Steuerung des Stoffwechsels in Zellen	
Organismen	1 Art, Vielzeller	2 Arten, Einzeller
untersuchte Eigenschaften	Hautfarbe	Schirmform
Art des Experiments	Transplantation eines Zellkerns in das Cytoplasma einer anderen Zelle	
Ort der Transplantation	in eine Eizelle	in eine „normale“ Zelle
Beobachtung	Der entstehende Organismus zeigt die Eigenschaften des Organismus, von dem der Zellkern stammt.	Die sich regenerierende Zelle des einzelligen Organismus zeigt die Eigenschaften der Zelle, von der der Zellkern stammt.
Schlussfolgerung	Der Zellkern bestimmt die Eigenschaften eines Organismus. Er ist Träger der Erbinformation.	

A4 „Das Cytoplasma steuert den Stoffwechsel des gesamten Organismus.“

Das ist die Gegenhypothese zur Überschrift des Arbeitsblatts. Überprüfen Sie diese Gegenhypothese mithilfe der Abb. 2.

Diese Position ist falsch. Wäre sie richtig, müsste sich aus der Eizelle des grünen Frosches mit dem Zellkern des Albino-Frosches ein Tier mit grüner Hautfarbe entwickeln, da das Cytoplasma vom grünen Frosch stammt.

2.3 Moleküle markieren das Ziel von Vesikeltransporten

A1 Beschreiben Sie den Weg eines Proteins von seiner Entstehung bis zur Ausschleusung aus der Zelle mithilfe der Abb. 1.

Das Protein wird durch Ribosomen am rauen ER synthetisiert und in Vesikel verpackt. Diese gelangen zur Empfangsseite des Golgi-Apparats und verschmelzen mit einem Dictyosom. Das Protein ist nun im Inneren des Golgi-Apparats. Hier können Proteine verändert, sortiert und wieder zum Transport in Vesikel verpackt werden. Diese Transportvesikel verschmelzen mit der Zellmembran und die Proteine gelangen aus der Zelle.

A2 Erläutern Sie das gezeigte Forschungsergebnis der drei Wissenschaftler mithilfe der Abb. 1.

Vesikel besitzen in ihrer Membran Moleküle, die genau an Moleküle der Zellmembran passen (Schlüssel-Schloss-Prinzip). Bei der Annäherung der Vesikel an die Zellmembran treten diese Moleküle in Kontakt. Im Zwischenraum öffnen sich

die Zellmembran und die Vesikelmembran. Beide Membranen verschmelzen. Die Moleküle in der Vesikelmembran werden kurz vor der Verschmelzung durch andere Moleküle in ihrer Form so verändert, dass sie mit den Molekülen der Zellmembran wechselwirken können.

A3 Ein Medikament soll verhindern, dass eine Drüsenzelle zu viel Sekret abgibt. Geben Sie Möglichkeiten an, wie ein Medikament die Ausschüttung der Vesikel bremsen könnte.

Ein Wirkstoff könnte sich an die Moleküle der Zellmembran oder des Vesikels so anlagern, dass die passende Andockstelle blockiert ist. Ein anderer Wirkstoff könnte die „Hilfsmoleküle“ am Vesikel so beeinträchtigen, dass die Andock-Moleküle des Vesikels sich nicht abwinkeln und an die Zellmembran binden können.

A4 Stellen Sie eine Hypothese auf, weshalb keines der Vesikel mit einem Mitochondrium verschmilzt.

Es gibt keine Moleküle in den Membranen des Mitochondriums, die mit den Molekülen der Vesikelmembran, die zur Vesikelöffnung führen, in Wechselwirkung treten können.

2.5 ATP – der winzige Akku aller Lebewesen

A1 Beschreiben Sie mithilfe der Abb. 1 auf S.33 im Schulbuch den Bau des „Bioakkus“ ATP und wie chemische Energie im Molekül gespeichert ist.

Das ATP-Molekül besteht aus einem stickstoffhaltigen Ringsystem, dem Adenin, dem Zucker Ribose und drei Phosphatgruppen. Alle Molekülteile sind über chemische Bindungen miteinander verknüpft. Für den Organismus nutzbare Energie ist in der chemischen Bindung zur endständigen Phosphatgruppe gespeichert. Wird sie abgespalten, wird die Energie frei und nutzbar; wird sie angelagert, muss Energie aufgewendet werden.

A2 Stellen Sie das Schema zum Laden und Entladen von Akkus in Abb. 1 und das ATP/ADP-System gegenüber.

	ATP/ADP-System	Akkus
energiearme Form	ADP	entladener Akku
energiereiche Form	ATP	geladener Akku
exothermer Vorgang	Spaltung von ATP	Akku wird entladen und betreibt ein Gerät
endothermer Vorgang	Bildung von ATP	Akku wird am Netz geladen
Energieumwandlungen	ATP-Spaltung: chemische Energie in chemische Energie Hinweis: Dabei wird meist auch Wärmeenergie frei. ATP-Bildung: chemische Energie in chemische Energie Hinweis: Bei der Fotosynthese entsteht auch ATP. Dabei wird Lichtenergie in chemische Energie umgewandelt.	Entladen: chemische Energie in elektrische Energie Laden: elektrische Energie in chemische Energie
Vorkommen	in Lebewesen	in Technik

A3 Prüfen Sie die folgenden Aussagen auf Richtigkeit. Korrigieren Sie die fachlichen Fehler.

Korrektur: ATP ist ein energiereiches Molekül.

richtig: Die Reaktion $\text{ADP} + \text{P} \rightarrow \text{ATP}$ ist endotherm.

richtig: Eine endotherme Reaktion kann in der Zelle durch ATP-Spaltung ermöglicht werden.

richtig: Bei Muskelarbeit wird chemische Energie in mechanische Energie und Wärmeenergie umgewandelt.

Korrektur: Ein ADP-Molekül kann durch Anlagern einer Phosphatgruppe zu ATP werden.

A4 Sit-ups gehören zu jedem Workout. Berechnen Sie die Anzahl der ATP-Moleküle, die während einer Minute Sit-ups in den Muskeln einer 50 kg schweren Person umgesetzt werden. Gehen Sie davon aus, dass bei einer Körpermasse von 50 kg beim Workout (Sit-ups, Pull-ups usw.) eine Energie in Form von ATP von ca. 400 kJ pro Stunde benötigt wird. Wählen sie aus dem Steckbrief (Abb. 2) die weiteren notwendigen Informationen zur Lösung der Aufgabe aus.

gegeben im Text:

Masse Person = 50 kg

Energieverbrauch/Stunde = 400 kJ

gegeben im Steckbrief:

1 mol ATP entsprechen 30,5 kJ → Energiegehalt = 30,5 kJ/mol

1 mol ATP entsprechen $6 \cdot 10^{23}$ Moleküle → Teilchenzahl = $6 \cdot 10^{23}$ Moleküle/mol

gesucht: Zahl der verbrauchten ATP-Moleküle pro Minute

Rechenweg:

ATP-Verbrauch pro Stunde

$400 \text{ kJ} : 30,5 \text{ kJ/mol} = 13,11 \text{ mol}$

ATP-Verbrauch pro min

$13,11 \text{ mol} : 60 \text{ min} = 0,22 \text{ mol/min}$

ATP-Moleküle pro Minute

$0,22 \text{ mol} \cdot 6 \cdot 10^{23} \text{ ATP-Moleküle/mol} = 1,32 \cdot 10^{23} \text{ Moleküle} = 131 \text{ Trilliarden ATP-Moleküle}$

($10^{21} = 1 \text{ Trilliarde}$)

131 Trilliarden ATP-Moleküle werden während einer Minute Sit-ups in den Muskeln einer 50 kg schweren Person umgesetzt.

2.6 Pflanzenzellen können Energie auf zwei Wegen gewinnen

A1 Benennen Sie das abgebildete Zellorganell (Abb. 1) und geben Sie an, welcher Mikroskoptyp bei der Aufnahme genutzt wurde.

Mitochondrium; Transmissionselektronenmikroskop (TEM)

A2 Benennen Sie die Bestandteile **a** bis **d** in Abb. 1.

a äußere Membran, **b** innere Membran, **c** Zwischenmembranraum, **d** Matrix

A3 Beschreiben Sie die Bedeutung von ATP und ADP im Stoffwechsel von Lebewesen und geben Sie die Herstellungsorte von ATP in Pflanzen- und Tierzellen an. ATP ist ein universeller Energiespeicher bei Lebewesen. Bei der Bildung von ATP aus ADP durch Anhängen einer Phosphatgruppe (P) wird chemische Energie in der Bindung gespeichert. Beim Abspalten einer Phosphatgruppe aus einem ATP-Molekül wird diese Energie wieder frei und der Organismus kann sie für seine Lebensvorgänge verwenden.

Herstellungsorte: Chloroplast (Pflanzenzelle), Mitochondrium (Tier- und Pflanzenzelle)

A4 Den funktionellen Zusammenhang von Fotosynthese und Zellatmung auf der Ebene der Zellen zeigt Abb. 3. Vergleichen Sie Abb. 3 mit der Abb. 1 auf S.41 im Schulbuch.

Die Abb. 1 im Schulbuch zeigt den Zusammenhang zwischen Fotosynthese und Zellatmung auf der Ebene der Zellorganellen Chloroplast und Mitochondrium. Beide können ATP produzieren. Bei der Fotosynthese wandelt der Chloroplast Lichtenergie in chemische Energie des ATP um und stellt Glucose und Sauerstoff her. Im Mitochondrium wird bei der Zellatmung Glucose mit Sauerstoff umgesetzt. Die dabei frei werdende Energie wird in ATP gespeichert. Fotosynthese und Zellatmung stehen also in engem stofflichem Zusammenhang. Zwischen Fotosynthese und Zellatmung gibt es einen Stoffkreislauf. Außerdem werden in der Abb. 1 im Schulbuch die Kompartimentierung und die Oberflächenvergrößerung in beiden Organellen dargestellt.

Die Abb. 3 zeigt den Zusammenhang zwischen Fotosynthese und Zellatmung auf der Ebene von Zellen. Die Zusammenhänge zwischen Fotosynthese und Zellatmung sind die gleichen wie oben beschrieben. Da aber Tierzellen nur Mitochondrien besitzen, sind sie zur ATP-Produktion bei der Zellatmung auf Glucose und Sauerstoff angewiesen, die von Pflanzenzellen mithilfe von Chloroplasten hergestellt wurden. Pflanzenzellen haben aber auch Mitochondrien. Sie können so zur ATP-Produktion Fotosynthese (bei Licht in den Chloroplasten) und Zellatmung (in den Mitochondrien) betreiben.

Der oben beschriebene Stoffkreislauf (Schulbuch Abb. 1, S.41) zwischen Fotosynthese und Zellatmung kann komplett in einer Pflanzelle, aber nie in einer Tierzelle stattfinden.

A5 Erläutern Sie, dass im Flaschengarten (Abb. 2) aus energetischer Sicht Pflanzen ohne Tiere auskommen können, aber Tiere ohne Pflanzen schnell sterben würden.

Pflanzen und Tiere benötigen zum Aufrechterhalten ihres Stoffwechsels Energie in Form von ATP. Pflanzen verfügen über Chloroplasten und Mitochondrien. Sie können also über die Fotosynthese Lichtenergie in chemische Energie in Form von ATP umwandeln und Glucose und Sauerstoff produzieren. Aus der Glucose und dem Sauerstoff können sie bei der Zellatmung ebenfalls energiereiches ATP herstellen. Pflanzen können somit aus energetischer Sicht „auf sich allein gestellt“ leben. Tiere verfügen nur über Mitochondrien. Zur Fotosynthese sind sie nicht fähig. Als ATP-liefernder Vorgang steht nur die Zellatmung zur Verfügung. Die dafür notwendige Glucose und den Sauerstoff können sie nicht selbst herstellen. Sie sind also aus energetischer Sicht auf die Fotosynthese der Pflanzen angewiesen und würden allein in einem geschlossenen Gefäß absterben.

Hinweis: Kleine Bodentiere und andere Mikroorganismen spielen in einem Flaschengarten ebenfalls eine wichtige Rolle. Sie sind an der Verrottung abgestorbener Pflanzenteile beteiligt.

2.7 Bakterien sind klein und vermehren sich schnell

A1 Fertigen Sie eine beschriftete schematische Zeichnung einer Bakterienzelle an.

Individuelle Lösung (vgl. Abb. 1 auf S.42 im Schulbuch)

A2 Beschreiben Sie die Teilung eines Bakteriums anhand von Abb. 3.

Eine Bakterienzelle enthält ein ringförmiges Chromosom, das sich zunächst verdoppelt. Danach schnürt sich die Zellwand bis zur vollständigen Teilung ein. Das Resultat sind zwei Bakterienzellen mit je einem Bakterienchromosom.

A3 Berechnen Sie die Zeit, die notwendig ist, damit eine Bakterienkolonie wie in Abb. 1 aus einem Bakterium durch Teilung entstehen kann. Diese Kolonie hat einen Durchmesser von 5 mm und eine Höhe von 0,2 mm. Gehen Sie von idealen Wachstumsbedingungen aus. Dabei teilen sich Bakterien alle 20 min. Nehmen Sie ein Bakterienvolumen von $1\ \mu\text{m}^3$ an.

gegeben:

d (Kolonie): 5 mm = 5 000 μm

h (Kolonie): 0,2 mm = 200 μm

V (Bakterie): $1\ \mu\text{m}^3$

t (Teilung): 20 min

gesucht:

T (K) Zeit bis zur Bildung der Kolonie

Lösung:

$V(\text{Kolonie}) = A \cdot h = \pi/4 d^2 h$

$V(\text{Kolonie}) = 19\,625\,000\ \mu\text{m}^2 \cdot 200\ \mu\text{m} = 3\,925\,000\,000\ \mu\text{m}^3$

Da ein Bakterium ein Volumen von $1\ \mu\text{m}^3$ hat, bilden 3 925 000 000 Bakterien eine Kolonie.

Anzahl der Bakterienteilungen K:

Nach der 1. Teilung (= K) entstehen 2 Bakterien (= B), nach der 2. Teilung 4, nach der 3. Teilung 8 usw.

$K = \lg_2 B$

$K = \lg_2 3\,925\,000\,000$

$K = 31,87$

32 Zellteilungen sind nötig.

$T = 32 \cdot t(\text{Teilung}) = 32 \cdot 20\ \text{min} = 640\ \text{min}$

Nach 10 h und 40 min ist das Volumen der Zellkolonie von der Zellteilung eines Bakteriums ausgehend entstanden.

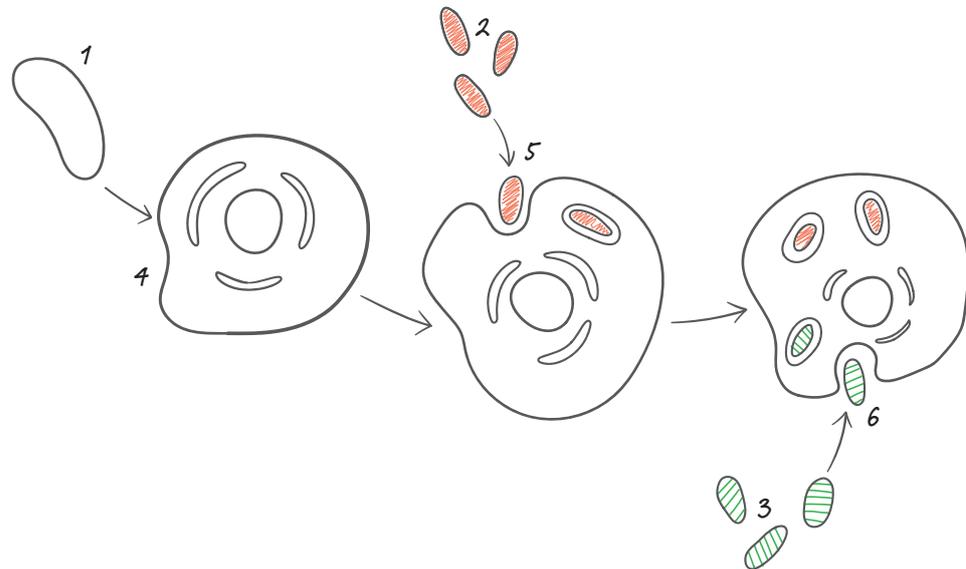
Hinweis: Dabei wird vernachlässigt, dass zwischen den Bakterien Zwischenräume liegen.

A4 Das Wachstum von Bakterienkolonien erfolgt oft langsamer als in Aufgabe 3 berechnet. Nennen Sie mögliche Ursachen dafür.

Die Bakterien teilen sich nur bei optimalen Bedingungen nach 20 min. Es gibt auch kein unbegrenztes Nahrungsangebot. Zwischen den Bakterien kommt es daher zu Konkurrenz. Außerdem können von den Bakterien ausgeschiedene Stoffe das Wachstum hemmen oder die Bakterien sogar vergiften.

2.8 Die Endosymbiontentheorie erklärt die Herkunft der Mitochondrien und Chloroplasten in den Zellen

A1 Beschreiben Sie mithilfe einer beschrifteten Skizze die Aufnahme der Vorläufer der Mitochondrien und Chloroplasten durch „Ur-Eukaryoten“.



Die prokaryotischen Vorläuferzellen (1), aerobe Bakterien (2) und Cyanobakterien (3) waren frei lebende Mikroorganismen. Durch starkes Wachstum und Membraneinfaltungen bildeten sich in der Vorläuferzelle der Zellkern und Membransysteme (4). Diese nun eukaryotische Zelle nahm durch Endocytose aerobe Bakterien (5) und Cyanobakterien (6) auf, die nicht als Nahrung verdaut wurden. Es bildete sich eine enge Lebensgemeinschaft (Symbiose) aus. Die Cyanobakterien entwickelten sich zu Chloroplasten, die aeroben Bakterien zu Mitochondrien im Inneren der Zelle (Endosymbiose).

A2 Fassen Sie den Inhalt der Endosymbiontentheorie in drei Kernaussagen zusammen.

- Die Vorläufer der Chloroplasten und Mitochondrien waren eigenständige Mikroorganismen.
- Eine Zelle nahm die Vorläufer der Chloroplasten und Mitochondrien durch Endocytose auf.
- Chloroplasten und Mitochondrien entwickelten sich und wurden in die Zelle integriert (Endosymbiose).

A3 Die Zellmembranen von heute lebenden Eukaryoten und Prokaryoten unterscheiden sich. Geht man davon aus, dass die Vorläufer von Chloroplasten und Mitochondrien durch Endocytose von Prokaryoten in die Zelle eines „Ur-Eukaryoten“ aufgenommen wurden, ist folgende Hypothese möglich:

„Die innere und die äußere Membran von Mitochondrien haben eine unterschiedliche Zusammensetzung.“

Überprüfen Sie die Hypothese anhand der Daten in Abb. 2 und begründen Sie Ihre Aussage.

Die Hypothese stimmt. Die äußere Membran des Mitochondriums enthält neben Triglyceriden das Lipid Cholesterol, genau wie die Membran der Leberzelle der Ratte. Cardiolipin fehlt. Das Protein-Lipid-Verhältnis ist 1,0, ähnlich dem der Membran der Leberzelle der Ratte (1,3).

Die innere Membran enthält neben Triglyceriden das Lipid Cardiolipin, wie die Membran des Darmbakteriums. Es liegt kein Cholesterol vor. Hier ist das Protein-Lipid-Verhältnis 2,9, also ähnlich dem der Membran von *E. coli* (2,5).

Die innere und äußere Membran von Mitochondrien unterscheiden sich durch in Bezug auf die darin vorkommenden Lipide und das Verhältnis von Proteinen und Lipiden.

A4 Werten Sie die weiteren Angaben in Abb. 2 im Hinblick auf die Endosymbiontentheorie aus.

Tabellenzeile „Ribosomen“: Diese Angaben stützen die Endosymbiontentheorie, da die Ribosomen in den Mitochondrien denen der Bakterien ähneln (beide 70 S), während sie sich von den Mitochondrien im Cytoplasma der Eucyten (80 S) unterscheiden.

Tabellenzeile „Chromosom“: Diese Angaben stützen die Endosymbiontentheorie, da die Erbsubstanz in den Mitochondrien und in den Bakterien jeweils als „nackte“ ringförmige DNA vorliegt, während sie bei den Eucyten in Chromosomen verpackt ist.

3

Biomembranen – Ein- und Ausfuhrkontrolle der Zelle

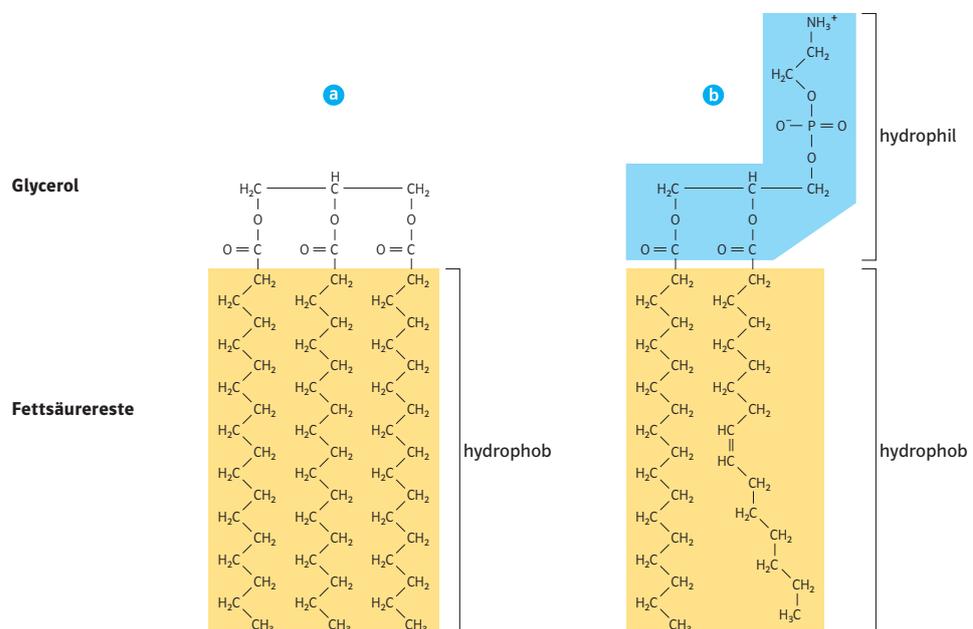
3.1 Lipid-Doppelschichten bilden die Grundstruktur von Biomembranen

A1 Vergleichen Sie die beiden Moleküle in Abb. 2 bezogen auf ihren (chemischen) Aufbau.

Ein Triglycerid hat als Grundgerüst ein Glycerinmolekül, das mit drei langkettigen Fettsäureresten verknüpft ist.

Ein Membranlipid hat als Grundgerüst ebenfalls ein Glycerinmolekül, dieses ist aber nur mit zwei langkettigen Fettsäureresten verknüpft. Statt des dritten Fettsäurerestes ist hier ein Molekülrest angefügt, der eine Phosphatgruppe enthält.

A2 Kennzeichnen Sie in der Strukturformel hydrophobe und hydrophile Bereiche der jeweiligen Moleküle.



Hinweis: Es ist grundsätzlich auch eine Kennzeichnung der Sauerstoffatome im Bereich des Glycerolrestes als hydrophiler Anteil möglich. Es gilt aber zu bedenken, dass diese sehr gering im Vergleich zu den hydrophoben Bereichen der Fettsäurereste sind und damit vernachlässigt werden können.

A3 Begründen Sie anhand der Molekülstruktur, warum Triglyceride als Membranbausteine nicht geeignet sind.

Die Funktion der Membran ist die Abgrenzung des Zellinneren, also des wässrigen Cytoplasmas, nach außen. Dazu richten sich die hydrophilen Köpfe der Membranlipide zum Wasser aus.

Triglyceride enthalten keinen hydrophilen Anteil im Molekül und könnten daher nicht mit der wässrigen Phase in Wechselwirkungen treten.

3.2 Bestandteile der Biomembran lassen sich durch Experimente ermitteln

A1 Notieren Sie die Fragestellung, die mit dem Experiment untersucht wird. Notieren Sie zwei dazu passende, gegenläufige Hypothesen.

Fragestellung: Sind Lipide am Aufbau der Biomembran beteiligt?

Hypothesen: [H1] Die Biomembran enthält Lipide. [H2] Die Biomembran enthält keine Lipide.

A2 Führen Sie das Experiment durch und notieren Sie die Ergebnisse.

Ansatz	Reagenzglas mit Inhalt	Ergebnis
1	ca. 10 ml Wasser + Rotkohlstreifen	Flüssigkeit bleibt farblos klar
2	ca. 8 ml Wasser + 2 ml Öl, schütteln	Öl- und Wasserphase bleiben getrennt
3	ca. 8 ml Spülmittel:Wasser (1:1) + 2 ml Öl, schütteln	weiß-trübe Lösung
4	ca. 10 ml Spülmittel:Wasser (1:1) + Rotkohlstreifen	blaurote Verfärbung der Lösung

A3 Werten Sie die Ergebnisse aus und beurteilen Sie Ihre beiden Ausgangshypothesen.

Ansatz 1: Die Flüssigkeit bleibt klar, was darauf hinweist, dass die Membranen noch intakt sind. Der Vakuolensaft ist nicht ausgetreten. Wasser allein kann die Membran nicht zerstören.

Ansatz 2: Ansatz 2 zeigt, dass Wasser allein Lipide (Fette, hier ein Pflanzenöl) nicht lösen kann.

Ansatz 3: Öl- und Wasserphase emulgieren, sodass die Fette als kleine Tröpfchen in der wässrigen Lösung vorliegen. Ansatz 3 zeigt, dass die Tenside des Spülmittels in der Lage sind, die Fette zumindest teilweise in Lösung zu bringen.

Ansatz 4: Die blaurote Verfärbung zeigt an, dass Vakuolensaft ausgetreten ist. Das Spülmittel hat das Fett in der Membran emulgiert und zerstört diese; der rote Zellsaft tritt aus.

Beurteilung der Ausgangshypothesen: [H2] „Die Biomembran enthält keine Lipide“ ist widerlegt. [H1] „Die Biomembran enthält Lipide“ wird gestützt.

A4 Die roten Farbstoffe sind in Zellen des Rotkohls in der Vakuolenflüssigkeit gelöst. In einer Folgebeobachtung werden Zellen des Rotkohls aus den Ansätzen 1 und 4 mikroskopiert. Beschreiben Sie (Text oder Zeichnung), welche mikroskopischen Befunde Sie erwarten. Begründen Sie Ihre Erwartungen.

Ansatz 1: Da die Membran durch das Wasser allein nicht beeinträchtigt wird, werden normale und intakte Rotkohlzellen erwartet, die in ihrer Vakuole eine blaurote Lösung zeigen.

Ansatz 4: Da die Membran durch das Spülmittel beeinträchtigt bzw. zerstört wird, ist zu erwarten, dass die rote Lösung aus der Vakuole austritt und sich im Cytoplasma und über die Zellmembran gleichmäßig im Gewebe ausbreitet.

Hinweise zum Experiment: Nicht alle Spülmittel sind geeignet, eventuell müssen mehrere Marken ausprobiert werden! Das Spülmittel sollte farblos sein. Kein Spülmittelkonzentrat verwenden, sondern normales Spülmittel, ca. 1:1 verdünnt mit Wasser.

3.2 Sind Proteine am Aufbau der Biomembran beteiligt?

A1 Formulieren Sie zu der Fragestellung in der Überschrift zwei gegenläufige Hypothesen.

Hypothesen: [H1] Die Biomembran enthält Proteine. [H2] Die Biomembran enthält keine Proteine.

A2 Planen Sie ausgehend von den Vorüberlegungen in den Sprechblasen ein geeignetes Experiment mit mehreren vergleichenden Ansätzen zur Prüfung der Hypothesen. Berücksichtigen Sie dabei auch notwendige Kontrollexperimente. (siehe auch Hinweise unten)

Für das Experiment werden zwei vergleichende Ansätze mit Rotkohlstreifen benötigt, einmal mit Wasser und einmal mit Essigsäure (Ansätze 1 und 5). Darüber hinaus muss z. B. mit Eiklar gezeigt werden, dass Essigsäure Proteine denaturiert (Ansatz 2; Positivkontrolle), jedoch Wasser alleine dies nicht tut (Ansatz 3, Negativkontrolle).

Es muss ausgeschlossen werden, dass Essigsäure Lipide beeinträchtigt (Ansatz 4). Die Ansätze sollen von den Mengen her möglichst vergleichbar sein, z. B. gemäß folgender Tabelle:

Ansatz	Reagenzglas mit Inhalt	Ergebnis
1	10 ml Wasser + Rotkohlstreifen	Flüssigkeit bleibt farblos klar
2	8 ml Essigsäure + 2 ml Eiklar	Bildung weißer Flocken
3	8 ml Wasser + 2 ml Eiklar	klare Lösung
4	8 ml Essigsäure+ 2 ml Öl	Öl und Essigsäure bleiben getrennt
5	10 ml Essigsäure + Rotkohlstreifen	blaurote Verfärbung der Lösung

A3 Führen Sie die Experimente durch und werten Sie diese im Hinblick auf Ihre Hypothesen aus.

Ergebnisse z. B. gemäß vorstehender Tabelle.

Auswertung:

Ansatz 1: Die Flüssigkeit bleibt klar, was darauf hinweist, dass die Membranen noch intakt sind. Der Vakuolensaft ist nicht ausgetreten. Wasser allein kann die Membran nicht zerstören.

Ansatz 2: Es bilden sich weiße Flocken, da die Essigsäure die Proteine zerstört (denaturiert).

Ansatz 3 zeigt, dass Wasser allein Proteine nicht zerstört.

Ansatz 4 zeigt, dass Essigsäure allein Lipide (Fette, hier ein Pflanzenöl) nicht lösen kann.

Ansatz 5: Die blaurote Verfärbung zeigt an, dass Vakuolensaft ausgetreten ist. Ein Membranbestandteil muss demnach so beeinträchtigt sein, dass die Membran durchlässig wird. Bei diesem Membranbestandteil kann es sich nicht um die Lipide handeln (Ansatz 4), sondern nur um Proteine (Ansatz 2). Die Ursache für die Beeinträchtigung kann nicht das Wasser sein (Ansatz 1, 3). Es muss die Säure sein (Ansatz 2).

[H2] „Die Biomembran enthält keine Proteine.“ ist widerlegt. [H1] „Die Biomembran enthält Proteine.“ wird gestützt.

A4 Beurteilen Sie das Modell der Lipid-Doppelschicht vor dem Hintergrund Ihrer experimentellen Befunde. Erklären Sie an diesem Beispiel, welchen Stellenwert Modelle in der Wissenschaft haben können und welchen nicht.

Beurteilung: Das Modell der Lipid-Doppelschicht ist unvollständig, da es nur Lipide als Bestandteil der Membran berücksichtigt. Es müssen aber auch Proteine enthalten sein.

Stellenwert von Modellen: Modelle bilden lediglich einen momentanen Erkenntnisstand ab, aber nicht die „Realität“. Bei neuen experimentellen Befunden wie im vorliegenden Beispiel müssen Modelle angepasst werden. Modelle sind daher immer als vorläufig und unvollständig anzusehen.

Hinweise zum Experiment:

- Um den vorliegenden experimentellen Arbeitsauftrag vorzuentlasten, sollte ein entsprechendes Experiment zur Beteiligung von Lipiden am Membranaufbau (siehe Arbeitsblatt S. 16) vorher im Unterricht durchgeführt worden sein.
- Rotkohl, Pflanzenöl, Eiklar und Essigsäureessenz (25 %) müssen bereitstehen. Für das Experiment eignet sich verdünnte Essigsäureessenz (10 %). Haushaltssessig (ca. 5 %) ist zu wenig sauer.

3.2 Proteine und Kohlenhydrate machen Zellen von außen erkennbar

A1 Stellen Sie eine begründete Vermutung an, warum die Schweinegrippe-Viren keine menschlichen Zellen befallen.

Menschlichen Zellen und Schweinezellen haben unterschiedliche Oberflächenstrukturen (Rezeptoren) auf der Membranaußenseite. Daher können Schweine-Influenza-Viren nur spezifisch an die Zellen von Schweinen binden, nicht aber an menschliche Zellen. Die Viren besitzen nicht den „passenden Schlüssel zum Schloss“.

A2 In Schulbüchern werden Mechanismen der Zellerkennung oft vereinfacht bzw. schematisch dargestellt. Begründen Sie das.

Die Zellerkennung beruht auf bestimmten Oberflächenstrukturen, die aus Proteinen und Kohlenhydraten bestehen, die auf vielfältige Weise miteinander verknüpft sind. Die große Anzahl verschiedener Zuckermoleküle und deren Kombination mit Proteinen führen zu einer enormen Vielfalt unterschiedlicher Moleküle. Die Formeln sind sehr komplex. Daher wird zur besseren Vorstellung auf vereinfachte, schematische Darstellungen zurückgegriffen.

3.3 Sauerstoff diffundiert bei der Atmung durch mehrere Biomembranen

A1 In den Alveolarzellen ist die Sauerstoffkonzentration höher als im venösen Blut. Kennzeichnen Sie im vergrößerten Ausschnitt der Abb. 1 die Orte höherer bzw. niedrigerer Sauerstoffkonzentration, indem Sie dort unterschiedliche Anzahlen an Sauerstoffmolekülen einzeichnen.

Eingezeichnet sollte sein: eine hohe Sauerstoffkonzentration im Cytoplasma der Alveolarzelle und eine niedrige Sauerstoffkonzentration in der Wandzelle der Blutkapillare.

A2 Erklären Sie die Triebkräfte für den Diffusionsvorgang und geben Sie die beiden Bedingungen an, die dazu erfüllt sein müssen.

Triebkraft für die Diffusion ist das Konzentrationsgefälle bzw. die Brownsche Molekularbewegung. Die Moleküle diffundieren vom Ort der höheren Konzentration zum Ort der niedrigeren Konzentration, d.h. von den Alveolarzellen zu den Wandzellen der Blutkapillaren und weiter in das Blut.

Die Diffusion durch die Zellmembranen ist möglich, da Sauerstoff ein sehr kleines und hydrophobes Molekül ist, das aufgrund dieser Eigenschaften die hydrophobe Membran durchdringen kann.

A3 Erklären Sie, warum trotz ständigen Stoffaustauschs kein Ausgleich der Konzentrationen der Gase zwischen den Alveolarzellen und den Wandzellen der Blutkapillaren erfolgt. Ist Sauerstoff aus den Alveolarzellen in die Wandzellen der Blutkapillaren und von dort weiter ins Blut diffundiert, so wird er an den Roten Blutzellen gebunden und durch die Strömung des Blutes durch die Gefäße zu den verschiedenen Körperteilen transportiert. Daher sinkt im Blut die Sauerstoffkonzentration wieder und es können sofort weitere Sauerstoffmoleküle in die Blutgefäße diffundieren. Durch die Atmung wird die Sauerstoffkonzentration in den Alveolen hoch gehalten.

3.4 Durch Osmose können Zellen Wasser aufnehmen oder abgeben

A1 Die Zelle in Abb. 1 **b** befindet sich in isotonischer Lösung. Entscheiden Sie für den Fall, dass es sich bei **a** und **c** um dieselbe Zelle handelt, ob sie jeweils in eine hypertonte oder in eine hypotone Lösung überführt wurde. Ordnen Sie die Begriffe den Abbildungen zu und kennzeichnen Sie die Richtung des Wassertransports, der zur Formänderung geführt hat.

- a** hypertone Lösung; Wasser ist aus der Zelle in die Lösung geströmt.
- c** hypotone Lösung; Wasser ist aus der Lösung in die Zelle geströmt.

A2 Formulieren Sie zunächst eine Hypothese, wie sich die Kartoffelsticks in der oben beschriebenen Versuchsreihe verändern werden. Werten Sie anschließend die Ergebnisse in Abb. 2 aus und geben Sie den Versuchsansatz an, bei dem das Außenmedium isotonisch zum Kartoffelstick ist. Prüfen Sie danach, ob die Ergebnisse mit Ihrer Hypothese übereinstimmen.

Hypothese: Die Ionenkonzentration des Außenmediums beeinflusst die Länge der Kartoffelsticks.

Das Diagramm zeigt die Abhängigkeit der Länge der Kartoffelsticks von der Konzentration der Kochsalzlösung. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Länge der Kartoffelsticks von der Kochsalzkonzentration im Außenmedium abhängt. Je höher die Kochsalzkonzentration, desto kürzer die Sticks. Die Werte schwanken zwischen 4,45 cm in destilliertem Wasser und 3,45 cm in der 1,5-molaren Kochsalzlösung.

Bei einer Kochsalzkonzentration von 0,9 mol/l hat sich die Länge der Kartoffelsticks nicht verändert. Das bedeutet, dass bei dieser Konzentration ein Gleichgewicht der osmotischen Verhältnisse vorliegt. Das Außenmedium enthält also genauso viele osmotisch wirksame Teilchen pro Volumeneinheit wie das Cytoplasma, und daher ist auch die Wasserkonzentration gleich. Es findet keine sichtbare Diffusion von Wasser statt. Bei einer Konzentration $< 0,9$ mol/l ist die Salzlösung zunächst hypoton gegenüber den Kartoffelzellen, sie enthält also weniger gelöste Teilchen pro Volumeneinheit. Da die Wasserkonzentration der hier verwendeten Lösung größer ist als in den Kartoffelzellen, diffundiert Wasser in die Zellen hinein. Diese nehmen dadurch an Volumen zu und der Kartoffelstick wird länger.

Bei Konzentrationen von $> 0,9$ mol/l ist die Salzlösung zunächst hyperton gegenüber den Kartoffelzellen, also diffundiert Wasser aus den Kartoffelzellen in die Salzlösung. Die Kartoffelzellen werden dadurch kleiner und die Kartoffelsticks schrumpfen. Die Ergebnisse des Versuchs bestätigen die Hypothese.

3.5 Aquaporine erleichtern die Diffusion von Wasser durch Membranen

A1 Beschreiben Sie anhand der Abb. 1 auf S.58 im Schulbuch den Aufbau der Aquaporine.

Aquaporine bilden einen sehr schmalen Kanal durch die Biomembran. Sie bestehen aus einem hydrophoben Außenbereich und einem aufgrund von positiv geladenen Aminosäuren hydrophilen Bereich zur Kanalinnenseite hin. Wassermoleküle, die in den Kanal gelangen, werden durch diese positiv geladenen Aminosäuren exakt so ausgerichtet, dass immer genau ein Wassermolekül durch den Kanal hindurch passt. Protonen können aufgrund der positiven Ladung und Größe nicht durch den Kanal gelangen.

A2 Erläutern Sie, warum der Wassertransport durch Aquaporine in beide Richtungen möglich ist.

Es gibt keinen Schließmechanismus für die Aquaporine. Die Richtung des Wassertransports wird allein durch das Konzentrationsgefälle zwischen Zellinnerem und umgebendem Milieu bestimmt.

A3 Beschreiben Sie die Vorgänge der Wasserrückgewinnung in den Sammelrohrzellen.

Ohne Ausschüttung des Hormons befinden sich keine Aquaporine in der dem Sammelrohr lumen zugewandten Membran der Sammelrohrzellen. Wasser kann nicht vom Lumen in die Sammelrohrzellen gelangen und wird ausgeschieden. Muss der Körper Wasser einsparen, wird ein Hormon freigesetzt. Das Hormon gelangt über das Blut zu den Sammelrohrzellen und bindet dort an einer spezifischen Bindestelle an der Membran. Dies löst ein Signal aus, woraufhin Vesikel mit Aquaporinen zu der dem Sammelrohr lumen zugewandten Zellmembran der Sammelrohrzellen transportiert und die Aquaporine in diese Membran eingebaut werden. Dadurch gelangt mehr Wasser aus dem Lumen in die Sammelrohrzellen und von da aus in das Blut.

A4 Begründen Sie, warum die Wasserdurchlässigkeit der Membran über die Anzahl der Aquaporine reguliert werden muss.

Da die Wassermoleküle entsprechend dem Konzentrationsgradienten durch die Aquaporine treten und diese keinen Regulationsmechanismus haben, kann die Menge des transportierten Wassers nur über die Anzahl der Aquaporine reguliert werden.

3.6 Manche Bakterien können Sonnenlicht für aktive Transportprozesse nutzen

A1 Erklären Sie den Begriff „aktiver Transport“.

Unter aktivem Transport versteht man den Transport von Substanzen durch eine biologische Membran entgegen einem Konzentrationsgefälle unter Verbrauch von Energie.

A2 Vergleichen Sie den Nitrat-Carrier (Abb. 2 auf S. 60 im Schulbuch) mit dem oben beschriebenen Proteorhodopsin.

Beim Nitrat-Carrier handelt es sich um einen sekundär aktiven Transport. Unter ATP-Verbrauch werden Protonen aus dem Zellinnenraum nach außen transportiert, wodurch ein Protonengradient aufgebaut wird. Die Protonen strömen entlang des Konzentrationsgradienten über den Nitrat-Carrier zurück in die Zelle und transportieren dabei im Symport Nitrat-Ionen von außen in die Zelle.

Für diesen aktiven Transportprozess wird ATP als Energielieferant benötigt.

Bei den Transportprozessen in der Bakterienmembran werden mithilfe des Proteins Proteorhodopsin Protonen entgegen dem Konzentrationsgefälle aus dem Zellinneren nach außen transportiert. Für diesen aktiven Transportprozess ist Sonnenlicht nötig; es liefert die nötige Energie und kann von den Bestandteilen des Proteorhodopsins absorbiert werden. Es handelt sich um eine lichtgetriebene Protonenpumpe. Anschließend strömen die Protonen mit dem Konzentrationsgefälle durch das Membranprotein ATPase zurück in das Zellinnere, wodurch ATP synthetisiert wird.

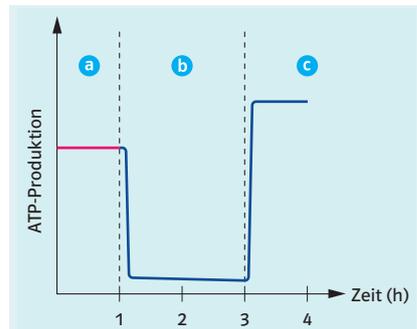
A3 Eine Bakterienkultur wird für

- a** eine Stunde mit Licht bestrahlt,
- b** anschließend für zwei Stunden in der Dunkelheit gehalten und
- c** anschließend wieder beleuchtet.

Ergänzen sie in Abb. 2, wie sich die ATP-Produktion bei **b** und **c** entwickeln wird, und erläutern Sie Ihre Ergänzungen.

Bei **b** sinkt die ATP-Produktion schnell nahezu vollständig, da ohne Licht kein aktiver Transport der Protonen aus dem Zellinneren nach außen durch das Proteorhodopsin erfolgen kann. Demzufolge wird kein Protonengradient aufgebaut und damit kann kein ATP durch die ATPase synthetisiert werden.

Wird bei **c** die Bakterienkultur wieder beleuchtet, so kann das Licht durch das Proteorhodopsin absorbiert werden und es findet erneut ein aktiver Transport der Protonen statt. Durch den entstehenden Protonengradienten kann die ATPase wieder ATP synthetisieren.



3.7 Osmose wird durch Membrantransport reguliert

A1 Die Abb. 2 zeigt das Ergebnis eines Umsetzungsexperiments mit einer Strandkrabbe. Stellen Sie eine begründete Hypothese auf, wie sich die Harnproduktion ändert, wenn das Tier wieder in reines Meerwasser gesetzt wird.

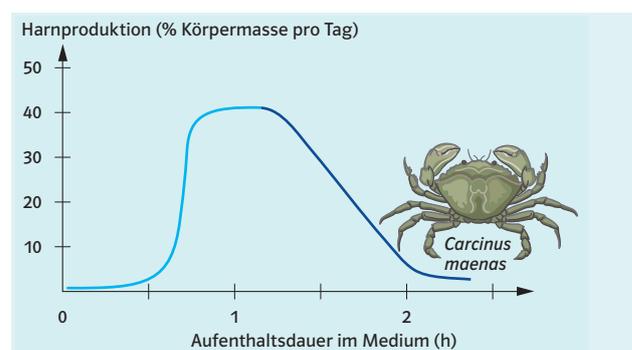
Wenn die Krabbe sich in reinem Meerwasser befindet, wird kein Harn produziert. Wenn die Salzkonzentration im Meerwasser höher ist als in den Zellen der Krabbe, strömt Wasser durch die Zellmembranen nach außen. Um die Wasserverluste gering zu halten, wird kein Harn gebildet und ausgeschieden.

Wird die Strandkrabbe vom Meerwasser in Wasser mit geringerem Salzgehalt umgesetzt, ist die Ionenkonzentration im äußeren Medium geringer als im Körper des Tieres. Daher strömt Wasser von außen in die Zellen der Krabbe. Um die Ionenkonzentration im Inneren aufrechtzuerhalten, muss die Krabbe Wasser ausscheiden, die Harnproduktion steigt von 0 auf 40% der Körpermasse pro Tag.

Hypothese: Wird die Strandkrabbe vom Wasser mit der Hälfte der Ionenkonzentration zurück in reines Meerwasser gesetzt, so wird die Harnproduktion abnehmen.

Begründung: Die Strandkrabbe hat sich nach der Umsetzung in Wasser mit halber Ionenkonzentration an die geringere Ionenkonzentration angepasst, indem die Harnproduktion gesteigert wurde. Wird sie jetzt wieder in reines Meerwasser gesetzt, ist die Ionenkonzentration in der äußeren Umgebung höher (hypertonisch). Damit strömt Wasser aus den Zellen in das äußere Medium. Um die Wasserverluste gering zu halten, wird die Harnproduktion verringert und nähert sich dem Ausgangswert von nahezu 0%.

A2 Ergänzen Sie in der Grafik den erwarteten Kurvenverlauf, wenn das Tier wieder in reines Meerwasser gesetzt wird.



3.8 Diphtherietoxin bindet an speziellen Zell-Rezeptoren

A1 Beschreiben Sie den Wirkungsmechanismus des Diphtherietoxins. Benennen Sie den zugrunde liegenden Transportvorgang für

- a. die Aufnahme des Toxins in Körperzellen und
- b. die Freisetzung der A-Kette aus den Vesikeln.

Diphtheriebakterien befallen den Rachenraum, setzen sich dort fest und produzieren das Diphtherietoxin. Das freigesetzte Toxin besteht aus zwei Proteinketten, A- und B-Kette, und gelangt durch die Blutbahn zu den Organen. Das Toxin bindet mit der B-Kette an einen bestimmten Rezeptor (EGF-Rezeptor) an Körperzellen und gelangt durch Endocytose in die Körperzelle. Im endocytotisch gebildeten Vesikel wird das Toxin in die A- und B-Kette gespalten. Die B-Kette kann sich in die Vesikelmembran integrieren und bildet eine Pore, durch die die A-Kette in die Zelle gelangen kann. In der Zelle bewirkt die A-Kette das Stoppen der Proteinsynthese. Die Zelle kann keine zelleigenen Proteine mehr bilden und stirbt ab.

Zugrunde liegende Transportvorgänge:

- a. Endocytose
- b. Diffusion

A2 Stellen Sie eine Vermutung an, wie der Wirkungsmechanismus des Diphtherietoxins durch Medikamente durchbrochen werden könnte.

Mögliche Hypothesen:

- 1) Das Medikament könnte an das Diphtherietoxin in der Blutbahn binden und es zerstören, oder durch die Bindung werden Zellen des Immunsystems aktiviert, die das Toxin unschädlich machen.
- 2) Das Medikament könnte im Cytoplasma an die A-Kette binden und es unschädlich machen, damit die Proteinsynthese nicht gestoppt wird.
- 3) Das Medikament könnte verhindern, dass das Toxin im Vesikel in A- und B-Kette gespalten wird. Damit könnte die A-Kette nicht freigesetzt werden.

A3 Bewerten Sie den Vorschlag einen Wirkstoff zu entwickeln, der die Ausbildung von EGF-Rezeptoren verhindert.

An den EGF-Rezeptor bindet normalerweise der Wachstumsfaktor EGF. Dieser ist für die Regulation des Wachstums der Zelle notwendig. Würde die Ausbildung von EGF-Rezeptoren verhindert werden, könnten die notwendigen Wachstumsfaktoren nicht binden und das Wachstum der Zelle könnte nicht richtig oder gar nicht reguliert werden.

4

Proteine – Strukturgeber und Hauptakteure der Zelle

4.3 Die Struktur ermöglicht die Funktionen der Proteine

A1 Protein bedeutet vom Wortsinn her so viel wie „grundlegend“ und „vorrangig“. Dieser Name ist sehr treffend. Begründen Sie die „grundlegende“ Bedeutung von Proteinen.

Proteine haben grundlegende Funktionen im Körper, da sie wichtige Baustoffe in Zellen sind. Als Enzyme bewerkstelligen bestimmte Proteine außerdem alle biochemischen Reaktionen in Lebewesen.

A2 Nennen Sie die vier Strukturebenen von Proteinen. Ordnen Sie den Ebenen die für ihr Zustandekommen wesentlichen chemischen Bindungen und zwischenmolekularen Kräfte zu:

Peptidbindung, Wasserstoffbrücken, Disulfidbrücken, Ionenbindung, hydrophobe Wechselwirkung.

Primärstruktur: Peptidbindung

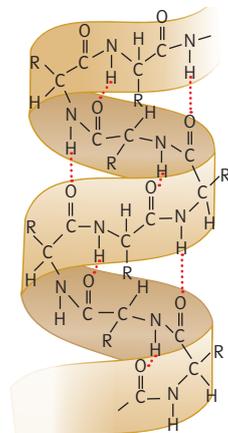
Sekundärstruktur: Wasserstoffbrücken

Tertiärstruktur: Wasserstoffbrücken, Disulfidbrücken, Ionenbindung, hydrophobe Wechselwirkung

Quartärstruktur: Wasserstoffbrücken, Disulfidbrücken, Ionenbindung, hydrophobe Wechselwirkung

A3 Benennen Sie die Proteinstruktur in Abb. 1. Tragen Sie in Abb. 1 die Wasserstoffbrücken ein, die diese Struktur stabilisieren.

Sekundärstruktur: α -Helix



A4 Erklären Sie die Bedeutung der Tertiärstruktur von Proteinen.

Durch die Tertiärstruktur entsteht eine über die Sekundärstruktur hinausgehende räumliche Anordnung der Aminosäureketten. Diese Anordnung kann als aktives Zentrum die biologische Funktion des Proteins bestimmen.

A5 Erläutern Sie die Funktion der Chaperone mithilfe der Abb. 2 und des Textes.

Chaperone sind Proteine, die andere Proteinmoleküle falten. Dadurch erhalten die gefalteten Proteine eine andere Tertiärstruktur als ohne die Umwandlung durch die Chaperone. So können sie biologisch wirksam werden, z.B. faltet das Chaperonmolekül in Abb. 2 eine Aminosäurekette so, dass anschließend Zuckermoleküle am Protein gebunden und gespalten werden können.

4.4 Enzyme sind Biokatalysatoren

A1 Erläutern Sie am Beispiel der Urease typische Eigenschaften eines Biokatalysators.

Alle Enzyme sind Biokatalysatoren. Enzyme sind Proteine, die jeweils auf ein ganz bestimmtes Substrat (Ausgangsstoff) und eine ganz spezifische Reaktion spezialisiert sind. Diese Reaktion wird von dem Enzym katalysiert, also beschleunigt. In diesem Beispiel bildet der Harnstoff als Substrat mit dem Enzym Urease im aktiven Zentrum einen Enzym-Substrat-Komplex. Dieser reagiert weiter zu Enzym und Produkt. Das Enzym geht also unverbraucht aus der Reaktion hervor und kann das nächste Substratmolekül umsetzen. Im Vergleich zur unkatalysierten Reaktion setzt das Enzym als Biokatalysator die Aktivierungsenergie herab, sodass die Reaktion bei niedrigeren Temperaturen ablaufen kann.

A2 Erklären Sie Abb. 2 auf S.74 im Schulbuch am Beispiel der Harnstoffspaltung durch Urease.

Die grüne Kurve in Abb. 2 zeigt die unkatalysierte Reaktion, also die thermische Zersetzung von Harnstoff. Hier ist zur Spaltung des Harnstoffs durch Wasseranlagerung (Hydrolyse) eine hohe Aktivierungsenergie erforderlich. Die rote Kurve zeigt die durch Urease katalysierte Hydrolyse von Harnstoff. Hier ist die Aktivierungsenergie so weit herabgesetzt, dass die Reaktion bei Zimmertemperatur stattfindet.

A3 Begründen Sie, warum die hydrolytische Harnstoffspaltung mit Urease bei Zimmertemperatur abläuft und ohne Enzym erst bei über 130 °C.

Die für die hydrolytische Harnstoffspaltung notwendige Aktivierungsenergie wird durch das Enzym als Biokatalysator auf Zimmertemperatur herabgesetzt.

4.5 Sind alle Enzyme streng substratspezifisch?

A1 Beschreiben Sie den Abbau von Ethanol und Methanol anhand von Abb. 2. Nach dem Konsum alkoholischer Getränke wird das enthaltene Ethanol im menschlichen Körper in einem zweistufigen Prozess enzymatisch abgebaut. Ethanol wird von der ADH umgesetzt, es entsteht Ethanal. In einem weiteren Schritt entsteht mithilfe der AIDH Essigsäure (Ethansäure).

Methanol wird durch die ADH zu Formaldehyd (Methanal) umgesetzt. Dieses wird dann durch die AIDH zu Methansäure umgewandelt.

A2 Beurteilen Sie anhand von Abb. 2 die Substratspezifität des Enzyms Alkoholdehydrogenase (ADH).

Alkoholdehydrogenase (ADH) setzt verschiedene Alkohole wie Methanol und Ethanol um. Daraus folgt, dass die ADH offenbar nicht streng substratspezifisch ist, sondern auf Substrate wirkt, die eine Alkoholgruppe aufweisen.

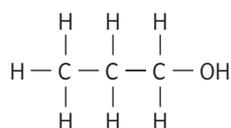
Hinweis: ADH ist ein sogenanntes gruppenspezifisches Enzym.

A3 Erklären Sie das Vorgehen bei der Behandlung einer Methanolvergiftung. Berücksichtigen Sie dabei auch die Abb. 3.

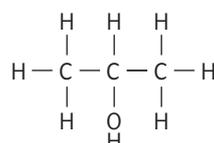
Ethanol und Methanol werden im menschlichen Körper in einem zweistufigen Prozess enzymatisch abgebaut. Die ablaufenden Reaktionen werden durch die gleichen Enzyme (ADH, AIDH) katalysiert. Die Ethanolgabe zur Behandlung einer Methanolvergiftung ist deshalb sinnvoll, weil die ADH keine strikte Substratspezifität aufweist, sondern jeweils beide Alkohole umsetzt. Als Folge der Ethanolgabe konkurrieren Ethanol und Methanol um das aktive Zentrum der ADH. Ethanol wird als Substrat anstelle von Methanol im aktiven Zentrum der ADH gebunden und umgesetzt. Die Ethanolkonzentration sollte größer als die des Methanols sein. Da

somit der größte Teil der Enzyme mit Ethanol besetzt ist, wird Methanol nur in geringen Mengen zum giftigen Methanal umgesetzt. Als Folge der Ethanolgabe wird Methanol also langsamer und in geringeren Mengen zu Methanal umgesetzt. So werden die Konzentrationen des Methanols und seiner giftigen Abbauprodukte im Blut langsam verringert.

A4 Recherchieren Sie die Strukturformeln von Propan-1-ol und Propan-2-ol. Stellen Sie eine Vermutung an, ob auch diese von der ADH umgesetzt werden.



Propan-1-ol



Propan-2-ol

Mögliche Vermutung: Propan-1-ol wird genauso von der ADH umgesetzt, da es sich um einen Alkohol mit endständiger OH-Gruppe und kurzem Alkylrest handelt. Das aktive Zentrum der ADH kann den Alkohol als Substrat binden.

Propan-2-ol wird nicht umgesetzt, da der sekundäre Alkohol eine mittelständige OH-Gruppe aufweist und der Rest die Bindung mit dem aktiven Zentrum des Enzyms verhindert.

Hinweis: Untersuchungen haben gezeigt, dass auch Propan-2-ol zum Teil im menschlichen Körper umgesetzt wird und dann als Oxidationsprodukt „Aceton“ ausgeschieden wird.

4.6 Enzymatische Reaktionen lassen sich mit Modellen veranschaulichen

A1 Beschreiben Sie die Situationen in Abb. 1 a–c im Supermarkt.

Situation a: Es sind nur wenige Kunden an der Kasse. Sie werden sofort bedient. Die meisten Kassenstationen haben keine Kunden.

Situation b: Einige Kassenstationen haben keine Kunden. Da aber mehr Kunden als in a vorhanden sind, werden in der gleichen Zeit auch mehr Kunden abgefertigt.

Situation c: Vor allen Kassenstationen hat sich eine Schlange gebildet. An allen Stationen wird mit maximaler Geschwindigkeit gearbeitet. Die Zahl der abgefertigten Kunden ist nur von der Zahl der Kassenstationen abhängig, nicht aber von der Kundenzahl.

A2 Ordnen Sie folgende Bestandteile des Supermarktkassenmodells den Komponenten einer Enzymreaktion zu:

- Kasse mit Kassierer,
 - Kunde mit Einkaufswagen,
 - Kunde, der bezahlt hat.
- Kasse mit Kassierer → Enzym
 - Kunde mit Einkaufswagen → Substrat(e)
 - Kunde, der bezahlt hat → Produkt(e)

A3 Erläutern Sie anhand des Supermarktkassenmodells, warum eine weitere Erhöhung der Substratkonzentration fast keinen Einfluss auf die Reaktionsgeschwindigkeit hat.

Da alle Enzyme bei der hohen Substratkonzentration sofort nach einer Reaktion wieder von einem neuen Substratmolekül besetzt werden, spielt es praktisch keine Rolle, wenn die Substratkonzentration weiter erhöht wird. Die einzelnen Enzymmoleküle können dadurch nicht schneller arbeiten. Im Supermarktkassenmodell können die Kassierer auch nicht schneller arbeiten.

A4 Beurteilen Sie Leistungsfähigkeit und Grenzen des Supermarktkassenmodells als Erklärungshilfe für die Arbeit von Enzymen.

Der dynamische Vorgang der Enzym-Substrat-Reaktion kann durch das Modell anschaulich dargestellt werden. Die Grenzen des Modells ergeben sich u. a. in den unterschiedlichen Aufenthaltszeiten der Kunden an den Kassen. Diese entsprechen nicht einer enzymatisch katalysierten Reaktion. Genauso erfolgt die Orientierung von Kunden an einer Supermarktkasse gezielt nach der Länge der Warteschlange und der Füllung der Einkaufswagen, was das zufällige Aufeinandertreffen von Substrat und Enzym aufgrund der Teilchenbewegung nur ungenau wiedergibt.

A5 Beschreiben Sie die Situation in Abb. 1 und stellen Sie eine Hypothese auf, was auf enzymatischer Ebene dargestellt sein soll.

Im vollen Supermarkt fällt eine Kasse plötzlich aus. An dieser können keine Kunden mehr bedient werden. Diese Situation soll den Ausfall eines Enzyms darstellen. Dieses Enzym könnte z. B. aufgrund eines Defekts oder eines anderen Stoffes blockiert sein.

4.7 Die Enzymaktivität hängt von den Umgebungsfaktoren ab

A1 Beschreiben Sie die in Abb. 1 und Abb. 3 dargestellte Abhängigkeit der Enzymaktivität von der Temperatur und vom pH-Wert.

Die Enzymaktivität entspricht der Reaktionsgeschwindigkeit. Sie ist bei niedrigen Temperaturen gering. Mit zunehmender Temperatur steigt sie erst langsam, dann immer schneller an. Später flacht die Aktivitätskurve wieder ab und erreicht bald danach ihr Maximum. Bei weiterer Temperaturerhöhung fällt die Enzymaktivität sehr rasch ab.

pH-Wert: Der Aktivitätsbereich der ausgewählten Enzyme in Abb. 3 liegt bei verschiedenen pH-Werten. Pepsin ist bei viel niedrigeren pH-Werten (pH: 0 – 3,5) als Amylase (pH: 3 – 7,5) und Trypsin (pH: 6,5 – 10) aktiv. Die glockenartige Form der Aktivitätskurven ist aber in beiden Fällen sehr ähnlich. Die Enzymaktivität ist jeweils unterhalb eines bestimmten pH-Wertes nicht nachweisbar. Mit steigendem pH-Wert nimmt sie dann erst langsam, später zunehmend schneller und schließlich wieder langsamer zu, bis das Maximum erreicht wird. Der Abfall der Aktivität bei pH-Werten oberhalb des Maximums verhält sich etwa spiegelsymmetrisch zum Anstieg.

A2 Erklären Sie die erkennbaren Abhängigkeiten.

Temperaturabhängigkeit: Auch für Reaktionen, die von Enzymen katalysiert werden, gilt die RGT-Regel, nach der die Reaktionsgeschwindigkeit sich bei einer Erhöhung der Temperatur um 10 Grad verdoppelt bis verdreifacht. Das liegt an der wachsenden kinetischen Energie der Reaktanden. Bei steigenden Temperaturen werden jedoch zunehmend schwache Wechselwirkungen in den Enzymen gelockert. Dieser negative Einfluss der Temperatur auf die Funktionsfähigkeit der Enzyme wirkt einem weiteren Anstieg der Reaktionsgeschwindigkeit entgegen. Wenn die zunehmende Inaktivierung der Enzyme die steigende Reaktivität aufgrund der RGT-Regel gerade ausgleicht, wird das Temperaturoptimum des Enzyms erreicht. Bei weiterer Temperaturerhöhung schreitet die Inaktivierung der Enzyme rasch fort, sodass die Aktivitätskurve steil abfällt. Schließlich denaturieren die Enzyme vollständig.

pH-Abhängigkeit: Mit dem pH-Wert verändert sich auch die Konformation eines Enzyms. So können verschiedene Seitenketten von Aminosäuren je nach pH-Wert Protonen aufnehmen oder abgeben. Dadurch ändern sich die intramolekularen Wechselwirkungen und somit die dreidimensionale Struktur des Enzyms. Schon kleine Änderungen in der Form des aktiven Zentrums beeinflussen die Aktivität des Enzyms. Bei einem bestimmten pH-Wert ist die Konformation des Enzyms optimal; je weiter der pH-Wert vom Optimum abweicht, desto mehr verändert sich auch die Struktur des Enzyms, desto geringer wird also seine Aktivität.

A3 Begründen Sie, warum die im Darm benötigte Amylase dort neu synthetisiert werden muss und nicht aus dem Speichel stammt.

Die im Mund hergestellte Amylase kann im Mund im Bereich ihres pH-Optimums arbeiten. Gelangt der Nahrungsbrei dann in den Magen, wird die Amylase aufgrund des niedrigen pH-Wertes denaturiert. Folglich muss für die weitere Kohlenhydratspaltung im Darm neue Amylase synthetisiert werden.

4.8 Enzymaktivität kann visuell verfolgt werden

A1 Beschreiben Sie die Versuchsreihe in Abb. 3 zur Untersuchung der Wirkungsweise von Urease.

In der Versuchsreihe werden unterschiedliche Aspekte von Enzymreaktionen untersucht. Dabei macht man sich die harnstoffspaltende Wirkung von Urease durch Wasseranlagerung zunutze. Das entstehende Ammoniakgas kann in wässriger Lösung über die Bildung von Hydroxid-Ionen mit der Pinkfärbung von Phenolphthalein nachgewiesen werden. Untersucht werden die Temperaturabhängigkeit, die Hemmung durch Schwermetalle und die Wirkung von strukturähnlichen (Hemm-)Stoffen.

A2 Formulieren Sie jeweils die Fragestellung, die mithilfe der Versuchsansätze 2–4 bzw. 2 und 5 beantwortet werden kann. Deuten Sie anschließend die Versuchsergebnisse zu diesen Ansätzen.

Fragestellungen:

Ansatz 2–4: Welchen Einfluss hat die Temperatur auf die Ureaseaktivität?

Ansatz 2 und 5: Welchen Einfluss haben Schwermetall-Ionen wie Blei auf die Ureaseaktivität?

Deutung:

Die Pinkfärbung in Ansatz 2 zeigt, dass Ammoniak entstanden ist; Harnstoff wird gespalten. Der Vergleich mit den Ansätzen 3 und 4 zeigt die Temperaturabhängigkeit der Ureaseaktivität. Die ausbleibende Pinkfärbung in Ansatz 3 deutet darauf hin, dass bei 70 °C die Urease bereits so weit denaturiert ist, dass das Substrat nicht mehr im aktiven Zentrum binden kann. Folglich wird kein Harnstoff umgesetzt und kein Ammoniak nachgewiesen. Die späte Pinkfärbung in Ansatz 4 zeigt, dass bei den tieferen Temperaturen die Urease den Harnstoff nur sehr langsam umsetzt. Dies ist auf die geringere Teilchenbewegung zurückzuführen, was eine Verringerung der Wahrscheinlichkeit des Aufeinandertreffens von Enzym und Substrat zur Folge hat. Es gilt die RGT-Regel.

Die Zugabe von Blei-Ionen in Ansatz 5 verhindert die Harnstoffumsetzung. Es handelt sich um eine Hemmung durch Schwermetall-Ionen.

A3 Erläutern Sie die Notwendigkeit von Versuchsansatz 1 und begründen Sie, warum Versuchsansatz 6 kein aussagekräftiges Ergebnis liefern kann.

Ansatz 1 ist ein Kontrollversuch, der zeigen soll, dass Harnstoff in wässriger Lösung ohne Urease nicht umgesetzt wird.

Ansatz 6 liefert kein aussagekräftiges Ergebnis, da hier die zwei Faktoren (Temperatur und Schwermetall-Ionen) gleichzeitig variiert werden. Die Fragestellung ist unklar.

A4 In Abb. 2 sehen Sie die Strukturformel von Thioharnstoff. Stellen Sie eine begründete Vermutung an, warum die Urease den Thioharnstoff nicht umsetzt (Versuchsansatz 7).

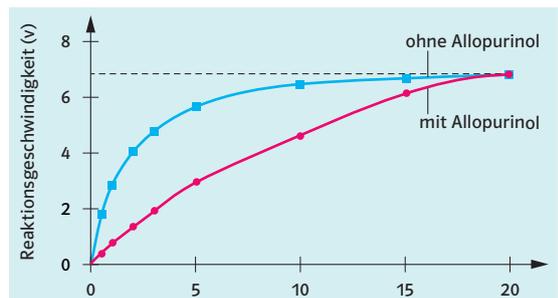
In Ansatz 7 wird der Harnstoff durch Thioharnstoff ersetzt. Die Pinkfärbung bleibt aus, es entsteht also kein Ammoniak. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Urease den Thioharnstoff nicht spalten kann, obwohl dieser sich vom Harnstoff nur in einem Atom unterscheidet. In diesem Ansatz wird die hohe Substratspezifität der Urease deutlich.

4.8 Die Wirkung mancher Medikamente beruht auf der Enzymhemmung

A1 Beschreiben Sie anhand von Abb. 1 den Abbau von Adenin und Guanin im Körper eines gesunden Menschen.

Adenin (A) und Guanin (G) werden mit pflanzlicher oder tierischer Nahrung aufgenommen. Sie sind u.a. Bausteine der Erbsubstanz. Beide werden stufenweise bis zum Xanthin abgebaut. Xanthin wird letztlich zu Harnsäure umgesetzt, dieser Schritt wird von dem Enzym Xanthinoxidase katalysiert. Die entstehende Harnsäure wird dann mit dem Urin ausgeschieden.

A2 Stellen Sie die Ergebnisse aus Abb. 3 in einem geeigneten Diagramm dar und beschreiben Sie das Ergebnis.



Dargestellt ist die Reaktionsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Substratkonzentration (Xanthin) mit und ohne Allopurinol. Die Kurve ohne Allopurinol zeigt den typischen Verlauf einer Sättigungskurve: Bei niedrigen Substratkonzentrationen führt eine geringfügige Erhöhung der Substratkonzentration zu einer deutlichen Steigerung der Reaktionsgeschwindigkeit. Eine weitere Erhöhung der Substratkonzentration lässt die Reaktionsgeschwindigkeit nur noch unwesentlich ansteigen. Die Kurve flacht ab und nähert sich der maximalen Reaktionsgeschwindigkeit an. Die Kurve mit Allopurinol ist deutlich flacher, d.h., es wird bei gleicher Substratkonzentration pro Zeiteinheit eine geringere Reaktionsgeschwindigkeit erreicht. Der hemmende Einfluss lässt jedoch mit steigender Substratkonzentration nach, d.h., auch bei Anwesenheit von Allopurinol wird die maximale Reaktionsgeschwindigkeit erreicht.

A3 Deuten Sie die Ergebnisse der Messungen ohne Allopurinol-Zusatz.

Der Kurvenverlauf lässt sich durch die begrenzte Anzahl der Enzym-Moleküle erklären: Bei niedriger Substratkonzentration sind nur wenige Enzym-Moleküle mit Substrat-Molekülen besetzt. Eine Erhöhung der Substratkonzentration führt dazu, dass noch unbesetzte Enzym-Moleküle mit Substrat-Molekülen reagieren. Die Reaktionsgeschwindigkeit wird beträchtlich gesteigert. Eine weitere Erhöhung der Substratkonzentration führt nur zu einer geringfügigen Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit, da allmählich alle Enzym-Moleküle mit Substrat-Molekülen besetzt sind. Es handelt sich um eine typische Sättigungskurve, die in 3 Abschnitte eingeteilt werden kann.

Abschnitt I: geringe Substratkonzentration, linearer Kurvenverlauf. Die Enzymmenge ist sehr groß, es erfolgt ein sofortiger Umsatz aller Substratmoleküle. Die Substratkonzentration wirkt als begrenzender Faktor.

Abschnitt II: Mit steigender Substratkonzentration entstehen mehr Enzym-Substrat-Komplexe, langsam wird die Kapazitätsgrenze der Enzyme erreicht. Dies führt zum Abflachen der Kurve.

Abschnitt III: hohe Substratkonzentration, Sättigungsbereich. Alle Enzyme arbeiten mit maximaler Umsatzrate (Wechselzahl). Die Enzymkonzentration wirkt als begrenzender Faktor, eine weitere Erhöhung der Substratkonzentration führt nicht zu einer Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit.

A4 Deuten Sie die Ergebnisse der Messungen mit Allopurinol-Zusatz und erklären Sie die Wirkung des Medikaments Allopurinol.

Deutung mit Allopurinol:

Der Kurvenverlauf ist typisch für das Wirken eines kompetitiven Hemmstoffs. Die Kurve ist deutlich flacher, d.h., bei gleicher Substratkonzentration pro Zeiteinheit wird eine geringere Reaktionsgeschwindigkeit (Umsatzrate) erreicht. Der Hemmstoff ist ein chemisch ähnlicher Stoff wie das Substrat. Beide konkurrieren um das aktive Zentrum des Enzyms. Folglich wird der Reaktionsverlauf gehemmt. Mit zunehmender Substratkonzentration wird der Einfluss des Hemmstoffes geringer, weil immer häufiger die Substratmoleküle in das aktive Zentrum gelangen bis die ursprüngliche Maximalgeschwindigkeit der Reaktion erreicht wird.

Erklärung der Wirkung des Medikaments:

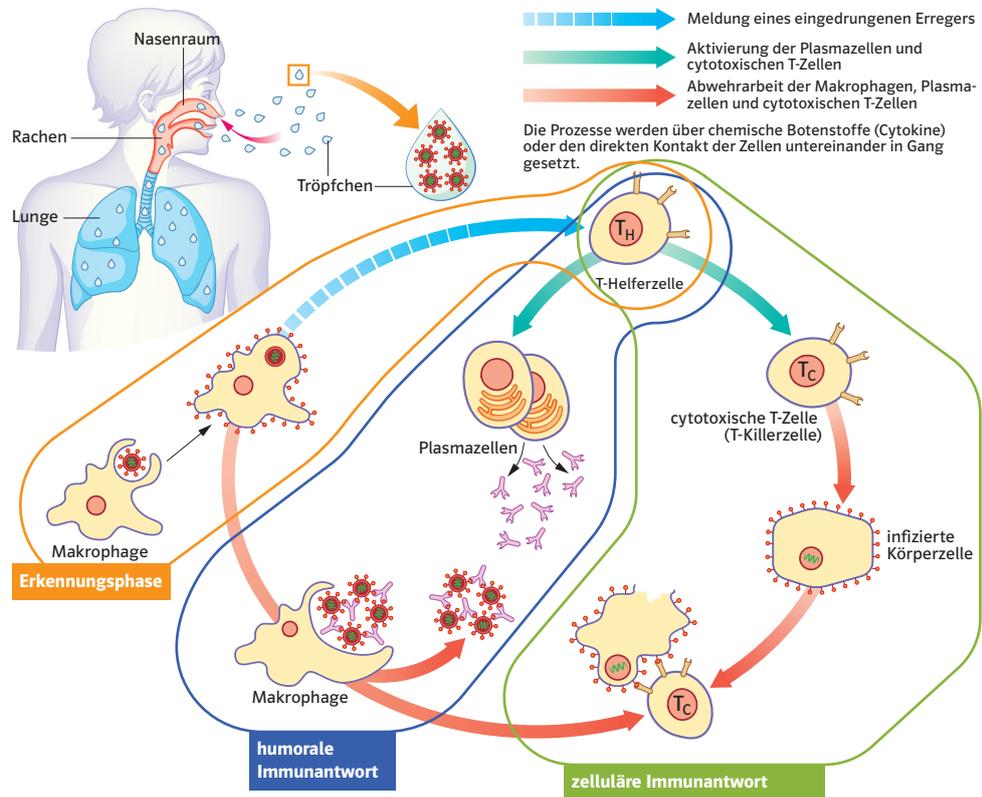
Bei der Substanz Allopurinol handelt es sich um einen kompetitiven Hemmstoff, der aufgrund seines ähnlichen chemischen Aufbaus mit dem Substrat (Xanthin) um das aktive Zentrum der Xanthinoxidase konkurriert. Durch die Hemmung mit Allopurinol wird weniger Xanthin durch die Xanthinoxidase zu Harnsäure umgesetzt. Die Harnsäurekonzentration sinkt, sodass sich keine oder nur wenige neue Harnsäurekristalle bilden können.

5

Zellen in Aktion – Die Abwehr von Infektionen

5.1 In der erworbenen Immunabwehr arbeiten unterschiedliche Weiße Blutzellen zusammen

A1 Markieren Sie in Abb. 1 die Bereiche der Erkennungsphase, der humoralen Immunantwort und der zellulären Immunantwort.



A2 Beschreiben Sie anhand der Abb. 1 die erworbene Immunabwehr bei einem grippalen Infekt.

Nach der Infektion haben sich die Viren in den Körperzellen stark vermehrt. Sie verbreiten sich in den Körperflüssigkeiten und infizieren darüber weitere Körperzellen. In der Erkennungsphase werden einzelne Viren von Makrophagen aufgenommen und unschädlich gemacht. Zudem präsentieren die Makrophagen die Antigene der Viren auf ihrer Oberfläche und melden diese Informationen den T-Helferzellen. In der humoralen Immunantwort werden freie Viren in Körperflüssigkeiten bekämpft. Die T-Helferzellen geben die Informationen über die Virus-Antigene an Plasmazellen weiter, die in großer Zahl spezifische Antikörper gegen diese Antigene herstellen. Die Antikörper binden die Viren über die Antigene zu Antigen-Antikörper-Komplexen. Diese werden dann von Makrophagen vernichtet. Die zelluläre Immunantwort richtet sich gegen virusinfizierte Körperzellen. Die T-Helferzellen geben die Informationen über die Virus-Antigene an cytotoxische T-Zellen (T-Killerzellen) weiter. Diese erkennen infizierte Körperzellen an den Antigenen, die in die Oberfläche der infizierten Zellen eingelagert wurden, und zerstören sie. Durch die Zerstörung der infizierten Körperzellen wird die Virenvermehrung gestoppt.

A3 Erklären Sie am gegebenen Beispiel die besondere Rolle der T-Helferzelle bei der Immunabwehr.

Die T-Helferzelle ist die Schaltzentrale der erworbenen Immunität. Sie nimmt die Informationen über die Antigene der Viren von den Makrophagen auf und leitet die humorale sowie die zelluläre Immunantwort ein. So werden Antikörper gebildet und infizierte Körperzellen zerstört.

5.3 Warum machen Viren krank?

A1 Beschreiben Sie anhand von Abb. 2 die Virenvermehrung in einer Körperzelle. Mithilfe der virusspezifischen Oberflächenproteine der Hüllmembran dockt das Virus an eine Körperzelle an. Über Endocytose wird das Virus in ein Vesikel aufgenommen. Im Cytoplasma wird das Viruscapsid frei. Die Virus-RNA wird aus dieser inneren Proteinhülle entlassen und gelangt in den Zellkern. Im Zellkern wird die virale RNA stark vervielfältigt. Die RNA-Kopien wandern anschließend ins Cytoplasma. Hier werden an den Ribosomen die Proteine für das virale Capsid sowie die viralen Oberflächenproteine in großen Mengen hergestellt. Die viralen Oberflächenproteine lagern sich in die Zellmembran der Körperzelle ein. Die Virusbausteine fügen sich zu neuen Viren zusammen. Diese werden in großer Zahl freigesetzt und infizieren weitere Körperzellen.

A2 „Die Viren verwenden die Ressourcen der Zelle.“ Begründen Sie diese Aussage und formulieren Sie eine Vermutung über den Zusammenhang zu den angegebenen Symptomen.

Das Virus übernimmt die Kontrolle über die Körperzelle. Im Zellkern wird die Virus-RNA großer Zahl vervielfältigt. Dazu werden alle Bausteine und Enzyme, die sonst für die Zelle selbst genutzt werden, für die Virusvermehrung eingesetzt. Dies zeigt sich auch bei den Vorgängen im Cytoplasma. Hier werden an den Ribosomen ausschließlich Virusproteine hergestellt. So werden die Ressourcen der Zelle für die Virusvermehrung verbraucht.

Die Symptome können als Folgen der Infektion auftreten, da viele Körperzellen geschwächt sind und ihre ursprüngliche Aufgabe nicht mehr wahrnehmen können.

A3 Beschreiben Sie mögliche Folgen einer Virusinfektion auf den unterschiedlichen Organisationsebenen (Zellorganell, Zelle, Gewebe, Organ, Organismus).

Zellorganell: Der Zellkern kann seine Steuerfunktion der Aufgaben der Zelle nicht mehr wahrnehmen.

Zelle: Die Zelle kann ihre Aufgabe nicht mehr erfüllen, da alle Ressourcen für die Virusvermehrung gebunden werden.

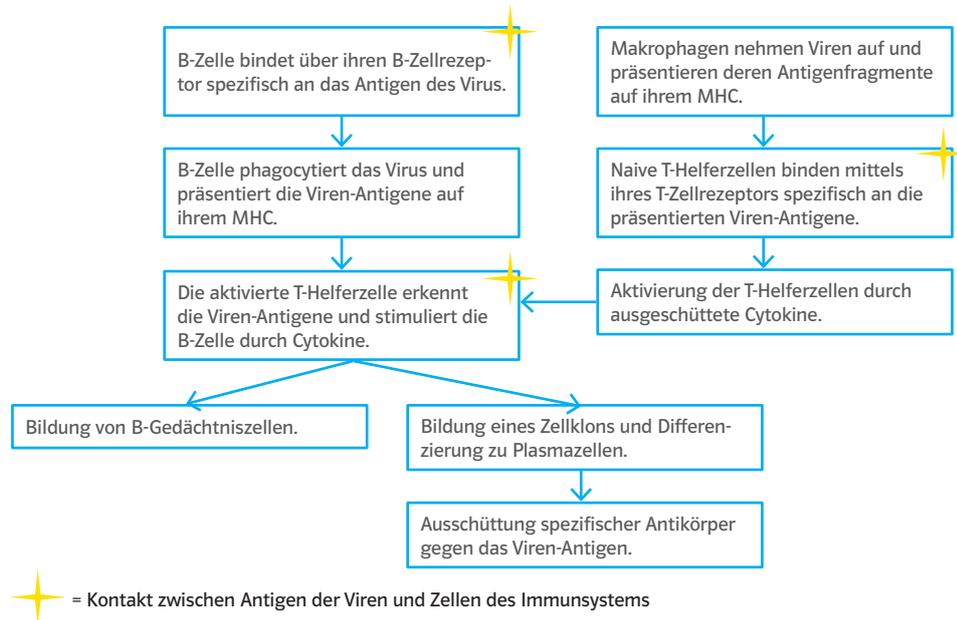
Gewebe: Wenn zu viele Zellen des Gewebes betroffen sind und infolge der Infektion absterben oder durch die zelluläre Immunabwehr abgetötet werden, kann das Gewebe seine Aufgabe (z. B. Gasaustausch am Lungengewebe) nicht mehr zuverlässig erfüllen.

Organ: Verminderte Funktionen einzelner Gewebeteile können zur Beeinträchtigung des entsprechenden Organs (z. B. Lunge) führen.

Organismus: Beeinträchtigungen oder Schädigungen einzelner Organe schwächen den gesamten Organismus.

5.4 Spezifische Proteine sind Grundlage der erworbenen Immunität

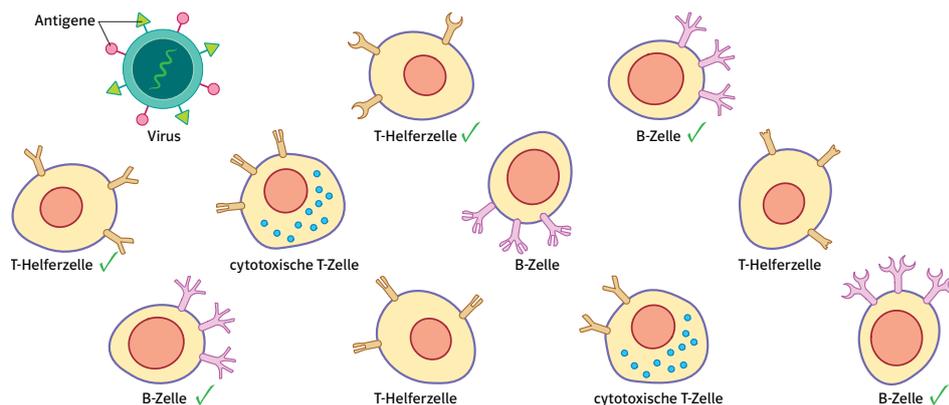
A1 Stellen Sie mithilfe der Abb. 1 auf S.91 und Abb. 3 auf S.297 im Schulbuch in einem Flussdiagramm dar, wie es nach einer Virusinfektion zur Bildung spezifischer Antikörper kommt.



A2 a. Markieren Sie in Abb. 1 die Zellen des Immunsystems, die während der humoralen Immunantwort mit den Antigenen der Viren in eine spezifische Wechselwirkung treten. Begründen Sie Ihre Entscheidung.

b. Geben Sie in Ihrem Flussdiagramm die jeweiligen Stellen an, in denen der Kontakt zwischen den Antigenen der Viren und den von Ihnen in Abb. 1 markierten Zellen des Immunsystems stattfindet.

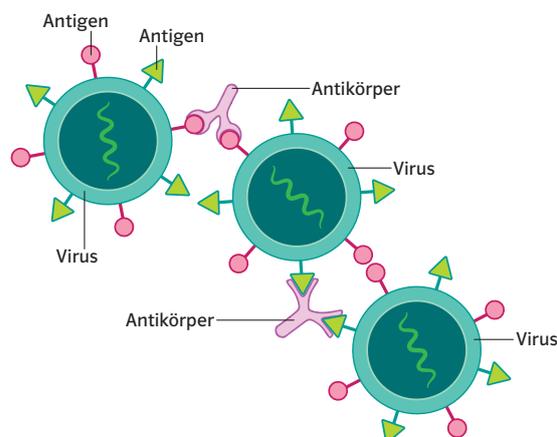
a.



Die B- bzw. T-Zellrezeptoren der mit einem grünen Haken markierten B-Zellen und T-Helferzellen passen jeweils nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip zu einem der Viren-Antikörper. Bei allen anderen B-Zellen und T-Helferzellen ist dies nicht der Fall, wodurch es auch zu keiner spezifischen Wechselwirkung kommen kann. Cytotoxische T-Zellen sind Teil der zellulären, nicht aber der humoralen Immunabwehr.

b. Siehe gelbe Markierungen in der Lösung zu Aufgabe 1 oben.

A3 Stellen Sie in einer beschrifteten Detailzeichnung (mindestens eine Viertel-seite) den Komplex aus einem Virus und den in der Immunreaktion gebildeten Antikörpern dar.



5.4 Mit dem ELISA-Test können spezifische Antigene erkannt werden

A1 Stellen Sie den Ablauf eines ELISA-Tests in einem Flussdiagramm dar. Aufbereitung der Blutproben, um die Proteine in Lösung zu bringen → Befüllen der Mikroplatte mit der Lösung der Blutproben; pro Brunnen eine Probe, damit ausschließlich die Proteine einer Probe am Boden des Brunnens haften → Ausspülen der überschüssigen Probenlösung → Zugabe einer Lösung mit enzymbeladenen Antikörpern → Ausspülen der überschüssigen Antikörperlösung → Zugabe des Substrates zur Detektion → Ablesen der positiven Testergebnisse anhand der Farbänderung

A2 Werten Sie das Ergebnis der Untersuchung der 48 Proben in der Mikroplatte in Abb. 3 aus.

Von den 96 Brunnen wurden 48 mit Probenlösungen beschickt und wie beschrieben behandelt. In neun der 48 Proben ist eine Farbänderung zu erkennen, folglich ist in diesen neun Proben der Krankheitserreger nachgewiesen worden.

A3 Erklären Sie die Notwendigkeit der Spülvorgänge zwischen den einzelnen Schritten beim ELISA-Test.

Es muss gewährleistet sein, dass der Farbstoff nur dann entsteht, wenn Antigene des Krankheitserregers vorhanden sind. Ohne die Spülvorgänge würden sich noch freie enzymmarkierte Antikörper im Gefäß befinden und es würde eine Farbänderung eintreten. Nach den Spülvorgängen wird dann das Substrat umgesetzt, wenn enzymbeladene Antikörper an Antigene im Brunnen der Mikroplatte gebunden haben.

A4 Als Übersetzung für „Enzyme-Linked Immuno Sorbent Assay“ (ELISA) liest man häufig „enzymgekoppeltes immunologisches Nachweisverfahren“. Beurteilen Sie diese Übersetzung.

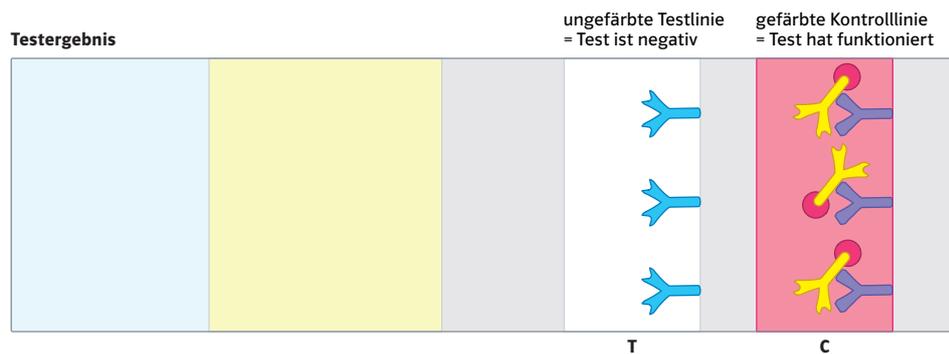
Die Übersetzung ist vollständig und passend, um den Vorgang zu beschreiben. Ein Nachweis erfolgt über die Farbänderung bei der Umwandlung vom Substrat in das Produkt. Die Bindung von spezifischen Antikörpern an ein gesuchtes Antigen ist ein immunbiologischer Vorgang. Über die Kopplung des Enzyms an den spezifischen Antikörper wird die Farbreaktion erst ermöglicht.

5.4 Wie kann eine SARS-CoV-2-Infektion nachgewiesen werden?

A1 Erklären Sie die Vorgänge in der Testkassette bei einem positiven Testergebnis (Abb. 2 **a**).

Durch den Extraktionspuffer werden die Antigene der SARS-CoV-2-Viren aus der Abstrichprobe herausgelöst, sodass sie sich in der Flüssigkeit befinden. Durch Eintropfen in das Feld zur Probenaufnahme werden auch die Antigene übertragen. Die Kapillarwirkung saugt die Flüssigkeit durch die einzelnen Zonen im Inneren der Testkassette. In der ersten Zone binden die Antigene spezifisch an die Bindungsstellen für die Spike-Proteine der beweglichen, farbstoffmarkierten Antikörper. Diese Antigen-Antikörper-Komplexe bewegen sich nun durch die weiteren Zonen der Testkassette. Im Bereich der Testlinie binden die Antigen-Antikörper-Komplexe nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip an die festsitzenden Antikörper. So werden die Antigen-Antikörper-Komplexe in dieser Zone angereichert und die Färbung wird sichtbar. Die festsitzenden Antikörper im Bereich der Kontrolllinie binden an die konstanten Regionen der farbstoffmarkierten Antikörper und reichern diese hier an. Dabei ist es egal, ob diese ein Antigen gebunden haben oder nicht. So wird auch hier eine Färbung sichtbar.

A2 Skizzieren Sie schematisch die Verteilung der Antikörper bei einem negativen Testergebnis im rechten Teil der Abb. 2 **b** und erklären Sie Ihre Darstellung.



In der Abstrichprobe befinden sich keine Antigene. Durch Eintropfen in das Feld zur Probenaufnahme werden also keine Antigene übertragen. Die Kapillarwirkung saugt die Flüssigkeit durch die einzelnen Zonen im Inneren der Testkassette. In der ersten Zone werden die farbstoffmarkierten Antikörper von der Flüssigkeit „mitgenommen“ und bewegen sich nun durch die weiteren Zonen der Testkassette. Im Bereich der Testlinie binden keine farbstoffmarkierten Antikörper an die festsitzende Antikörper, da keine Antigene als Bindeglied vorhanden sind. Die festsitzenden Antikörper im Bereich der Kontrolllinie binden an die konstanten Regionen der farbstoffmarkierten Antikörper und reichern diese hier an. Eine Färbung wird sichtbar.

A3 Begründen Sie, warum der Test bei fehlender Kontrolllinie ungültig ist. Bei fehlender Kontrolllinie hat der Test nicht funktioniert. Es sind dann offenbar keine farbstoffmarkierten Antikörper bis an das Ende der Testkassette gelangt. Dies kann z. B. auf fehlerhafte Verwendung (zu viel oder zu wenig Flüssigkeit), fehlerhafte Verarbeitung bei der Herstellung oder falsche Lagerung zurückzuführen sein. In einem solchen Fall muss der Test wiederholt werden.

5.5 Zöliakie ist eine Autoimmunerkrankung

A1 Beschreiben Sie mithilfe der Abb. 1 die immunologischen Vorgänge bei einer Zöliakie.

Makrophagen phagozytieren den Komplex aus Gliadin und körpereigener Transglutaminase und präsentieren diesen auf ihrem MHC. Eine T-Helferzelle bindet spezifisch an den Komplex und wird aktiviert. → Aktivierung von B-Zellen durch die T-Helferzelle nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip. → Ausschüttung von Cytokinen durch die aktivierte T-Helferzelle sowie von spezifischen Antikörpern gegen Gliadin und Transglutaminase durch die aus der B-Zelle entstandenen Plasmazellen, wodurch eine Entzündungsreaktion in der Darmschleimhaut ausgelöst wird.

A2

- a. Erklären Sie, warum die Zöliakie zu den Autoimmunerkrankungen gezählt wird.
- b. Begründen Sie, ob es auch Aspekte gibt, die gegen diese Zuordnung sprechen.
 - a. Bei Autoimmunerkrankungen werden Antikörper gegen körpereigene Strukturen gebildet. Dies ist bei der Zöliakie der Fall, da hier Antikörper gegen das körpereigene Enzym Transglutaminase gebildet werden.
 - b. Gegen diese Zuordnung spricht, dass die Immunreaktion nur durch die Komplexbildung der Transglutaminase mit dem körperfremden Stoff Gliadin ausgelöst wird. Ohne die Aufnahme von Gluten über die Nahrung erfolgt somit keine Immunreaktion.

A3 Erklären Sie den Zusammenhang zwischen der Rückbildung der Darmzotten und dem Auftreten von Nährstoffmangelscheinungen bei einer Zöliakie.

Die Darmzotten sorgen für eine Oberflächenvergrößerung der Dünndarmschleimhaut. Werden diese zurückgebildet, können weniger Nährstoffe pro Zeit über die Darmschleimhaut aufgenommen werden (u. a. durch eine geringere Anzahl an Transportproteinen). Dadurch ist die Nährstoffaufnahme aus der Nahrung eingeschränkt und es kommt zu Mangelscheinungen.

A4 In Abb. 1 sind die immunologischen Vorgänge bei der Zöliakie vereinfacht dargestellt. Erläutern Sie, welche in der Abbildung nicht gezeigten Schritte zusätzlich nötig sind, um sowohl Antikörper gegen den Glutenbestandteil Gliadin als auch gegen das körpereigene Enzym Transglutaminase zu bilden.

Damit Antikörper gegen beide Bestandteile des Komplexes gebildet werden, müssen sowohl Gliadin-spezifische als auch Transglutaminase-spezifische T-Helfer- und B-Zellen aktiviert werden. Außerdem sind die Aktivierungsprozesse der T-Helfer- und B-Zelle verkürzt dargestellt. Auch werden der Prozess der klonalen Selektion und die damit verbundene Bildung von antikörpersezernierenden Plasmazellen nicht weiter aufgegriffen.

5.6 Warum müssen manche Impfungen nur einmal, andere mehrfach erfolgen?

A1 Begründen Sie anhand von Abb. 2, warum manche Impfungen nur einmal, andere mehrfach erfolgen müssen.

Wenn der Krankheitserreger, gegen den die Impfung erfolgt, nicht zur Variantenbildung neigt, reicht eine Impfung aus, da die Informationen über die Antigene im Falle einer Infektion von den gebildeten Gedächtniszellen abgerufen werden können. Erreger, die durch Veränderungen des genetischen Materials ständig neue Erreger-Varianten mit veränderten Oberflächenproteinen hervorbringen, können durch gebildete Gedächtniszellen nicht mehr erkannt werden. Gegen die neuen Antigene existieren noch keine Gedächtniszellen und es muss mit einem angepassten Impfstoff neu immunisiert werden.

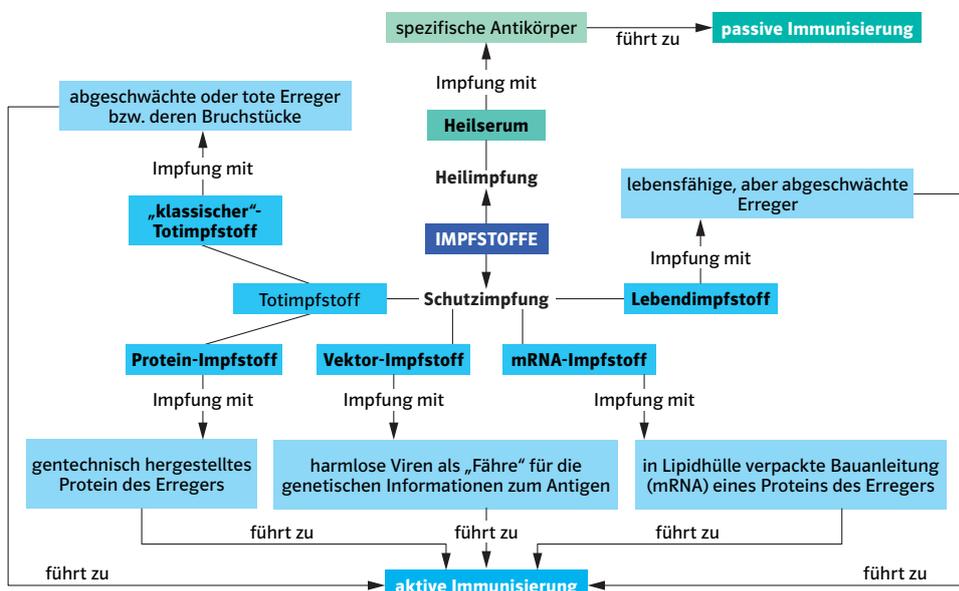
A2 Stellen Sie die Herstellung eines klassischen Totimpfstoffs mit Erregerbruchstücken (Abb. 3) in einem Flussdiagramm dar.

Isolation der Erreger → Vermehrung der Erreger in geeigneten Zellkulturen → Abtötung bzw. Inaktivierung der hergestellten Erreger → Zerlegung der Virushülle in Bruchstücke → z.T. Anheftung der Bruchstücke an Wirkverstärker

A3 Vergleichen Sie den klassischen Totimpfstoff mit dem Protein-Impfstoff in Abb. 2 auf S.100 im Schulbuch.

Vergleichskriterien		Protein-Impfstoff	klassischer Totimpfstoff
Herstellung	Impfstoff	in Zellkultur gentechnisch hergestelltes Protein des Erregers, mit Wirkverstärker	abgeschwächte oder tote Erreger bzw. deren Bruchstücke, z.T. mit Wirkverstärker
	letzlicher Wirkstoff	Strukturen des Erregerproteins wirken als Antigen-Epitope	
	Laborarbeit	Anpassung des Zellkultursystems an die Massenherstellung des Proteins; Qualitätskontrolle und Isolierung des Proteins aus der Zellkultur; Zugabe des Wirkverstärkers	vgl. A2
Immunantwort	Vorgänge in Fresszellen, die Kontakt mit dem Impfstoff haben	Aufnahme des Proteins in die Zelle; Fragmentierung (Zerlegung) des Proteins in Bruchstücke, die Epitope tragen	Aufnahme der Erreger bzw. Bruchstücke in die Zelle, Fragmentierung (Zerlegung) in kleinere Bruchstücke, die Epitope tragen
	Antigenpräsentation durch die Fresszellen	Bindung der Antigen-Fragmente an MHC und Präsentation auf der Zelloberfläche	
	Zellaktivierung	Aktivierung von T-Helferzellen über die präsentierten Antigene durch Botenstoffe; Aktivierung von passenden, antigenspezifischen B-Zellen; klonale Selektion der B-Zellen	
	Antikörperbildung	Umwandlung eines Großteils der aktivierten B-Zellen zu Plasmazellen; Produktion und Freisetzung großer Mengen spezifischer Antikörper gegen das Antigen durch die Plasmazellen	
Besonderheiten	immunologisches Gedächtnis	Bildung von Gedächtniszellen für eine schnelle und starke Immunantwort bei einer Infektion mit dem Erreger	
	Langzeiterfahrung	geringer als beim klassischen Totimpfstoff, aber für einige Impfungen etabliert	große Datenlage zu Folgen und Risiken aufgrund des langjährigen Einsatzes
	Flexibilität	größer als beim klassischen Totimpfstoff, da die Proteine gentechnisch hergestellt werden	niedrig, Anpassungen des Wirkstoffs an Veränderungen beim Erreger sind erst nach längerer Zeit möglich
	Nebenwirkungen	Impfnebenwirkungen können auftreten	
...	Die Handhabung solcher Impfstoffe ist seit vielen Jahren erprobt.

A4 Erstellen Sie eine Concept-Map zum Thema Impfstoffe, in der aktive und passive Immunisierung sowie die verschiedenen Impfstofftypen deutlich werden.



6 Der Zellkern – Sitz der Erbinformation

6.2 Der Zellzyklus reguliert die Abläufe in einer Zelle

A1 Benennen Sie mithilfe der Abb. 1 die Phasen des Zellzyklus und beschreiben Sie die in ihnen stattfindenden Abläufe.

- a Mitose: erbgleiche Teilung des Zellkerns und Zellteilung
- b G_0 -Phase: DNA wird abgelesen und steuert somit den Zellstoffwechsel
- c G_1 -Phase: Zellwachstum und Produktion der für den weiteren Verlauf wichtigen Proteine; DNA wird abgelesen und steuert somit den Zellstoffwechsel
- d S-Phase: Kopieren der DNA
- e G_2 -Phase: Vorbereitung auf die (nächste) Mitose

A2 Geben Sie für alle in Abb. 1 dargestellten Phasen den Chromosomensatz und die vorhandenen Chromatiden an (z.B. doppelter Chromosomensatz mit Zwei-Chromatid-Chromosomen zu Beginn der Mitose).

G_1 -Phase: doppelter Chromosomensatz mit Ein-Chromatid-Chromosomen

S-Phase: zunächst wie G_1 , am Ende doppelter Chromosomensatz mit Zwei-Chromatid-Chromosomen

G_2 -Phase: doppelter Chromosomensatz mit Zwei-Chromatid-Chromosomen

M-Phase: zunächst wie G_2 , am Ende doppelter Chromosomensatz mit Ein-Chromatid-Chromosomen

A3 Beschreiben Sie Abb. 2.

In Abbildung 2 ist die Konzentration unterschiedlicher Cycline gegen die Phasen des Zellzyklus aufgetragen. In der Zelle kommen verschiedene Cycline vor, die sich in den unterschiedlichen Phasen des Zellzyklus anhäufen. Anschließend werden sie zügig wieder abgebaut. Die Maxima der Cyclinkonzentrationen liegen in unterschiedlichen Zellzyklus-Phasen: Cyclin E im Übergang zwischen G_1 - und S-Phase, Cyclin A in der Mitte der G_2 -Phase und Cyclin B zu Beginn der Mitose.

A4 Nennen Sie mithilfe der Abb. 2 die Funktion der Cycline im Zellzyklus.

Die in ihrer Konzentration schwankenden Cycline wirken als Regulatoren des Zellzyklus. Durch ihre Konzentration in der Zelle wird über Leerlauf oder Fortschreiten des Zellzyklus bestimmt.

A5 Nennen Sie die Lage der Kontrollpunkte im Zellzyklus. Erklären Sie, warum es sinnvoll ist, dass genau an diesen Punkten des Zellzyklus Kontrollen stattfinden.

Kontrollpunkte liegen bei den Maxima der Cycline E, A und B im Übergang zwischen der G_1 - und S-Phase, in der G_2 -Phase und zur Mitose. In der G_1 -Phase muss entschieden werden, ob die Zelle in die S-Phase übergeht oder in der G_0 -Phase verbleibt. In der G_2 -Phase muss überprüft werden, ob die Verdopplung der DNA vollständig und fehlerfrei abgelaufen ist und gleichzeitig die Umweltbedingungen für eine Kern- und Zellteilung günstig sind.

6.2 Verpackt oder unverpackt: Alles zu seiner Zeit

A1 Eukaryotische DNA liegt in einer bestimmten Phase des Zellzyklus zu Chromosomen verpackt vor. Benennen Sie diese Phase. Beschreiben Sie das Zustandekommen dieser Verpackung anhand von Abb. 1.

Phase des Zellzyklus, in der die DNA zu Chromosomen verpackt vorliegt: Mitose.

Bei der Verpackung eines DNA-Stranges zu einem Chromosom wird seine Länge verkürzt. Dazu wird die Doppelhelix zunächst um kugelförmige Verpackungsproteine

(Histone) aufgewickelt. Durch weitere Schleifenbildung und Aufspiralisierung dieser perlenkettenartigen Struktur entstehen dicht gepackte, „schlauchartige“ Stränge, die Chromatiden. Das sichtbare Chromosom besteht aus zwei am Centromer miteinander verknüpften Chromatiden.

A2 Als Analogiebeispiel für die Verpackung der DNA wird manchmal das Aufrollen eines Fadens auf eine Garnrolle genutzt. Diskutieren Sie dieses Beispiel, indem Sie Gemeinsamkeiten und Unterschiede nennen.

Beim Aufrollen auf eine Garnrolle steht der Faden für den DNA-Strang und die Garnrolle für den Histon-Komplex, um den die DNA gewickelt wird. Im Analogiebeispiel wird der ganze Faden um eine Rolle gewickelt. Diese Analogie erlaubt ein grundsätzliches Verständnis des Aufwickelns der DNA verbunden mit der Erfahrung, dass der Faden dann weniger Platz in Anspruch nimmt. Das Modell erklärt damit das Grundprinzip und seine Konsequenz. Auch kann damit die ordentliche Anordnung des Fadens erklärt werden. Was das Analogiebeispiel nicht zeigt, ist die Intensität der weiteren Aufspiralisierung der DNA.

A3 Der Verpackungszustand eukaryotischer DNA ändert sich im Verlauf des Zellzyklus. Begründen Sie diesen Wechsel.

Im Verlauf des Zellzyklus laufen Prozesse ab, die eine unterschiedlich dichte Packung der DNA benötigen. In der Mitose findet eine gleichmäßige Verteilung des genetischen Materials auf die Tochterzellen statt, wobei eine stark aufspiralisierte DNA sinnvoll ist, um sie zügig zu transportieren. Um die DNA zur Proteinsynthese ablesen zu können (G-Phasen), muss sie gut zugänglich sein. Gleiches gilt für die Verdopplung der DNA in der S-Phase. In diesen Fällen liegt die DNA deshalb entspiralisiert vor.

6.3 In der Mitose nimmt die DNA ihre Transportform an

A1 Flemming führte den Begriff „Chromatin“ für die anfärbare Substanz im Kern (gr. *chroma*, Farbe) ein. Heutzutage weiß man aufgrund molekularbiologischer Untersuchungen mehr über den Aufbau des Chromatins. Erläutern Sie diesen Aufbau.

Chromatin ist das Material, aus dem die Chromosomen bestehen. Es besteht aus DNA-Fäden, die um Histone gewickelt sind. Diese werden weiter aufgewickelt, so dass die langen chromosomalen DNA-Stränge gut in den Zellkern passen.

A2 Benennen Sie die in Abb. 1 dargestellten Phasen der Mitose. Beschreiben Sie die in ihnen ablaufenden Prozesse und ihre Funktion in der Kern- und Zellteilung.

Fig. 71, große Zelle: Prophase: Es liegen völlig kondensierte Chromosomen in einem Zellkern mit sich langsam auflösender Kernmembran vor. Die DNA ist in ihre Transportform überführt worden.

Fig. 71, Zellen rechts: Interphase (wahrscheinlich frühe G_1 -Phase): Der Zellkörper ist noch recht klein, die DNA in einem membranumgebenen Zellkern liegt entspiralisiert vor.

Fig. 72: Metaphase: Die Chromosomen ordnen sich in der Äquatorialebene an, die Spindelfasern lagern sich an die Centromere an.

Fig. 73: Telophase: Es liegen zwei voneinander unterscheidbare „DNA-Haufen“ vor. An jedem Zellpol findet sich ein kompletter Chromosomensatz mit Ein-Chromatid-Chromosomen. Die Chromosomen entspiralisieren sich langsam. Eine Neubildung zweier Zellmembranen sind (noch) nicht zu erkennen.

A3 Definieren Sie den Begriff „Mitose“ und geben Sie deren Funktion im Zellzyklus an. Prüfen Sie die Annahmen Flemmings aus dem Jahre 1882 mit Ihrem heutigen Wissensstand über die Abläufe der Mitose.

Unter „Mitose“ versteht man die Kern- und Zellteilung. Ihre Funktion ist die Erstellung zweier erbgleicher Zellen aus einer. Flemming ging davon aus, dass die komplette DNA ein durchgehender Faden ist, der erst kurz vor der Zellteilung in kleine Fäden unterteilt wird. Demgegenüber liegt die DNA schon in Stücken vor, die zu Beginn der Mitose als Chromosomen sichtbar werden.

Entgegen seiner Annahme, dass die kompletten Zwei-Chromatid-Chromosomen in der Anaphase zu den Spindelpolen gezogen werden, trennen diese sich vorher und es wandert nur je ein Ein-Chromatid-Chromosom zum Pol.

6.3 Ein Modell kann den Ablauf der Mitose verständlich machen

A1 Stellen Sie den Ablauf der Mitose in den vier Phasen mithilfe von Pfeifentupfern dar. Verwenden Sie zwei Chromosomenpaare.

Für eine bessere Einordnung können Sie die Umrissse von Zelle und Zellkern sowie die Spindelfasern auf ein Blatt als Hintergrund zeichnen.

Individuelle Lösung in Anlehnung an Abb. 2 auf S.111 im Schulbuch

A2 Fotografieren Sie die verschiedenen Phasen. Sie können auch ein Stop-Motion-Video oder Ähnliches erstellen.

Individuelle Lösung in Anlehnung an Abb. 2 auf S.111 im Schulbuch

A3 Erläutern Sie die verschiedenen Mitosephasen und stellen Sie Bild und Text übersichtlich dar. Dokumentieren Sie Ihre Arbeit so, dass sie für Ihr weiteres Lernen gut nutzbar ist.

Prophase: Die DNA hat sich zu sichtbaren Chromosomen verdichtet. Da die Verdopplung in der Interphase stattgefunden hat, liegen Zwei-Chromatid-Chromosomen vor. Die Kernhülle löst sich auf und der Spindelapparat bildet sich.

Metaphase: Die Chromosomen haben sich in der Äquatorialebene angeordnet. Die Spindelfasern lagern sich von beiden Seiten am Centromer an.

Anaphase: Die Chromatiden trennen sich am Centromer. Die Spindelfasern ziehen je ein Ein-Chromatid-Chromosom zu den Zellpolen.

Telophase: An den Polen bildet sich um die Chromosomen eine Kernhülle. Die Chromosomen lockern sich auf und werden wieder zu Chromatin. In der Äquatorialebene schnürt sich die Zelle ein und es entstehen zwei kleinere Zellen mit identischer genetischer Information.

6.4 Stammzellen wecken Hoffnung in der Therapie und Forschung

A1 Vergleichen Sie das Vorgehen beim reproduktiven Klonen (Abb. 2 auf S.113 im Schulbuch) und beim therapeutischen Klonen (Abb. 1).

Reproduktives und therapeutisches Klonen unterscheiden sich in der Art der Verwendung der gewonnenen Embryonen: Beim reproduktiven Klonen werden sie einer Leihmutter eingepflanzt, die das Lebewesen austrägt. Beim therapeutischen Klonen wird der Embryo zerstört. Aus den gewonnenen Zellen werden Gewebezellen gezüchtet. Beiden Methoden gleich ist die „Herstellung“ eines Embryos durch Einfügen des Kerns einer ausdifferenzierten Körperzelle in eine entkernte Spender-Eizelle sowie die Stimulation zur Zellteilung.

A2 Therapeutisches Klonen ist ethisch bedenklich und deshalb aktuell in Deutschland nicht erlaubt. Begründen Sie.

Beim therapeutischen Klonen werden Embryos zerstört, um Stammzellen zur Ausdifferenzierung von Geweben zu erhalten. Da ein Embryo ein Lebewesen in einer frühen Entwicklungsphase ist, wird seine Zerstörung als Tötung gewertet.

A3 Nennen Sie die Vorteile der Arbeit mit iPS-Zellen.

Die Herstellung von iPS-Zellen erfolgt nicht über einen Embryo, der anschließend zerstört werden muss. Daher ist die Arbeit mit iPS-Zellen aus dieser Perspektive ethisch wenig bedenklich. Die Herstellung von iPS-Zellen ist technisch grundsätzlich einfach, wenn sich auch nicht viele Gewebezellen zu iPS-Zellen entwickeln. Sollen iPS-Zellen zur Regeneration erkrankter Gewebe oder Organe eines Menschen genutzt werden und verwendet man als Spenderzelle Hautzellen des Betroffenen, so wird der Patient schlussendlich mit „körpereigenen“ Stammzellen behandelt. Dadurch ist eine Abstoßung durch das Immunsystem oder einer Krankheitsübertragung durch einen fremden Spender auszuschließen.

Hinweis: Da die Herstellung der iPS-Zellen in der Praxis nicht ganz einfach ist, werden häufig keine patienteneigenen iPS-Zellen verwendet, sondern Zellen von gesunden Spendern, die auf Vorrat hergestellt und gelagert werden. Wie im Infotext vermerkt, ist der therapeutische Einsatz für Gewebeersatz aber aktuell noch kein Tagesgeschäft.

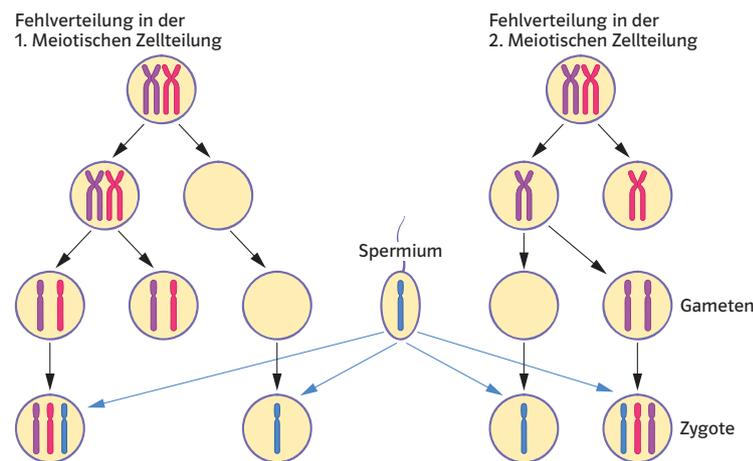
A4 iPS-Zellen gelten meist als ethisch unbedenklich. Jedoch ist mit ihnen die Zucht von Keimbahnzellen (Eizellen und Spermienzellen) möglich. Erörtern Sie die damit verbundene Problematik.

iPS-Zellen ermöglichen die Manipulation der menschlichen Keimbahnzellen: Ohne Zustimmung oder gar Wissen einer Person können Eizelle oder Spermienzellen eines jeden Menschen erzeugt werden. Mittels reproduktiven Klonens könnten Nachkommen erzeugt werden.

Hinweis: Hier nicht gefordert: Eine weitere Gefahr wäre die Bildung von Chimären: Durch den Einbau von iPS-Zellen in vorhandene Embryos könnten menschliche Organismen aus genetisch unterschiedlichen Zellen und Geweben entstehen.

6.6 Die Trisomie 21 kann verschiedene Ursachen haben

A1 Zeichnen Sie die Chromosomenverteilung für die Entstehung einer Trisomie 21 in die Abb. 1 ein. Übertragen Sie dazu die Abbildung in Ihr Heft.



A2 Erläutern Sie die Auswirkungen der balancierten Translokation auf die nächste Generation, gehen Sie auf die vier in Abb.2 dargestellten Fälle ein.

Bei dieser Translokation ist das kleine Chromosom 21 an das Chromosom 13 angeheftet. Da sich dadurch die Chromosomenzahl nicht erhöht, wirkt sie sich phänotypisch nicht aus. In den Fällen 1 und 3 ist das Chromosom 21 jetzt dreifach vorhanden, die Kinder zeigen also das Down-Syndrom. In den Fällen 2 und 4 zeigen sich keine solchen Merkmale.

A3 Diskutieren Sie für die verschiedenen im Text genannten Formen der Trisomie 21, inwiefern es sich um ein erbliches Phänomen handelt.

Nur bei der Translokation kann man von Vererbung sprechen, da hier das Merkmal schon bei einem Elternteil vorhanden ist und an die nächste Generation weitergegeben wird.

6.7 Auch bei Pflanzen erhöht die Meiose die Variabilität

A1 Benennen Sie die Teile (1 – 11) einer Kirschblüte und erläutern Sie kurz die Funktionen. Recherchieren Sie die entsprechenden Informationen, falls nötig.

Struktur	Funktion
1 Staubbeutel	Bildung der Pollenkörner, männliche Geschlechtszellen
2 Staubfaden	trägt den Staubbeutel, wird oft zur Reifezeit der Pollen länger
3 Blütenblatt	Anlocken der Bienen
4 Kelchblatt	umhüllt die Knospe
5 Narbe	Hier wird der Pollen einer anderen Blüte aufgenommen.
6 Griffel	Verbindung zur Samenanlage
7 Fruchtknoten	bildet das Fruchtfleisch der Kirsche
8 Samenanlage	Anlage für den Kirschkern, hier befindet sich die Eizelle und hier findet die Befruchtung statt.
9 Blütenboden	trägt die Blüte
10 Staubblatt	männliche Blütenorgane
11 Fruchtblatt	weibliche Blütenorgane

A2 Erklären Sie, an welchen Stellen bei einer Kirschblüte die Meiose und wo die Befruchtung stattfindet.

Eine Meiose findet immer vor der Bildung der Keimzellen statt, da nur diese haploid sind. Für die Bildung der männlichen Keimzellen findet eine Meiose in den Staubbeuteln bei der Pollenbildung statt. In der Samenanlage im Fruchtknoten findet auch eine Meiose statt, wenn sich die Eizelle bildet. Zur Befruchtung muss vom Pollen, der von einer Biene auf die Narbe gebracht wurde, ein Pollenschlauch zur Samenanlage wachsen. Dort findet die Befruchtung statt.

A3 Vergleichen Sie die genetische Variabilität zwischen den verschiedenen Kirschen eines Baumes und den verschiedenen Samen innerhalb einer Zuchttomate bzw. den verschiedenen Tomaten einer Pflanze.

Bei der Bildung der Kirschsamen ist die Variabilität sehr hoch, da der Pollen von anderen Kirschbäumen stammt. Daher gehen aus den Kirschkernen eines Baumes Bäume mit ganz unterschiedlichen Eigenschaften hervor.

Da bei den Zuchttomaten die Befruchtung innerhalb einer Blüte stattfindet, ist die Variabilität sehr viel geringer. Da kein fremder Pollen hinzukommt, kann aus den Samenkörnern einer Tomate bzw. einer Tomatenpflanze auch wieder eine Tomatenpflanze mit denselben Sorteneigenschaften wie die Mutterpflanze entstehen.

Da aber auch in der Tomatenblüte in den Staubbeuteln und in den Samenanlagen Meiosen stattfinden, sind die Samen nicht identisch. Da die Anzahl unterschiedlicher Allele für ein Merkmal klein ist, ist die Variabilität sehr viel geringer als bei den Kirschblüten.

Hinweis: Da aus den Kirschkernen nur Kirschbäume mit sehr unterschiedlichen Eigenschaften entstehen, werden zum Sortenerhalt die Bäume aufgepfropft. Dabei werden auf einen jungen Kirschschössling Zweige einer Zuchtsorte aufgesetzt. So gehören die Wurzeln einer beliebigen Sorte an und der Stamm und die Zweige gehören zu einer Sorte mit den bekannten Eigenschaften der Zuchtsorte. Werden die Samenkörner einer Tomate ausgesät, dann haben die entstehenden Pflanzen die gleichen Eigenschaften.

6.8 Warum ist ein Merkmal dominant oder rezessiv?

A1 Benennen Sie die jeweilige Funktion, die das einen Albinismus bzw. das Marfan-Syndrom verursachende Protein im Organismus hat.

Albinismus: Enzym; Marfan-Syndrom: Strukturprotein

A2 Definieren Sie die Begriffe „homozygot“ und „heterozygot“ bezüglich eines Merkmals.

Homozygot: Beide Allele sind identisch.

Heterozygot: Die Allele sind unterschiedlich.

A3 Albinismus wird rezessiv vererbt. Erläutern Sie, warum die melaninefreie Haut erst auftritt, wenn die betroffene Person in Bezug auf dieses Merkmal homozygot ist.

Fehlt eines der Enzyme im Melanin-Stoffwechselweg, so kann kein Melanin gebildet werden. Da aber das Allel des homologen (anderen) Chromosoms nicht mutiert ist, kann das betreffende Enzym dennoch gebildet werden und somit die Melaninsynthese stattfinden. So kann auch bei heterozygoten Merkmalsträgern Melanin produziert werden.

Wenn beide Allele die Mutation tragen, fehlt das Enzym völlig und Melanin kann nicht mehr gebildet werden. Die Person ist also homozygoter Merkmalsträger, sie hat dann weiße Haut und Haare.

A4 Beim Marfan-Syndrom führt die Mutation auf einem Chromosom bereits zur Ausprägung des Merkmals. Erklären Sie.

Durch das mutierte Gen auf dem einen Chromosom wird in geringer Menge nicht funktionsfähiges Fibrillin gebildet. Durch das defekte Protein wird das Bindegewebe so geschwächt, dass das Marfan-Syndrom phänotypisch auftritt, auch wenn die Information auf dem anderen Allel ein funktionsfähiges Protein liefert.

6.9 Pigmentfehler werden autosomal vererbt

A1 Albinismus und Piebaldismus werden beide autosomal vererbt. Ermitteln Sie, ob die Anlage für das jeweilige Merkmal dominant oder rezessiv ist. Helfen kann Ihnen dabei der Methodenkasten auf S.126 im Schulbuch. Begründen Sie Ihre Zuordnung.

Albinismus wird rezessiv vererbt. Das ist daran zu erkennen, dass im Stammbaum nicht von Albinismus betroffene Eltern (6 und 7) ein von Albinismus betroffenes Kind (10) haben.

Piebaldismus wird dominant vererbt. Einen eindeutigen Hinweis darauf liefert der Fall, dass von Piebaldismus betroffene Eltern (1 und 2) ein nicht von Piebaldismus betroffenes Kind (4) haben. Dass das Merkmal in jeder Generation auftaucht, unterstützt diese Zuordnung, kann aber nicht als eindeutiges Kriterium gelten, weil es sich bei vorliegendem Beispiel um einen zu kleinen Stammbaumausschnitt handelt.

A2 Geben Sie die Genotypen aller in Abb. 2 und 3 dargestellten Personen an. Sollte eine eindeutige Zuordnung nicht möglich sein, schreiben Sie bitte beide möglichen Genotypen aus.

Albinismus: aa: 1, 4, 5, 8, 10; Aa: 2, 3, 6, 7, 9; Aa/AA: 9

Piebaldismus: aa: 4, 7; Aa: 1, 2, 3, 6; Aa/AA: 5

A3 Begründen Sie anhand der Stammbäume in Abb. 1 und Abb. 2, warum bei Albinismus und Piebaldismus keine X-chromosomale Vererbung vorliegt.
 Albinismus: nicht betroffener Vater (2) hat eine betroffene Tochter (5). Dass außerdem mehr Frauen betroffen sind, unterstützt diese Zuordnung, kann aber aufgrund des kleinen Stammbaumausschnitts nicht als eindeutiges Kriterium gelten.
 Piebaldismus: betroffener Vater (2) hat nicht betroffene Tochter (4). Dass nahezu gleich viele Männer und Frauen betroffen sind, unterstützt diese Zuordnung, kann aber aufgrund des kleinen Stammbaumausschnitts nicht als eindeutiges Kriterium gelten.

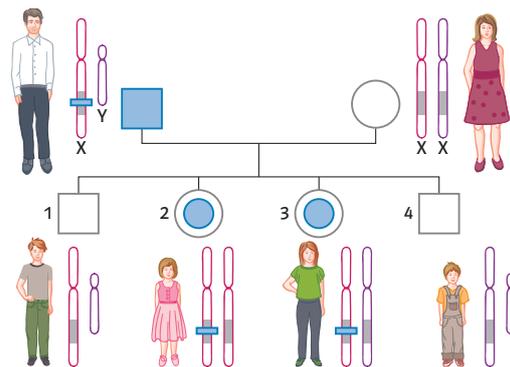
A4 Stellen Sie dar, welche Bedeutungen Indizien und Beweise bei Ihrer Stammbaumanalyse haben.

Indizien sind Sachverhalte, die auf einen bestimmten Vererbungstyp schließen lassen, weil sie häufig bei ihm auftreten, z. B. dass alle Generationen bei dominanter Vererbung betroffen sind. Dieser Sachverhalt kann aber auch bei einer rezessiven Vererbung auftreten, sodass er ein Anhaltspunkt ist, jedoch noch kein Beweis. Ein Beweis hingegen ist ein Sachverhalt, der wirklich nur einem Vererbungstyp zuzuordnen ist, so z. B., dass im autosomal rezessiven Fall gesunde Eltern ein erkranktes Kind haben.

6.9 Morbus Fabry ist eine seltene Stoffwechselerkrankung

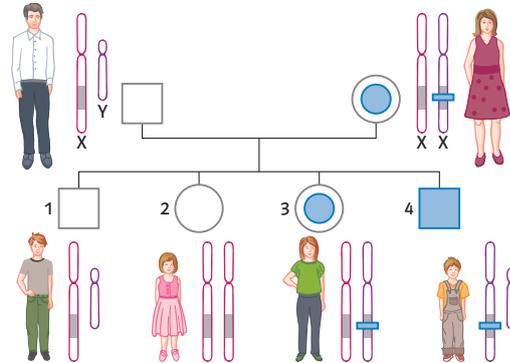
A1 Diskutieren Sie, ob die Krankheit dominant oder rezessiv vererbt wird.
 Die Krankheit wird X-chromosomal rezessiv vererbt. Dies ist daran zu erkennen, dass Frauen viel seltener von der Krankheit betroffen sind als Männer. Da bei Männern nur ein X-Chromosom vorliegt, tritt bei ihnen das Merkmal im Falle der Mutation in jedem Fall auf; es erscheint dominant.

A2 Geben Sie für den Stammbaum aus Abb. 2 alle möglichen Genotypen der Kinder an, indem Sie die blaue Strich-Markierung eintragen, und markieren Sie den jeweiligen Phänotyp in den Kreisen und Quadraten. Erläutern Sie das mögliche Erkrankungsrisiko für Jungen und Mädchen.



Die Jungen erhalten immer ein gesundes X-Chromosom von der Mutter, sie sind also in jedem Fall gesund. Die Mädchen erhalten immer das mutierte X-Chromosom vom Vater, sie sind also zu 100 % Überträgerinnen der Krankheit.

A3 Das Beispiel in Abb. 3 zeigt den Fall, dass die Mutter das Merkmal auf einem X-Chromosom trägt. Kennzeichnen Sie auch hier anhand der blauen Strich-Markierung die vier verschiedenen möglichen Genotypen der Kinder. Zeichnen Sie ein und erläutern Sie, ob die Kinder gesund, krank oder Überträger der Krankheit sind. Geben Sie auch jeweils die Wahrscheinlichkeit an.



Wenn die Mutter ein defektes X-Chromosom hat, können die Söhne entweder das mutierte Chromosom oder das gesunde X-Chromosom erhalten. Sie sind also zu jeweils 50% gesund oder krank. Die Töchter erhalten vom Vater das gesunde X-Chromosom und von der Mutter entweder das gesunde oder das mutierte X-Chromosom. Sie sind also zu jeweils 50% gesund oder Überträgerin.

A4 Erläutern Sie mögliche Gründe für die oben angegebenen schwächeren Krankheitssymptome bei Frauen.

Die Symptome bei Frauen zeigen sich später und in geringerem Maße, da bei Heterozygoten nicht genügend Enzyme vorhanden sind. Die Abbauraten in den Lysosomen sind herabgesetzt. Langfristig sammeln sich auch bei heterozygoten Frauen die Abbauprodukte an.

Hinweis: Die homozygot kranke Form taucht sehr selten auf.