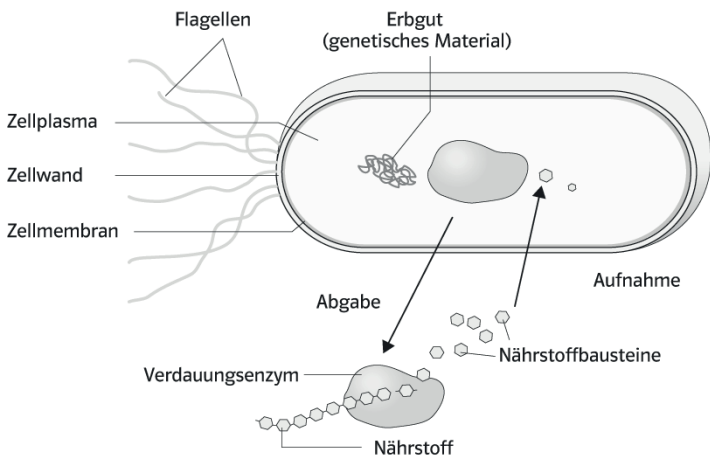


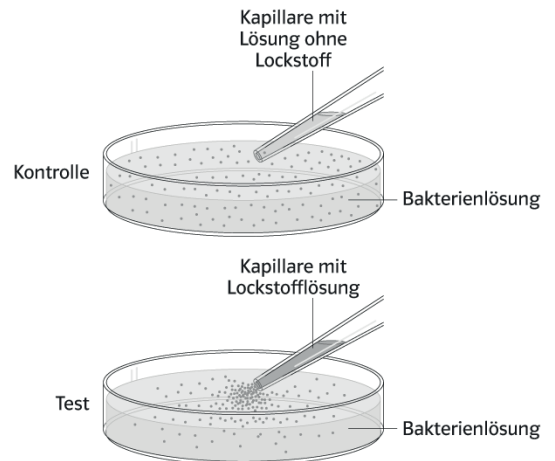
Bakterien sind Lebewesen

Bakterien sind überall — nicht nur um uns herum, sondern sogar im Inneren unseres Körpers. In erster Linie denkst du wahrscheinlich an die krankmachende Wirkung vieler Bakterien, aber es gibt auch nützliche Arten. So ist beispielsweise dein Darm von Bakterien besiedelt, die dir helfen, deine Nahrung zu verdauen, und die nach neueren Erkenntnissen auch eine wichtige Rolle bei der Immunabwehr

spielen. Du nimmst zudem Bakterien mit bestimmten Lebensmitteln auf, die es ohne die „Arbeit“ der Bakterien nicht gäbe, z. B. Käse, Joghurt, Sauerkraut oder Essig. Bakterien bestehen aus einer einzigen, recht einfach gebauten Zelle. Dennoch zeigen sie alle Kennzeichen der Lebewesen. Die meisten Bakterien leben als Einzelzellen, die sich durch einfache Zellteilung vermehren.



1 Nahrungsaufnahme bei Bakterien



2 Reaktion auf Lockstoffe (Kapillartest)

○ 1 Beschreibe den Aufbau eines Bakteriums anhand von Abb. 1.

● 2 Abb. 1 zeigt neben dem Aufbau auch die Ernährungsweise von Bakterien. Beschreibe den dargestellten Vorgang und vergleiche Prinzipielles mit der Ernährungsweise bei einem Menschen.

● 3 In Abb. 2 siehst du ein Experiment, in dem untersucht wird, ob Bakterien auf bestimmte Stoffe reagieren. Beschreibe in deinem Heft unter dem Titel „Lockstoff-Test“ den Versuchsaufbau und nenne die Beobachtungen. Finde eine Erklärung.

● 4 Benenne die in den Aufgaben 1, 2 und 3 behandelten Kennzeichen der Lebewesen. Ergänze die weiteren Kennzeichen am Beispiel „Bakterien“. Notiere die Antwort in Form einer Tabelle in dein Heft.

ARBEITSBLATT

Bakterien sind Lebewesen

Lösungen

- 1 Das Zellplasma des Bakteriums ist umschlossen von einer Zellmembran, nach außen hin wird es durch eine Zellwand begrenzt. Das gezeigte Bakterium hat zudem Flagellen. Das Erbgut (genetisches Material) liegt frei im Zellplasma.
- 2 *Bakterium:* Die Nährstoffe werden mithilfe von Verdauungsenzymen, die das Bakterium ausscheidet, außerhalb des Körpers zerlegt (verdaut). Die dabei entstehenden Bausteine können durch die Zellmembran in das Innere des Bakteriums aufgenommen und für den Bau- oder den Energiestoffwechsel verwendet werden.
Mensch: Der Mensch besitzt ein komplexes Verdauungssystem, die Nahrung wird im Inneren des Körpers verdaut. Es sind ebenfalls Verdauungsenzyme beteiligt, die die Nährstoffe in die einzelnen Bausteine zerlegen.
- 3 *Durchführung:* In einer Petrischale befinden sich Bakterien. Eine Kapillare wird mit einer Nährlösung gefüllt (Lockstoff) und in die Petrischale gehalten.
Beobachtungen: Die Bakterien sind anfangs gleichmäßig verteilt. Sie sammeln sich dann jedoch vor allem in der Nähe der mit Nährlösung gefüllten Kapillare.
Erklärung: Die Bakterien nehmen den Lockstoff wahr und bewegen sich in die entsprechende Richtung.
(Anmerkung: Diese Art der Reaktion auf einen chemischen Reiz wird auch Chemotaxis genannt. Eine entsprechende Reaktion auf einen Lichtreiz wird als Fototaxis bezeichnet.)
- 4 Die behandelten Kennzeichen sind: Stoffwechsel, Reizbarkeit und Bewegung.
Weitere Kennzeichen: Bakterien vermehren sich, indem sie sich teilen (Kennzeichen: Fortpflanzung). Nach der Teilung in zwei genetisch identische Bakterien wachsen diese vor einer erneuten Teilung auf ihre ursprüngliche Größe heran (Kennzeichen: Wachstum).

Zusatzinformation

Zellwand bei Pflanzenzelle und Bakterienzelle

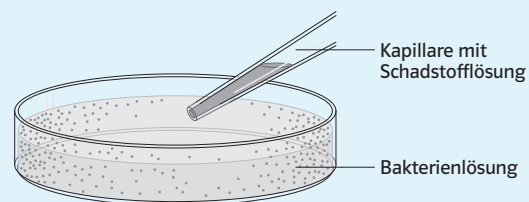
Pflanzenzelle: Die Zellwand besteht aus Cellulosefasern, die der Zellwand ihre Zugfestigkeit verleihen. Die Fasern sind vernetzt mit Hemicellulose und Strukturproteinen; dadurch entsteht eine Art Geflecht, das größeren Spannungen und hohem Druck standhalten kann.

Bakterienzelle: Bakterienzellen werden je nachdem, ob sich ihre Zellwand mit der sogenannten Gramfärbung anfärben lässt oder nicht, in grampositive und gramnegative Bakterien eingeteilt. Die Zellwand der grampositiven Bakterien besteht, wie auch die Zellwand von Pilzzellen, aus Murein. Es handelt sich dabei um einen makromolekularen Stoff (ein Peptidoglykan aus N'-Acetylglucosamin und N'-Acetyl-Mureinsäure), der aus Aminosäuren und Kohlenhydraten zusammengesetzt ist. In das Murein sind unter anderem noch Proteine eingelagert. Die Zellwand gramnegativer Bakterien besteht aus zwei Schichten: einer dünnen Schicht aus Peptidoglykanen innen und einer „äußeren Zellwand“ aus Lipopolysacchariden, also Verbindungen aus Polysacchariden und fettähnlichen Substanzen.

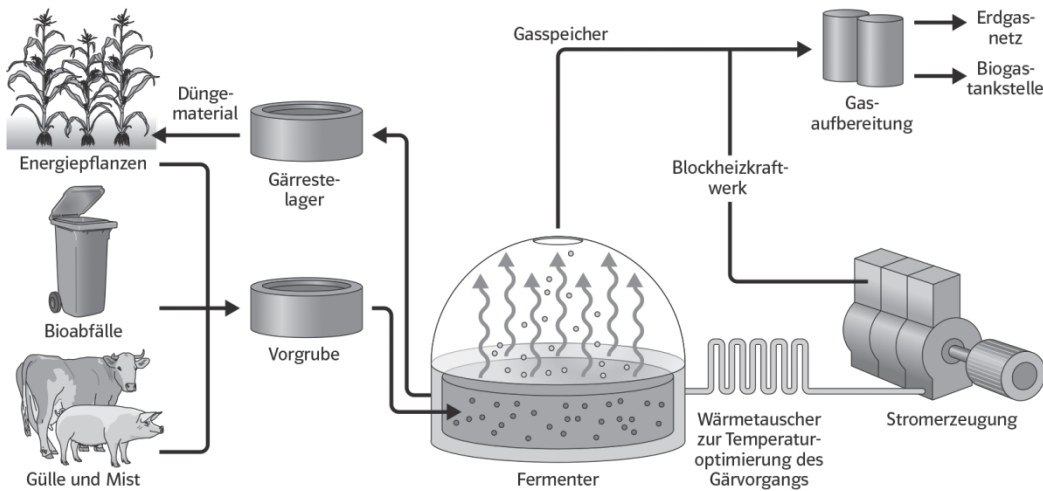
Zusatzaufgabe

Zu Aufgabe 3

Zeichne das Versuchsergebnis für einen vergleichbaren Versuch, in dem aber die Kapillare einen Schadstoff enthält.



Biogas — auch ein Gärungsprodukt



1 Funktion einer Biogasanlage (schematisch)

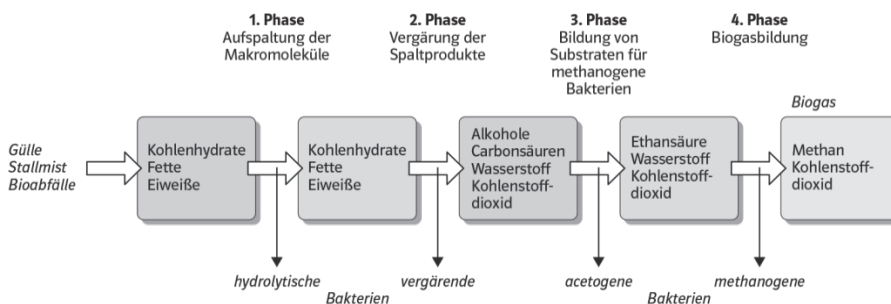
In der Natur kommen methanbildende (methanogene) Bakterien in anaeroben Lebensräumen vor. Sie sind z. B. an der Bildung von Sumpfgas in Mooren beteiligt, oft kann man sie als Moorlichter erkennen. Auch bei der Entstehung des fossilen Erdgases spielten sie eine entscheidende Rolle.

Aus Bioabfällen, Mist und Gülle werden durch die hydrolytischen Bakterien deren Bausteine freigesetzt. Durch die folgende Fermentation entstehen Carbonsäuren, wie Ethan-, Propan-, Butan- und Milchsäure sowie Alkohole und Gase (Abb. 2). Diese Produkte wandeln die acetogenen Bakterien zu Ethansäure um.

Methanogene Bakterien synthetisieren daraus sowie aus dem Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid Methan.

Durch die Vielfalt der Bakterien kann im Gegensatz zur alkoholischen Gärung ein breites Spektrum von Verbindungen genutzt werden. Biogas besteht zu ca. 60 % aus Methan, 35 % Kohlenstoffdioxid und geringen Anteilen von Stickstoff, Wasserstoff und Schwefelwasserstoff. Durch technische Reinigungsprozesse erhält man reines Biomethan, das in das Erdgasnetz und Biotankstellen eingespeist werden kann. Biogas entsteht im Fermenter, einem Behälter ohne Licht und Sauerstoff, in dem Biomasse von Mikroorganismen abgebaut wird (Abb. 1). Die notwendige Biomasse besteht aus Gülle, Mist, Bioabfällen und Energiepflanzen, die in der Vorgrube gesammelt werden. Als Energiepflanzen werden z. B. Mais, Hirse, Getreide, Gräser oder Zuckerrüben genutzt. Bei diesem Gärprozess entsteht das Biogas. Die Reste der abgebauten Biomasse aus dem Fermenter werden als hochwertiger Dünger für den Anbau von Energiepflanzen genutzt.

Die über der Biomasse entstandenen Gase werden in der Haube des Fermenters, dem Gasspeicher, gesammelt und für die Nutzung weitergeleitet. Ein Teil wird für das Blockheizkraftwerk genutzt. Der Rest wird gereinigt und als Biomethan im Erdgasnetz oder an Biotankstellen verkauft.



2 Biomassenabbau (schematisch)

- 1 Beschreiben Sie den Aufbau einer Biogasanlage und erläutern Sie die Bedeutung der einzelnen Stationen (Abb. 1).
- 2 Erklären Sie in Form eines Informationstextes, was beim Abbau (Abb. 2) in den jeweiligen Phasen passiert. Erläutern Sie, weshalb im Gegensatz zur alkoholischen Gärung bei der Biomethangewinnung stickstoff- und schwefelhaltige Nebenprodukte entstehen.

ARBEITSBLATT

Biogas – auch ein Gärungsprodukt

Lösungen

- Im Zentrum der Biogasanlage steht der Fermenter. In diesem laufen die Reaktionen ab, bei denen Methanogas und Kohlenstoffdioxid entstehen. Ausgangsmaterial dafür sind Gülle und Mist aus der Viehzucht, Bioabfälle und angebaute Energiepflanzen wie Mais, Gräser und Zuckerrüben. Die verschiedenen Materialien werden in einer Vorgrube gesammelt, bevor sie in den Fermenter kommen. Die Pflanzen werden mit den festen Resten aus dem Gärrestelager gedüngt.

Das Biogas aus dem Fermenter wird aufbereitet und gelangt in das Erdgasnetz oder zu Biogastankstellen. Ein Teil des Gases wird unbehandelt für ein Blockheizkraftwerk genutzt. In diesem wird Strom erzeugt und die Restwärme zur Einstellung der Fermentertemperatur genutzt.
- In Abb. 2 ist die Bildung von Biogas schematisch dargestellt. In der ersten Phase, der Aufspaltung der Makromoleküle, werden die verschiedenen Makromoleküle mithilfe von verschiedenen Bakterien zu den jeweiligen Bausteinen enzymatisch abgebaut.

In der zweiten Phase, der Vergärung der Spaltprodukte, werden die entstandenen Bausteine zu Säuren (Ethan-, Propan-, Butansäure und Milchsäure) und Alkoholen abgebaut. Gleichzeitig finden jedoch auch Reaktionen statt, bei denen Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff entstehen.

In der dritten Phase, der Bildung Substraten für methanogene Bakterien, werden die Säuren und Alkohole zu Ethansäure umgebaut. Bei den Reaktionen in diesen drei Phasen sind viele verschiedene Bakterien beteiligt, jedoch keine methanogenen Bakterien.

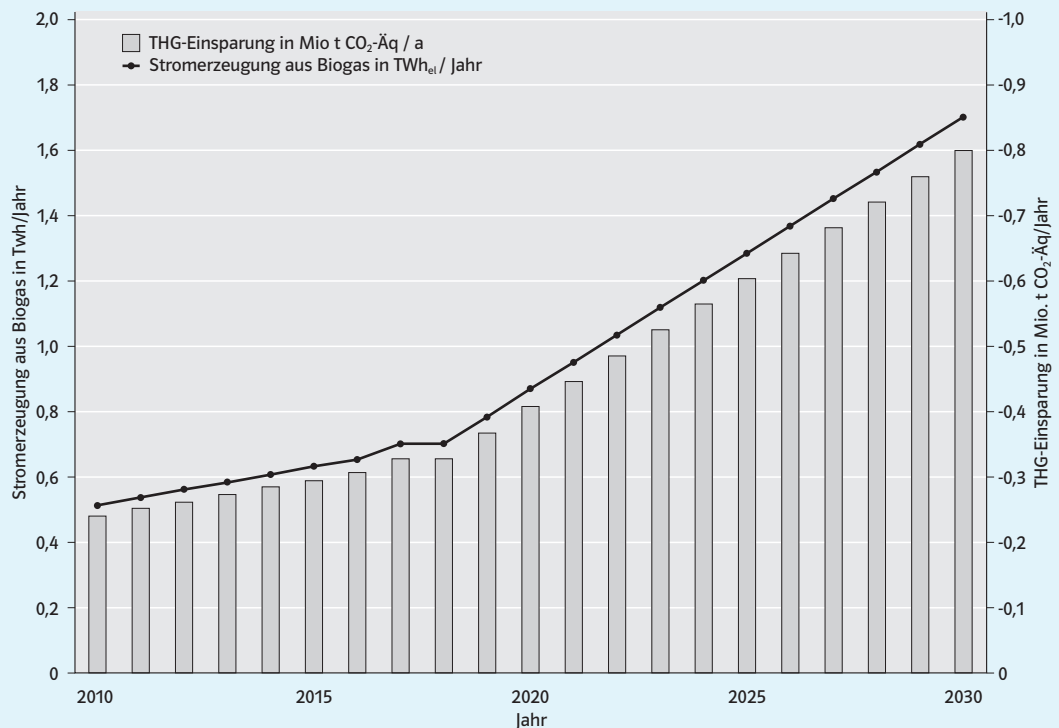
In der vierten Phase, der Biogasbildung, verarbeiten methanogene Bakterien Verbindungen mit Methangruppen, wie die Ethansäure. Andere methanogene Bakterien nutzen hierzu direkt Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff.

Schwefel- und stickstoffhaltige Nebenprodukte entstehen bei der alkoholischen Gärung nicht, da hierzu Zucker notwendig wären. Diese bestehen nur aus Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Sauerstoffatomen. Bei der Biogasproduktion werden auch Proteine verwendet. Deren Bausteine, die Aminosäuren, enthalten außerdem Stickstoffatome. Einige Aminosäuren besitzen auch Schwefelatome. Daher kommt es bei der Biogasproduktion zu weiteren Nebenprodukten.

Zusatzinformation

Biogasanlagen tragen zur Verminderung der Treibhausgase bei

Prognose der Strombereitstellung und Einsparung von Treibhausgasen (THG) beim Ausbau der Vergärung von Biogas (TWh_{el} bedeutet Terrawatt elektrisch). Das CO₂-Äquivalent einer chemischen Verbindung ist eine Maßzahl für ihren relativen Beitrag zum Treibhauseffekt im Vergleich zur gleichen Masse CO₂. Methan ist 25-mal wirksamer als CO₂.



1 Stromerzeugung aus Biogas und Einsparung von Treibhausgasen

Der bakterielle Fingerabdruck

Bakterien sind überall — täglich kommt man mit unzähligen verschiedenen Arten in Berührung, manche davon sind Auslöser für Krankheiten, die meisten sind allerdings ungefährlich. Selbst wenn man seine Hände sehr gründlich mit viel warmem Wasser und Seife wäscht, befinden sich immer noch verschiedene Bakterien auf der Haut. Trocknet man sich anschließend die Hände an einem nicht mehr ganz frischen Handtuch ab oder berührt man die Türklinke der Badezimmertür, besiedeln wieder deutlich mehr Bakterien die Hände. Zweimal am Tag sollte man sich die Zähne putzen, denn auch im Mundraum und auf den Zähnen befinden sich Bakterien, die teilweise zu Schäden an den Zähnen führen.



Nach dem Putzen bleiben diese Bakterien zum Teil an der Zahnbürste hängen — daher ist es wichtig, die Bürste regelmäßig auszutauschen. Mit dem folgenden Versuch kannst du einige Bereiche deines Körpers auf ihre Bakterienbesiedlung hin untersuchen.

Versuch:

Material:

Nähragarplatten, Klebestreifen, für die Abstriche z. B. Wattestäbchen, Zahnseidesticks, Zahnbürste, Zungenreiniger oder Holzstäbchen, Spatel, Brutschrank.

Durchführung:

- Nimm von verschiedenen Körperstellen Proben in Form eines Abstrichs.
Beispiele: Zahnzwischenraum: mit einem Zahnseidestick oder einem Zahnstocher;
 Zahnoberfläche: mit einer Zahnbürste oder einem Wattestäbchen;
 Zunge: mit einem Zungenreiniger oder Holzstäbchen;
 Ohr innen/außen; Nase innen/außen; Ellenbeuge;
 Kniekehle: mit einem sauberen Wattestäbchen;
 Daumen/andere Finger gewaschen bzw. ungewaschen: direkt auf die Agarplatte drücken
- Bestreiche mit dem „geimpften“ Wattestäbchen, Spatel, Zungenreiniger etc. je eine unbenutzte, zuvor beschriftete Agarplatte.
- Verschließe die Agarplatte fest mit Deckel und Klebestreifen und bebrüte sie im Brutschrank bei 37°C für 48 Stunden.

Hinweise:

- Sicherheit: Beachte die Sicherheitsvorschriften zum Umgang mit Bakterien im Schulunterricht.
- Die Petrischalen werden außen auf der Unterseite beschriftet.

- **1** Vor dem Versuch: Notiere in deinem Heft deine Erwartungen, ob du eher viel oder eher weniger Bakterienbesiedlung an den von dir zu untersuchenden Stellen finden wirst. Nutze dazu die folgende Tabellenvorlage:

Körperbereich	Erwartung	Skizze der bebrüteten Agarplatten	Ergebnis

- **2** Notiere in deinem Heft die Durchführung deiner verschiedenen Untersuchungen.
- **3** Nach erfolgter Bebrütung: Fertige von deinen Proben Skizzen mit allen sichtbaren Kolonien in deiner Tabelle von Aufgabe 1 an. Vergleiche das Ergebnis mit deinen Erwartungen.
- **4** Bereite auf Folie eine kurze Präsentation vor, um deine Versuchsergebnisse der Klasse vorzustellen.

 **ARBEITSBLATT**

Der bakterielle Fingerabdruck

Lösungen

1 *individuelle Lösung*

z. B. Zahnabstrich: hohe Besiedlung, gewaschener Daumen: geringe Besiedlung etc.

2 *individuelle Lösung*

z. B.: Der gewaschene/ungewaschene Daumen wird auf die Agarplatte gedrückt. Diese wird anschließend mit dem Deckel verschlossen, mit Klebestreifen zugeklebt und bei 37°C 48 Stunden lang bebrütet.

3 und 4 *individuelle Lösung*

und Zusatzinformation „Wissenswertes zur Bakterienbesiedlung des Körpers“

Zusatzinformation

Wissenswertes zur Bakterienbesiedlung des Körpers

Im **Darm** eines Erwachsenen befinden sich zwischen 10 und 100 Billionen Bakterien, die insgesamt eine Masse von bis zu zwei Kilogramm haben. Der vom Menschen ausgeschiedene Kot besteht bis zu 40% aus abgestorbenen Darmbakterien. Das Bakterien-„Ökosystem“ (Mikrobiota bzw. Mikrobiom) erfüllt viele für den Organismus Mensch wichtige Aufgaben. So stellen manche Bakterien Vitamine, wie Vitamin K, her, die dem menschlichen Körper zugute kommen. Die Bakterienbesiedlung hat außerdem einen großen Einfluss auf das Funktionieren unseres Immunsystems.

Im **Speichel** konnten bisher bis zu 500 verschiedene Bakterienarten nachgewiesen werden — neben Bakterien, die Karies verursachen, gibt es zahlreiche für den Menschen harmlose Mikroorganismen, die die schädlichen teilweise verdrängen und so in Schach halten.

Der **Ohrenschnitz** wird von Drüsen im Ohr von Säugetieren gebildet, befeuchtet zum einen die Haut und sorgt für den Abtransport von Fremdkörpern wie Schmutz oder Staub und von abgestorbenen Hautzellen. Das Sekret hat zudem durch das enthaltene Lysozym eine bakterizide Wirkung.

Achseln: Durch das feuchte, warme Milieu in den Achselhöhlen können sich Bakterien (z. B. Staphylococci) dort hervorragend ansiedeln und vermehren. Der von den Drüsen im Achselbereich abgesonderte Schweiß enthält unter anderem Fette und Eiweiße, die von den Bakterien abgebaut werden — allerdings oft nur unvollständig. Dieses führt zu verschiedenen Abbauprodukten, die für unangenehmen Geruch verantwortlich sind.

Die amerikanische Forscherin **SUSAN HUSE** untersuchte die genetische Vielfalt an bakteriellen Genen in verschiedenen Körperbereichen. Die Anzahl an gefundenen bakteriellen Genen lässt die Vermutung zu, dass der menschliche Körper von bis zu 10 000 verschiedenen Bakterienarten besiedelt ist.

Zusatzaufgaben

Nimm Proben von verschiedenen Alltagsgegenständen, z. B. Türklinke, Spülschwamm, Zahnbürste, Computertastatur, Geldstück etc. und bebrüte die mit den Proben beimpften Nähragarplatten. Stelle deine Ergebnisse der Klasse vor.

individuelle Lösung

Kompetenzerwerb

Kompetenzbereich „Schwerpunkt Erkenntnisgewinnung“: Die Schülerinnen und Schüler führen ein Experiment zur Besiedlung der Körperoberfläche mit Bakterien unter Beachtung der nötigen Sicherheitsmaßnahmen durch und werten es aus.

Basiskonzepte „Kompartimentierung“ sowie „Variabilität und Anpasstheit“: Der menschliche Körper ist mit unterschiedlichen Bakterien besiedelt, die alle in oder auf den verschiedenen Körperpartien bestimmte ganz spezielle Aufgaben erfüllen und ihrer Zusammensetzung nach „menschenspezifisch“ sind.

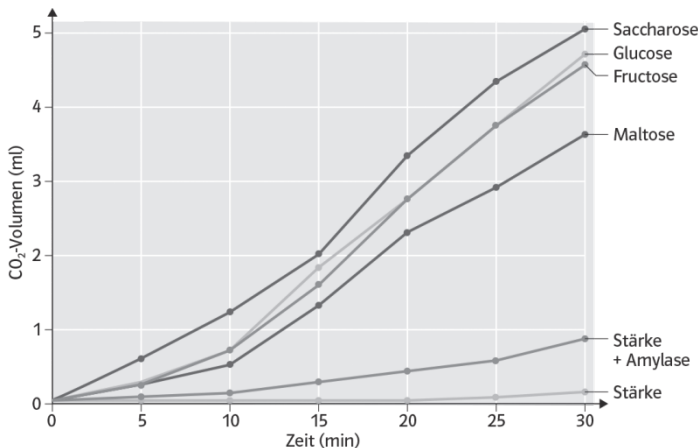
Gärung verschiedener Kohlenhydrate

Historische Aspekte

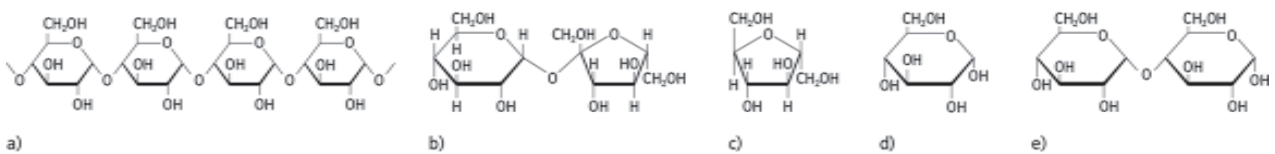
Der Prozess der Gärung wird von Menschen schon seit vielen Jahrhunderten in der Lebensmittelverarbeitung genutzt. Bereits 7 000 v. Chr. nutzten die Sumerer die Vergärung von Gerste und Emmer, um Bier zu brauen. Die Nutzung von Gärprozessen mit überreifen Früchten wird sogar auf einen Zeitraum von 10 000 Jahren v. Chr. datiert. Auch das Brotbacken ist schon sehr lange überliefert, jedoch entwickelten die Ägypter ca. 6 000 v. Chr. eine Technik, mit der das Brot lockerer wurde. Sie ließen den Teig einen Tag stehen, hierbei entwickelte sich Kohlenstoffdioxid. Ein wissenschaftliches Verständnis für diese unterschiedlichen Gärprozesse entwickelte sich erst durch naturwissenschaftliche Untersuchungen, die von Louis Pasteur (1822 - 1895) und Robert Koch (1843-1910) eingeleitet wurden. Hierbei wurde die Bedeutung der Hefen und Zucker bei der Gärung deutlich.

Experimente mit Hefezellen und Zucker

Louis Pasteur und Robert Koch gingen der Frage nach, welche Zucker von der Hefe umgesetzt werden und ob der Hauptbestandteil des Mehls, die Stärke, ebenfalls zur Brotgärung beitragen kann. Hefezellen sind lebende Zellen mit eigenem Stoffwechsel und Enzymen. Zur Untersuchung wurden Hefesuspensionen verschiedene Zucker oder Stärke zugesetzt (Abb. 1). Anschließend wurde über einen Zeitraum von 30 Minuten die Kohlenstoffdioxidentwicklung z. B. pneumatisch gemessen. In einen Versuchsansatz mit Stärke wurde zusätzlich Amylase gegeben. Ein zusätzlicher Versuch wurde ohne Zucker, nur mit Wasser, als Blindversuch durchgeführt. Die Werte sind hier nicht angegeben. Hefezellen besitzen keine Amylase, sondern Invertase, die Saccharose spalten kann. Die Spaltung von Maltose wird durch Maltase katalysiert.



1 Gasbildung bei der Vergärung verschiedener Zucker



2 Strukturformeln der Stärke a), Saccharose b), Fructose c), Glucose d) und Maltose e)

- 1 Beschreiben Sie den Versuchsaufbau zu Abb. 1 und erläutern Sie, welche Bedeutung der Blindversuch hat. Erklären Sie kurz den zu erwartenden Kurvenverlauf des Blindversuchs in Abb. 1.
- 2 Erläutern Sie die Kurvenverläufe in Abb. 1 unter Berücksichtigung der Strukturformeln in Abb. 2. Gehen Sie hierbei auf die Einfach- und Mehrfachzucker ein.
- 3 In alten Getreidesorten, wie Emmer, waren neben der Stärke sehr viele Enzyme für die Zucker- und Stärkeverwertung enthalten. Der Gärprozess beim Backen verlief intensiv. Moderne Getreidesorten haben durch die Züchtung zu höheren Erträgen einige Enzyme verloren. Der Gärprozess läuft daher sehr langsam. Um diesen wieder zu beschleunigen, wird dem Teig Amylase zugesetzt. Erklären Sie die Zusammenhänge.

ARBEITSBLATT

Gärung verschiedener Kohlenhydrate

Lösungen

- 1 Der Versuchsaufbau für die Messung erfolgt pneumatisch, wobei das entstehende Gas, das Kohlenstoffdioxid, gemessen wird. In das Gefäß werden unterschiedliche Hefesuspensionen eingefüllt. Sie unterscheiden sich durch die Zugabe von Saccharose, Glucose, Fructose, Maltose und Stärke. Ein Versuchsansatz wird nur mit Wasser ohne Zuckerzugabe durchgeführt. Dies ist der Blindversuch. Die Gasentwicklung wird über einen Zeitraum von 30 Minuten gemessen. Der Blindversuch ist notwendig, um überprüfen zu können, ob im Ansatz bereits Substanzen vorhanden sind, die zu einer Gasentwicklung führen. Die Werte des Blindversuchs würden auf der x-Achse beim Messwert Null verlaufen.
- 2 Die Kurvenverläufe aller CO₂-Entwicklungen der Zucker nehmen innerhalb des Messzeitraumes zu. Die Intensität der Steigung ist jedoch unterschiedlich. Der Versuchsansatz mit Saccharose zeigt die höchste Aktivität, darunter liegen die Ansätze mit Glucose und Fructose. Dies lässt sich dadurch erklären, dass in der Glykolyse Glucose und Fructose direkt in den Stoffwechsel eingebaut werden. In den Hefezellen wird die Spaltung der Saccharose in Glucose und Fructose durch das Enzym Invertase katalysiert, daher sind mehr Zuckermoleküle vorhanden und der Umsatz ist größer. Die Werte der CO₂-Entwicklung der Maltose liegen unter den Werten der Glucose. Dies könnte an einem langsameren katalytischen Umbau durch die Maltase erklärt werden. Stärke wird kaum umgesetzt. Einen Umsatz mit Stärke kann man erst nach Zugabe von Amylase messen, da der Abbau der Stärke durch dieses Enzym katalysiert wird.
- 3 In alten Getreidesorten waren viele Enzyme vorhanden, die den Umbau der Stärke in Zucker katalysierten und die Glykolyse unterstützten. Daher konnte mit dem Mehl (Kohlenhydrate) aus diesen Getreidekörnern genügend Kohlenstoffdioxid entwickelt werden. Durch die Züchtung wurde der Anteil der Enzyme verringert. Da Stärke als Hauptbestandteil der Getreidekörner durch weniger Enzyme kaum zu Zucker abgebaut wird, kann der Gärungsprozess vor dem Backen schlechter ablaufen. Daher muss künstlich Amylase zugesetzt werden, um den Gärprozess wieder zu beschleunigen.

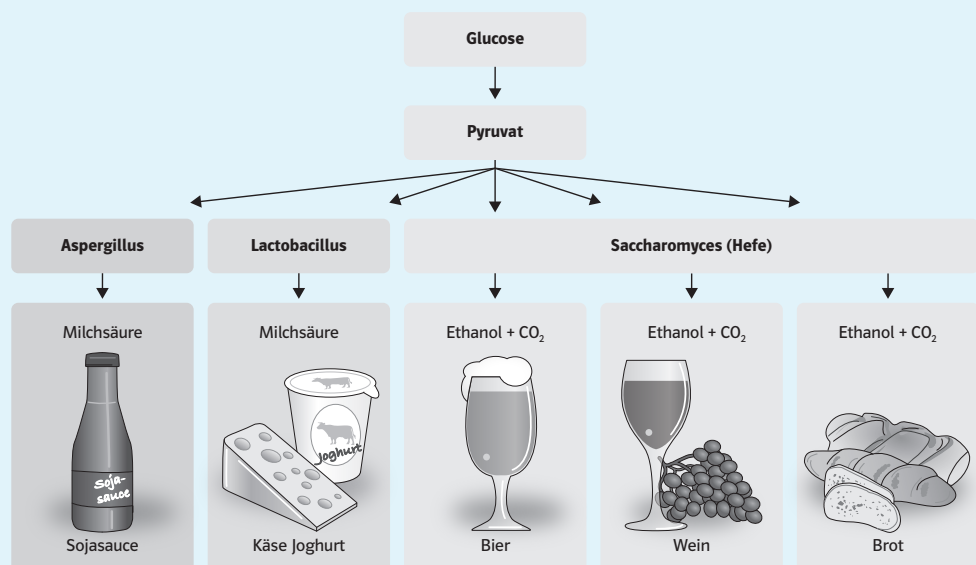
Praktische Tipps

Nutzung gentechnisch veränderter Hefe

Nach der Bearbeitung können Informationen zur Nutzung und Bedeutung von Hefen in technischen Prozessen gegeben werden. Der Aspekt genetisch veränderter Hefen kann hier diskutiert werden. Gentechnisch veränderte Hefen werden genutzt, um Arzneimittelwirkstoffe, Enzyme, Aromen (z.B. Vanillin) und andere hochwertige, pflanzliche Stoffe (Safran, Süßstoff aus Stevia) zu produzieren. Die mit den gentechnisch veränderten Hefen erzeugten Produkte werden gereinigt und unterscheiden sich nicht von denen aus konventionellen Verfahren.

Zusatzinformation

Nutzung von Mikroorganismen zur Herstellung verschiedener Lebensmittel



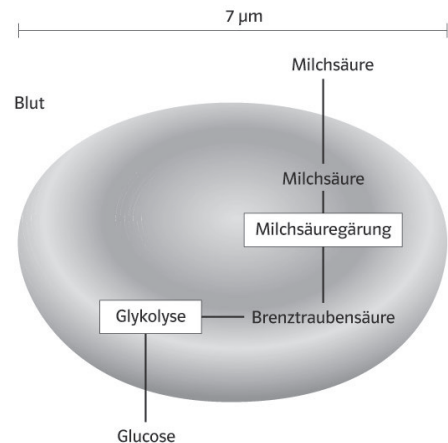
1 Nutzung der Gärung mit verschiedenen Mikroorganismen

Erythrocyten brauchen Glucose

Menschen haben in 1 µl Blut ca. 5 Millionen Rote Blutzellen (Erythrocyten). Diese transportieren den Sauerstoff im Blut zu den verschiedenen Organen. Der Sauerstoff ist an Hämoglobin gebunden. Erythrocyten haben eine scheibenförmige Gestalt mit einer bikonkaven Einbuchtung in der Mitte. Der Durchmesser beträgt ca. 7 µm (Abb. 1). Ein erwachsener Mensch hat je nach seiner Körpermasse zwischen 24 und 30 Billionen Erythrocyten. Ihre Lebensdauer beträgt im Durchschnitt ca. 4 Monate. Gealterte oder fehlerhafte Erythrocyten werden in der Milz abgebaut.

Erythrocyten werden von Stammzellen des roten Knochenmarks gebildet. Diese erste Entwicklungsstufe besitzt einen Zellkern und Organellen. In der zweiten Stufe werden besonders viele Ribosomen gebildet. Diese sind verantwortlich für die Bildung von Enzymen zur Synthese des Hämoglobins. In der nächsten Stufe ihrer Entwicklung wird der Zellkern abgebaut.

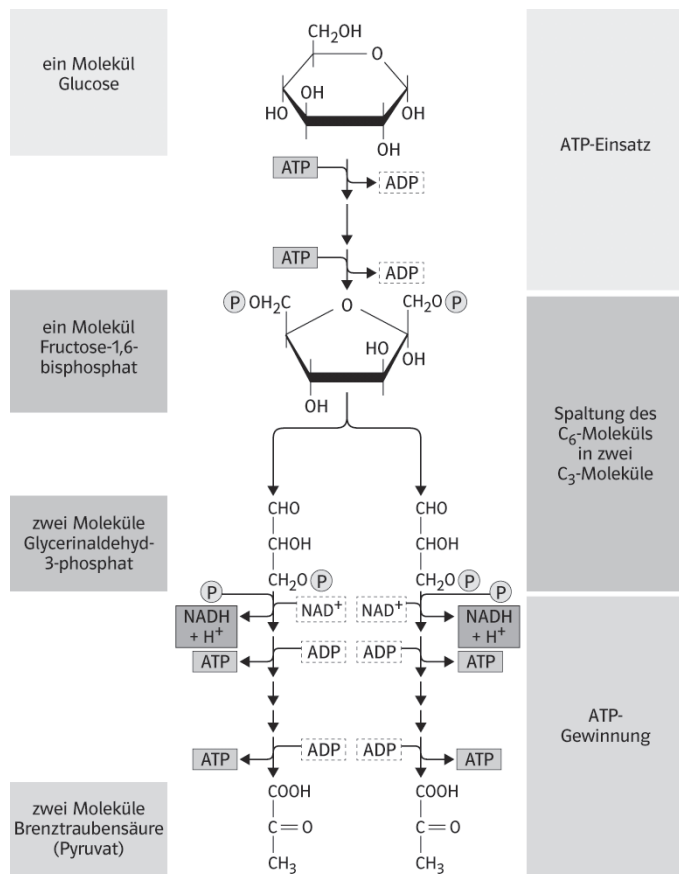
Das Fehlen des Zellkerns ermöglicht eine bessere Verformbarkeit in den engen Kapillaren. Die Synthese des Hämoglobins ist danach abgeschlossen und die Ribosomen, das Endoplasmatische Reticulum sowie die Mitochondrien werden abgegeben. Obwohl Erythrocyten in ihrem Energiestoffwechsel demzufolge nicht auf Mitochondrien zurückgreifen können, besitzen sie einen eigenen Stoffwechsel (Abb. 1).



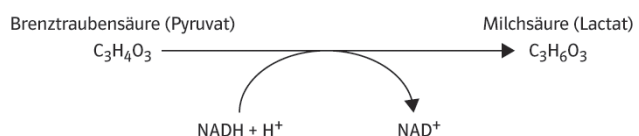
1 Erythrocyt (Stoffwechsel, schematisch)

Sie erhalten ihre Energie (in Form von ATP) aus der Glykolyse (Abb. 2) und der Milchsäuregärung (Abb. 3), die im Zellplasma stattfinden. ATP benötigen sie hauptsächlich für die energieabhängigen Na⁺/K⁺-Pumpen in ihrer Membran. Bei ATP-Mangel können die Ionenpumpen nicht weiterarbeiten.

Die entstandene Milchsäure kann in den Erythrocyten nicht weiter verarbeitet werden, da die meisten Stoffwechselwege durch die fehlenden Organellen nicht vorhanden sind. Milchsäure wird umgebaut, abgegeben und zur Leber transportiert. In der Leber wird die Milchsäure wieder zur Glucose umgebaut und abermals an das Blut abgegeben.



2 Glykolyse (schematischer Überblick)



3 Milchsäuregärung (schematisch)

- 1 Erstellen Sie anhand des Textes ein Schema zu den verschiedenen Schritten der Erythrocytenreifung.
- 2 Erklären Sie anhand des Textes und der Abbildungen, welche Stoffwechselschritte bei der ATP-Gewinnung im Erythrocyten ablaufen und wie viele ATP-Moleküle pro Molekül Glucose gebildet wird.
- 3 Erläutern Sie, weshalb die Milchsäuregärung für den Stoffwechselweg notwendig ist und trotz des vorhandenen Sauerstoffs der anaerobe Weg der ATP-Bildung genutzt werden muss.

ARBEITSBLATT

Erythrocyten brauchen Glucose

Lösungen

- Diese Stufen können grafisch dargestellt werden.

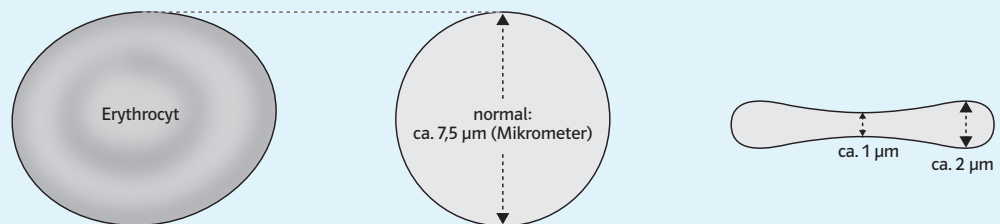
Stufe 1: Bildung aus Stammzellen des roten Knochenmarks. Vollständige Zellen mit Zellkern und Organellen.

Stufe 2: Ribosomenbildung sehr intensiv. Ribosomen sind verantwortlich für den Proteinaufbau (Enzyme) für die Hämoglobinsynthese.

Stufe 3: Zelle verliert Zellkern. Weitere Hämoglobinsynthese.

Stufe 4: Zelle verliert Organellen. Fertiger Erythrocyt.
- Im Zellplasma der Erythrocyten läuft die Glykolyse und die Reaktion zur Milchsäure im Zellplasma ab. Hierbei wird Glukose über die Umbildung zur Fructose in zwei C_3 -Körper gespalten. Für diesen Vorgang werden zwei Moleküle ATP pro Molekül Glukose benötigt. Diese werden jedoch im letzten Schritt der Glykolyse wieder gebildet. Hierdurch wird kein ATP verbraucht, jedoch auch keins gewonnen. Im Schritt vom Phosphoglycerinaldehyd zur Phosphoglycerinsäure wird je C_3 -Molekül ein Molekül ATP gebildet, pro Glucosemolekül, also zwei Moleküle ATP. Für diesen Schritt ist NAD^+ notwendig, das die H^+ -Ionen und Elektronen aufnimmt und zu $NADH+H^+$ umgewandelt wird. Das Endprodukt der Glykolyse ist die Brenztraubensäure, die nach außen abgegeben und weiter verarbeitet wird. In der Reaktion von der Brenztraubensäure zur Milchsäure werden H^+ -Ionen benötigt. Hierbei wird $NADH+H^+$ wieder zu NAD^+ umgewandelt, d.h. regeneriert.
- Erythrocyten transportieren Sauerstoff, trotzdem wird ATP über den anaeroben Prozess gebildet. Der Grund liegt darin, dass in den Erythrocyten keine Mitochondrien vorliegen, sondern nur das Zellplasma, in dem die Glykolyse abläuft. Über diesen Vorgang werden zwei Moleküle ATP gebildet. Die Milchsäuregärung ist notwendig, um die Glykolyse weiterlaufen zu lassen. Bei der ATP-Bildung wird NAD^+ zu $NADH+H^+$ umgewandelt. Wenn alle NAD^+ -Moleküle verbraucht sind, kann die Glykolyse nicht mehr weiterlaufen, auch wenn genügend Glucose vorhanden ist. Es ist daher notwendig, über die Reaktion zur Milchsäure wieder freies NAD^+ zu erhalten.

Zusatzinformation

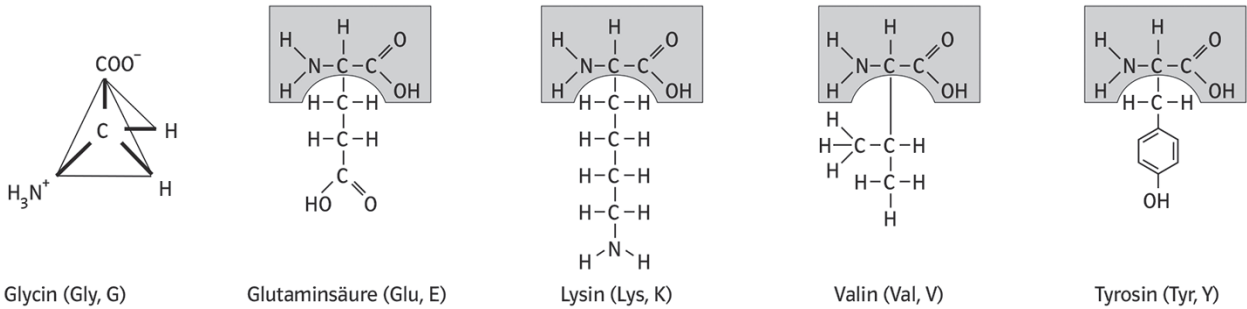


1 Daten zur Größe von Erythrocyten

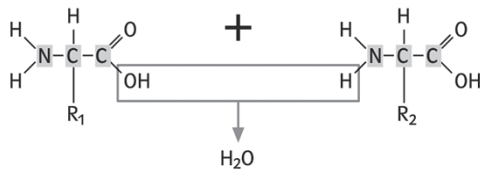
In einem Tropfen Blut (0,1 ml Blut) sind 500 Millionen Erythrocyten enthalten. Ein erwachsener Mensch besitzt 30 Billionen (30.000.000.000.000) Erythrocyten.

Die Struktur der Proteine

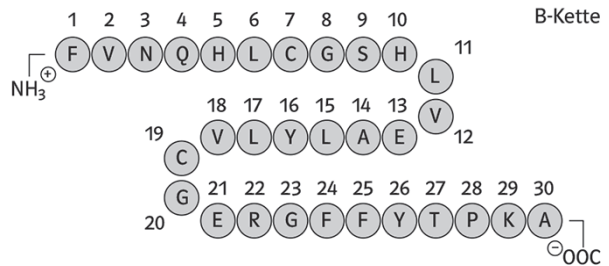
Ausgehend von den Grundbausteinen, den Aminosäuren, unterscheidet man verschiedene Strukturebenen der Proteine, die am Beispiel des Insulins dargestellt sind.



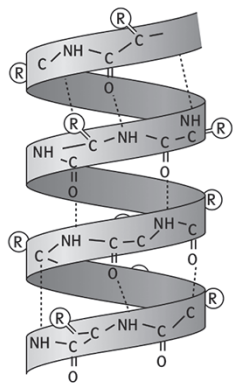
1 Aminosäuren



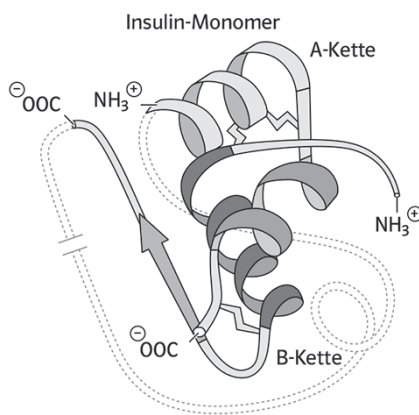
2 Peptidbindung



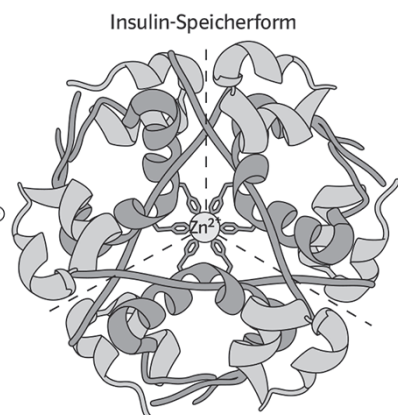
3 Primärstruktur (Ausschnitt aus Insulinmolekül, Aminosäuren im Einbuchstaben-Code)



4 Sekundärstruktur



5 Tertiärstruktur



6 Quartärstruktur

- 1 Nenne in deinem Heft Unterschiede und Gemeinsamkeiten der dargestellten Aminosäuren (Abb. 1).
- 2 Erläutere in deinem Heft das Zustandekommen einer Peptidbindung (Abb. 2).
- 3 Beschreibe in deinem Heft, was man unter einer Primär-, Sekundär-, Tertiär- und Quartärstruktur eines Proteins versteht (Abb. 3 — 6).

ARBEITSBLATT

Die Struktur der Proteine

Lösungen

- Allen gemeinsam ist ein zentrales C-Atom, an dem die Aminogruppe, die Carboxygruppe, ein H-Atom und der für jede Aminosäure charakteristische Rest hängen. Der Rest ist bei den dargestellten Molekülen nur ein H-Atom (Glycin) oder ein sperriges Ringsystem (Tyrosin) bzw. eine saure (Glutaminsäure), basische (Lysin) oder unpolare (Valin) Gruppe.
- Bei der Peptidbindung reagiert die Carboxygruppe der einen Aminosäure mit der Aminogruppe der zweiten Aminosäure unter Wasserabspaltung. Dadurch entsteht das C-C-N-Rückgrat der Proteine, von dem die Reste nach außen abstehen (Abb. 2).
- Primärstruktur (Abb. 3): Abfolge der Aminosäuren (Aminosäuresequenz).
Sekundärstruktur (Abb. 4): räumliche Anordnung der Aminosäureketten (z. B. α -Helix, β -Faltblatt).
Tertiärstruktur (Abb. 5): dreidimensionale Anordnung der Sekundärstrukturen
Quartärstruktur (Abb. 6): Zusammenlagerung mehrerer Tertiärstrukturen zu einer Funktionseinheit (beim Insulin ist dies eine aus 6 Einheiten gebildete Speicherform, die über ein Zn^{2+} -Ion stabilisiert wird).

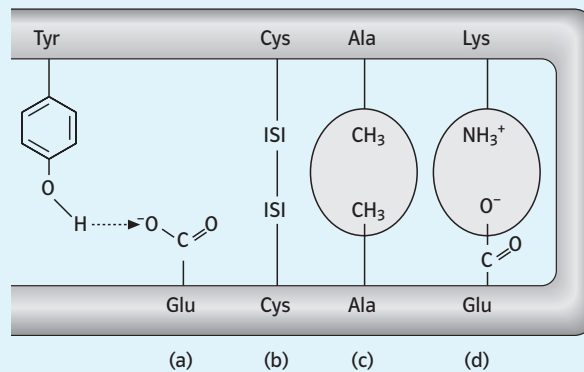
Zusatzinformation

Aufbau der Aminosäuren

Aminosäuren sind organische Verbindungen mit mindestens einer Aminogruppe und einer Carboxygruppe als funktionelle Gruppen. Je nachdem, an welchem Kohlenstoffatom sich die Aminogruppe befindet, unterscheidet man die Klassen der Alpha-, Beta- und Gamma-Aminosäuren. Bei den Alpha-Aminosäuren ist sowohl die Aminogruppe als auch die Carboxygruppe am zweiten Kohlenstoffatom gebunden. Zu dieser Klasse der Aminosäuren gehören auch die 22 der über 500 in der Natur vorkommenden sogenannten biogenen Aminosäuren, die am Aufbau der Proteine beteiligt sind. Der Begriff „Aminosäuren“ wird häufig synonym für diese Gruppe der Aminosäuren verwendet. Die Aminosäuren einer Klasse unterscheiden sich durch ihre Seitenkette. Diese wird auch als Aminosäurerest bzw. kurz Rest (R) bezeichnet.

Zusatzaufgabe

Die Stabilität der Tertiärstruktur wird durch verschiedene Wechselwirkungen zwischen den Aminosäureresten bewirkt (Abb. 1a – d). Benenne die Bindungskräfte.



Lösung: Zwischen den Aminosäureresten können sich Wasserstoffbrückenbindungen (a) oder elektrostatische Wechselbeziehungen (d), Wechselbeziehungen zwischen nichtpolaren Resten (c) oder kovalente Disulfidbrücken (b) ausbilden.

Kompetenzerwerb

Kompetenzbereich „Schwerpunkt Erkenntnisgewinnung“: Die Schülerinnen und Schüler beschreiben die chemische Struktur von Proteinen.

Gegenstandsbereich „Struktur und Funktion“: Die Schülerinnen und Schüler setzen sich mit den verschiedenen Strukturebenen und Bindungsformen innerhalb der Proteine auseinander.

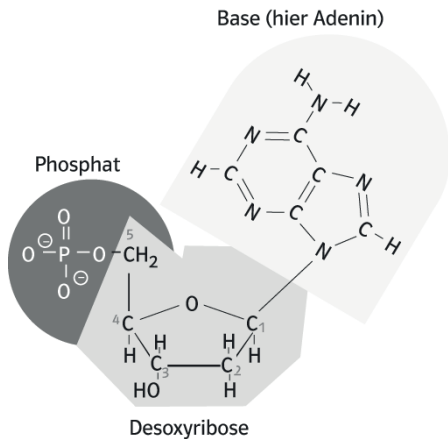
Aufbau und Struktur der DNA

Die Desoxyribonucleinsäure (DNA) zählt zu den Nucleinsäuren. Sie besteht aus miteinander verbundenen Bausteinen, den Nucleotiden. Jedes Nucleotid besitzt drei Bestandteile: eine Phosphatgruppe, ein Zuckermolekül (die Desoxyribose) und eine der vier stickstoffhaltigen Basen Adenin (A), Guanin (G), Thymin (T) oder Cytosin (C).

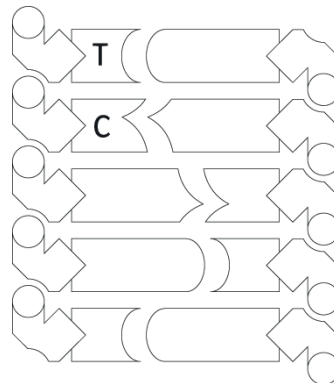
Nach dem Modell von Watson und Crick gleicht der Aufbau der DNA dem einer Leiter. Diese wird von zwei Ketten mit unzähligen Nucleotiden gebildet. Die Holme bestehen aus der Abfolge der Desoxyribose und der Phosphatgruppe der einzelnen Nucleotide. Sie bilden sozusagen das Rückgrat der DNA. Die Sprossen der „DNA-Leiter“ werden von je einer Base der beiden Nucleotidketten gebildet, die so ein Basenpaar bilden und über Wasserstoffbrücken

verbunden sind. Aufgrund der chemischen Struktur paaren immer Adenin und Thymin sowie Cytosin und Guanin miteinander. Durch diese Basenpaarung sind die beiden Nucleotidketten zueinander komplementär, d. h. gegenläufig gleich. Die Base eines jeden Nucleotids ist über die Desoxyribose mit den Holmen der „DNA-Leiter“ verbunden.

Nach dem „Prinzip der komplementären Basenpaarungen“ bestimmt die Reihenfolge der Basen in der einen Kette die Abfolge der Basen in der zweiten Kette. Die „DNA-Leiter“ windet sich schraubenförmig um eine gemeinsame, gedachte Achse. So entsteht die bekannte Doppelhelix-Struktur. Eine vollständige Drehung wird nach 10 Basen bzw. 3,4 nm erreicht. Der Abstand der Phosphate von der Achse beträgt 1 nm.



1 Aufbau eines Nucleotids



2 Aufbau eines Nucleotids

	Adenin	Cytosin	Guanin	Thymin
Mensch (Milz/Leber)	29,9 / 30,3	20,1 / 19,9	19,6 / 19,6	29,8 / 29,3
Rind (Thymus/Spermien)	28,2 / 28,7	21,2 / 20,7	21,5 / 22,2	27,8 / 27,8
Weizenkeim	26,9	23,1	23,5	26,6
Grünalge	20,2	30,2	30,6	19,8

3 Experimentelle Befunde von Chargaff zur prozentualen Häufigkeit der Basen bei verschiedenen Organismen (1950)

- 1 Erkläre, welche Schlüsse Watson und Crick aus den Untersuchungsergebnissen von Chargaff ziehen konnten, indem du diese auswertest (Abb. 3).
- 2 Nutze die Erkenntnisse aus den Untersuchungsergebnissen von Chargaff, um den DNA-Doppelstrang (Abb. 2) mit den Anfangsbuchstaben seiner Bestandteile (A = Adenin, C = Cytosin, G = Guanin, T = Thymin, Z = Zucker, P = Phosphatgruppe) zu beschriften.
- 3 Erstelle nun eine eigene Basensequenz aus mindestens 12 Basen (indem du nur die Anfangsbuchstaben der Basen nennst: z. B. AAT) und lasse einen Mitschüler oder eine Mitschülerin den dazu komplementären DNA-Strang bilden.

Basensequenz: _____

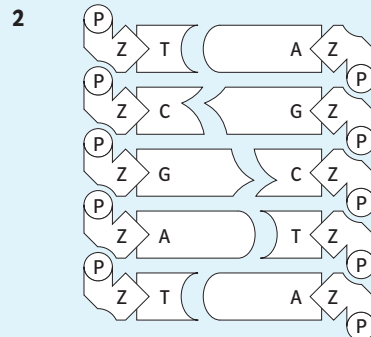
Komplementärer Strang: _____

ARBEITSBLATT

Aufbau und Struktur der DNA

Lösungen

- 1 Beobachtung: In der DNA jeder untersuchten Art ist die prozentuale Häufigkeit der Adeninbasen ungefähr gleich der Häufigkeit der Thyminbasen, und Guanin ist etwa so häufig wie Cytosin. Außerdem variiert das Mengenverhältnis von Art zu Art. Deutung durch WATSON und CRICK: Die Adeninbasen paaren sich mit den Thyminbasen und die Guaninbasen mit den Cytosinbasen und bilden so die Sprossen der DNA-Leiter.



- 3 individuelle Lösung:
z.B. AATTGCGATCCGT und TTAACGCTAGGCA

Praktische Tipps

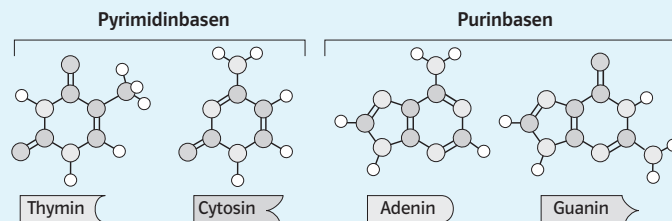
Geben Sie Ihren Schülerinnen und Schülern folgende Eselsbrücken, damit sie sich die Struktur der DNA besser merken können:

- Basen mit eckigen Buchstaben gehören zusammen: **A + T**
- Basen mit runden Buchstaben gehören zusammen: **C + G**
- Thymin und Adenin haben zusammen 12 Buchstaben und werden durch zwei Wasserstoffbrücken verbunden (außerdem ist das Z für zwei auch ein eckiger Buchstabe). Guanin und Cytosin haben zusammen 13 Buchstaben und werden durch drei Wasserstoffbrücken verbunden (außerdem ist das D für drei auch ein runder Buchstabe).

Zusatzinformation

Zur Struktur der DNA

Jedes DNA-Nucleotid enthält eine Phosphatgruppe und eine Desoxyribose, variiert aber in den Basen A, G, C oder T. Innerhalb der Basen unterscheidet man Pyrimidinbasen und Purinbasen. Die Pyrimidine Cytosin und Thymin bestehen aus einem Kohlenstoff-Stickstoff-Ring, die Purine Adenin und Guanin aus jeweils zwei Kohlenstoff-Stickstoff-Ringen.



Zwischen Adenin und Thymin bilden sich zwei Wasserstoffbrücken aus; Cytosin und Guanin sind über drei Wasserstoffbrücken miteinander verknüpft. (Eselsbrücke: Pyrimidinbasen haben ein „y“ im Namen.)

Die Phosphatgruppe eines Nucleotids ist mit dem 3'-Kohlenstoff des Desoxyribosemoleküls des nächsten Nucleotids verbunden. So entsteht eine wechselnde Abfolge von Desoxyribose, Phosphat, Desoxyribose, Phosphat usw. mit einer bestimmten Richtung.

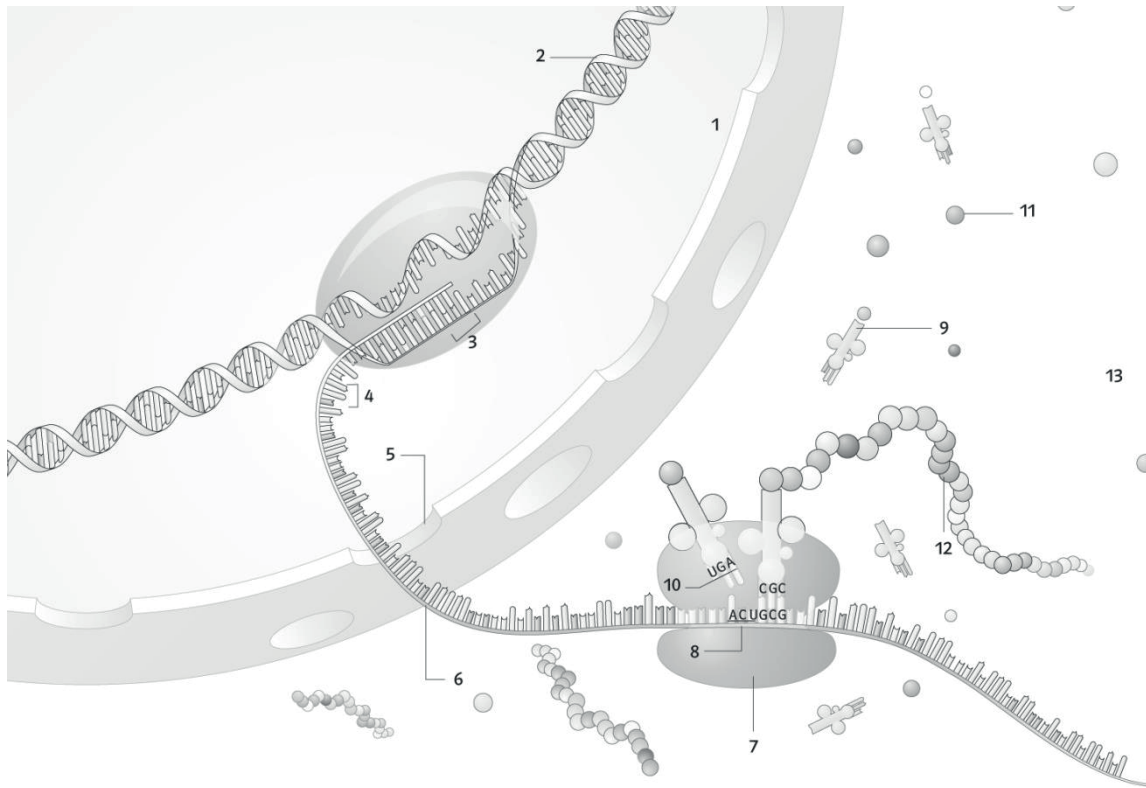
Am 3'-Ende der DNA-Kette liegt eine freie Hydroxy-Gruppe (OH-Gruppe), am 5'-Ende eine freie Phosphat-Gruppe, die beide nicht mit einem anderen Nucleotid verbunden sind.

Basensequenzen werden immer in 5'–3'-Richtung geschrieben: TCGA bedeutet also, dass die freie 5'-Phosphat-Gruppe zum Desoxythymidin und die freie 3'-OH-Gruppe zum Desoxyadenosin gehört.

Von der DNA zum Protein

Damit aus der DNA ein Protein entsteht, das dann als Enzym- oder Strukturprotein für die Ausbildung der Merkmale eines Lebewesens sorgt, sind zwei

aufeinanderfolgende Vorgänge nötig: die Transkription, die im Zellkern stattfindet, und die Translation an den Ribosomen im Zellplasma.



1 Vorgänge bei der Transkription und Translation

- | | |
|---------|----------|
| 1 _____ | 8 _____ |
| 2 _____ | 9 _____ |
| 3 _____ | 10 _____ |
| 4 _____ | 11 _____ |
| 5 _____ | 12 _____ |
| 6 _____ | 13 _____ |
| 7 _____ | |

- 1 Informiere dich und ordne den Zahlen aus der Abbildung (1 bis 13) die entsprechenden Fachbegriffe zu: Aminosäuren, Aminosäurekette, Anticodon, Basentriplett auf der DNA (Codogen), Basentriplett auf der m-RNA (Codon), DNA, Kernpore, m-RNA, Ribosom, t-RNA, Zellkern, Zellplasma.
- 2 Erläutere mithilfe der Abbildung in deinem Heft die Entstehung einer Aminosäurekette (eines Proteins) aus der Basensequenz der DNA.
- 3 Erkläre in deinem Heft die Begriffe „Transkription“ und „Translation“.

ARBEITSBLATT

Von der DNA zum Protein

Lösungen

- 1
 - 1 Zellkern
 - 2 DNA
 - 3 Basentriplett auf der DNA (Codogen)
 - 4 Basentriplett auf der m-RNA (Codon)
 - 5 Kernpore
 - 6 m-RNA
 - 7 Ribosom

- 2 Zunächst werden die beiden DNA-Stränge voneinander getrennt. Nun lagern sich m-RNA-Nucleotide an den Einzelstrang an und es entsteht eine fertige m-RNA (Boten-RNA). Die m-RNA verlässt den Zellkern durch eine der Kernporen. Im Zellplasma lagert sich die m-RNA an ein Ribosom an. Im Zellplasma befinden sich t-RNA-Moleküle, die unterschiedliche Aminosäuren tragen und ein bestimmtes Basentriplett, das Anticodon, besitzen. Nacheinander lagert sich jeweils ein t-RNA-Molekül mit einem passenden Anticodon an das Codon der m-RNA an. Die Aminosäure der t-RNA wird gelöst und an die nachfolgende t-RNA gebunden. So entsteht eine lange Aminosäurekette (ein Protein).

- 3 Bei der Transkription wird ein DNA-Abschnitt in einen m-RNA-Abschnitt umgeschrieben. Bei der Translation wird die Information aus der Sequenz bzw. der Basentriplets des m-RNA-Abschnittes mithilfe der t-RNA in eine Proteinsequenz übersetzt.

Zusatzaufgabe

Lassen Sie Ihre Schülerinnen und Schüler Transkription und Translation tabellarisch vergleichen. Eventuell können Sie die Aufgabe auch auf die Replikation ausdehnen.

	Transkription	Translation	Replikation
Bau und Eigenschaften der Syntheseprodukte	RNA-Einzelstrang eines begrenzten Bereiches (m-RNA), enthält Ribose und Uracil	Aminosäurekette	DNA-Doppelstrang (komplett) enthält Desoxyribose und Thymin
Ort	Zellkern	Ribosom im Zellplasma	Zellkern
Ziel	Erstellen einer Genkopie zur Proteinbiosynthese	Erstellen einer Aminosäurekette	identische Verdopplung des Erbmateriale
Syntheserichtung	5'—3'	—	5'—3'
Ableserichtung	3'—5'	5'—3'	3'—5'

Praktische Tipps

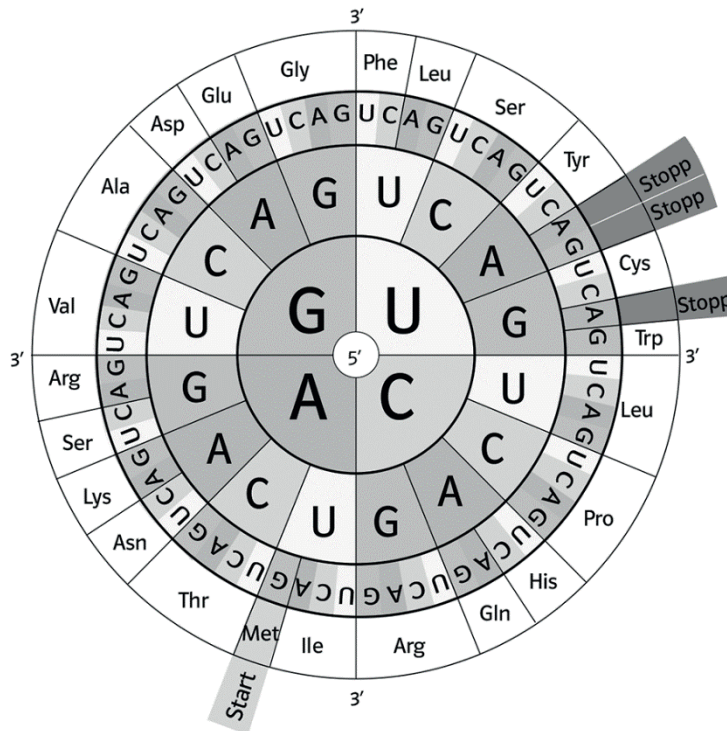
Eine Eselsbrücke zur Syntheserichtung von DNA und RNA:
Von fünf nach drei wächst neue DNA und RNA herbei.

Ein Protein entsteht

Die Bildung eines Proteins bzw. einer Aminosäurekette (Polypeptidkette) beginnt immer dann, wenn das Ribosom auf der m-RNA auf das Startcodon AUG trifft. Dann lagert sich eine t-RNA an, die das Anticodon UAC besitzt und mit der Aminosäure Methionin beladen ist. Anschließend gleitet das Ribosom schrittweise in 5' → 3'-Richtung an der m-RNA entlang. Bei jedem Schritt wandert es um drei Nucleotide weiter und fügt mithilfe der

passenden t-RNA eine Aminosäure an die wachsende Polypeptidkette an. Sobald das Ribosom an ein Stoppcodon (UAA, UAG oder UGA) gelangt, kommt es zum Abbruch der Translation, da es für diese Codons keine t-RNA mit einem passenden Anticodon gibt.

Mithilfe der Codesonne, die von innen nach außen gelesen die Basentriplets der m-RNA angibt, kannst du ablesen, welche Aminosäure jeweils angelagert wird.



1 Codesonne für m-RNA-Triplets

- 1 Erstelle zu dem codogenen Strang der DNA die passende m-RNA. Bedenke, dass in der RNA die Base Uracil statt Thymin verwendet wird.
Codogener Strang DNA: 3' AAC TAC CGA TGA CTA TGG AGA ACC CAC TCG GGT TGC ACT AAA 5'

m-RNA: 5' _____ 3'

- 2 Bilde nun mithilfe der Codesonne die Aminosäure-Sequenz, die bei der Translation der m-RNA aus Aufgabe 1 entsteht. Beginne mit dem Startcodon.

- 3 Gib zu folgender Aminosäure-Sequenz zwei unterschiedliche m-RNA Sequenzen an. Markiere die Nucleotide farblich, bei denen du wählen konntest.

Met Val Leu Gln Ser Phe Arg Ala His Cys Lys Stopp

1. m-RNA: _____

2. m-RNA: _____

ARBEITSBLATT

Ein Protein entsteht

Lösungen

1 5' UUG AUG GCU ACU GAU ACC UCU UGG GUG AGC CCA ACG UGA UUU 3'

2 (Met) Ala Thr Asp Thr Ser Trp Val Ser Pro Thr Stopp

3 1. m-RNA: mögliche Lösung:
AUG GUA UUA CAA AGC UUU CGA GCG CAC UGU AAG UGA

2. m-RNA: weitere mögliche Lösungen, s. Zusatzaufgabe unten

Zusatzinformation

Die Experimente von Nirenberg und Khorana (ab 1961)

Um aufzuklären, welche Aminosäure einem bestimmten m-RNA-Triplett entspricht, wurden von M. NIRENBERG und G. KHORANA künstliche m-RNAs mit bekannter Nucleotidsequenz konstruiert. Diese wurden zu einem zellfreien In-vitro-System gegeben, das ein Cytoplasma-ähnliches Medium und Ribosomen enthielt, sodass eine Proteinsynthese aus einzelnen Aminosäuren möglich war. Nach einiger Zeit konnten aus dem Gemisch neu synthetisierte Polypeptide isoliert werden, die nach der Anweisung der künstlichen m-RNA aufgebaut worden waren. In der folgenden Tabelle finden sich einige Ergebnisse der Versuche. Links angegeben stehen die eingesetzten synthetischen m-RNA-Moleküle, rechts die dazu aufgebauten Polypeptide. Da die künstlichen m-RNAs regelmäßige Polynucleotide enthalten, genügt es, ihre sich ständig wiederholenden Bausteine anzugeben. Poly-U bedeutet also eine RNA nur aus Uracil-Nucleotiden (... UUUUUU ...), Poly-AC eine, in der sich regelmäßig immer Adenin- und Cytosin-Nucleotide abwechseln (... ACACAC ...).

Versuch Nr.	m-RNA	entstandene Polypeptide
1	Poly-U	... — Phe — Phe — Phe — Phe — Phe — Phe — ...
2	Poly-A	... — Lys — Lys — Lys — Lys — Lys — Lys — ...
3	Poly-C	... — Pro — Pro — Pro — Pro — Pro — Pro — ...
4	Poly-G	... — Gly — Gly — Gly — Gly — Gly — Gly — ...
5	Poly-AC	... — Thr — His — Thr — His — Thr — His — ...
6	Poly-AAC	... — Asn — Asn — Asn — Asn — Asn — Asn — ... oder ... — Thr — Thr — Thr — Thr — Thr — Thr — ... oder ... — Gln — Gln — Gln — Gln — Gln — Gln — ...
7	Poly-ACC	... — Thr — Thr — Thr — Thr — Thr — Thr — ... oder ... — Pro — Pro — Pro — Pro — Pro — Pro — ... oder ... — His — His — His — His — His — His — ...

Aus den Versuchen 1—4 ergibt sich folgende eindeutige Zuordnung von Basentriplets und Aminosäuren: UUU — Phenylalanin; AAA — Lysin; CCC — Prolin; GGG — Glycin. Aus den Versuchen 5 bis 7 ergeben sich zunächst keine eindeutigen Zuordnungen. Vergleicht man jedoch diese Ergebnisse, kann man ACA eindeutig der Aminosäure Threonin zuordnen, da sowohl dieses Triplett als auch diese Aminosäure in Versuch 5 und 6 vorkommen. Ebenso kann man CAC der Aminosäure Histidin zuordnen, da hier Triplett und Aminosäure in den Versuchen 5 und 7 vorkommen. Mit weiteren Versuchen dieser Art gelang es letztendlich, allen Basentriplets eine Aminosäure zuzuordnen und so die Codesonne zu erstellen.

Zusatzaufgabe

Gib zu folgenden Aminosäuren jeweils alle möglichen m-RNA-Triplets an.
Met Val Leu Gln Ser Phe Arg Ala His Cys Lys Stopp

Lösung:

Met: AUG	Arg: AGA, AGG, CGA, CGC, CGG, CGU
Val: GUA, GUC, GUG, GUU	Ala: GCA, GCC, GCG, GCU
Leu: CUA, CUC, CUG, CUU, UUA, UUG	His: CAC, CAU
Gln: CAA, CAG	Cys: UGC, UGU
Ser: AGC, AGU, UCA, UCC, UCG, UCU	Lys: AAA, AAG
Phe: UUC, UUU	Stopp: UAA, UAG, UGA

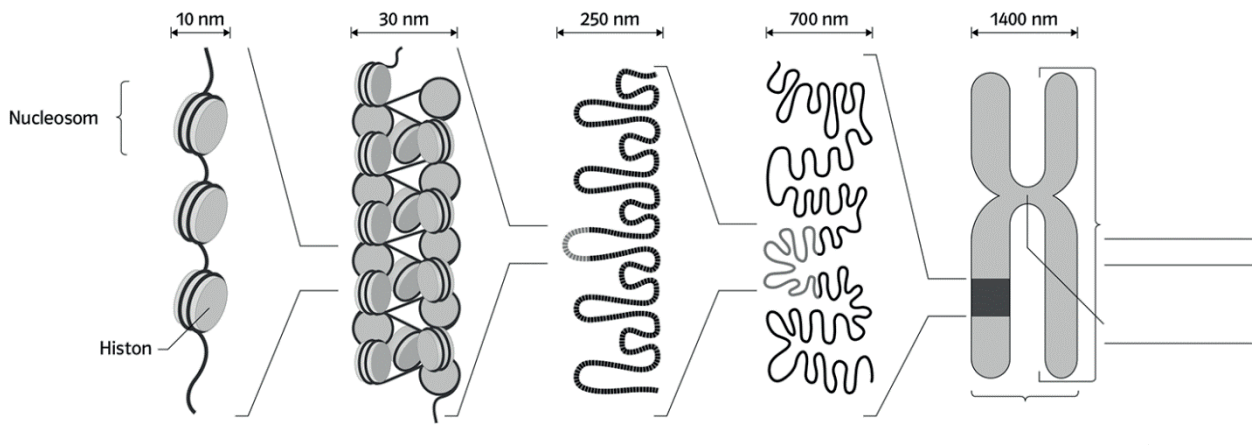
Kompetenzerwerb

Kompetenzbereich „Schwerpunkt Fachwissen“: Die Schülerinnen und Schüler wenden die Codesonne an, um DNA-Sequenzen in Aminosäuresequenzen zu übersetzen.
Gegenstandsbereich „Reproduktion“: Die Schülerinnen und Schüler können erklären, wie die Basensequenz der DNA in funktionsfähige Proteine, die zur Merkmalsausprägung beitragen, übersetzt wird.

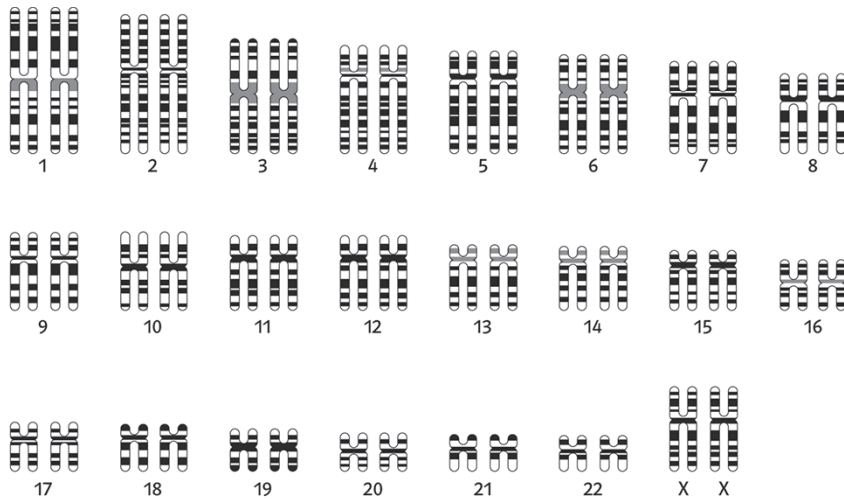
Chromosomen enthalten das genetische Material

Das genetische Material befindet sich im Zellkern. Dort liegt es die meiste Zeit in langen fadenförmigen Strängen, dem sogenannten Chromatin, vor. In diesem Zustand kann das genetische Material abgelesen und verdoppelt werden. Erst mit Beginn der Zellteilung verdichtet sich (kondensiert) das genetische Material. Die Stränge verkürzen sich durch Schraubung sowie Faltung stark und werden im Lichtmikroskop als Chromosomen sichtbar. Ein Chromatinfaden ist zunächst zweimal um kugelige Proteine, sogenannte Histone, gewickelt. Mit diesen Nucleosomen erinnert das genetische Material an eine Perlschnurkette, die nun wiederholt gefaltet und in Schleifen gelegt wird, bis ein kompaktes Einzelchromosom entsteht.

Kurz vor der Zellteilung besteht ein Chromosom insgesamt aus zwei Einzelchromosomen, die zwei identische Hälften bilden. Beide Einzelchromosomen sind am Centromer miteinander verbunden. Daher spricht man auch von einem Zwei-Chromatid-Chromosom. Die gesamte Anzahl der Chromosomen einer Zelle wird als Chromosomensatz bezeichnet. Seit 1956 ist es möglich, den menschlichen Chromosomensatz sichtbar zu machen und geordnet als sogenanntes Karyogramm darzustellen.



1 Packungszustände des genetischen Materials



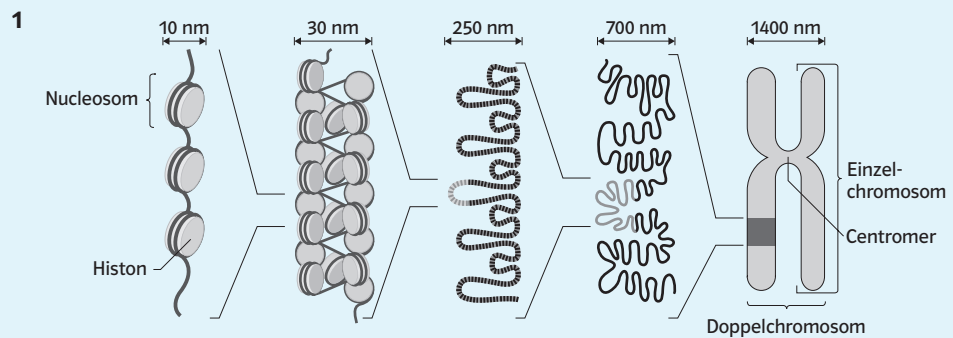
2 Karyogramm eines Menschen

- 1 Beschrifte die Abbildung mit den Packungszuständen des genetischen Materials mithilfe des Textes.
- 2 Definiere die Begriffe „Chromatin“, „Einzelchromosom“, „Zwei-Chromatid-Chromosom“ und „Centromer“ in deinem Heft.
- 3 Beschreibe das Karyogramm eines Menschen in deinem Heft.

ARBEITSBLATT

Chromosomen enthalten das genetische Material

Lösungen



- 2 Chromatin: in langen fadenförmigen Strängen vorliegendes gesamtes genetisches Material des Zellkerns
 Einzelchromosom: der eine von zwei identischen Teilen eines Doppelchromosoms
Anmerkung: Zustand der Chromosomen, in dem das genetische Material genutzt werden kann
 Doppelchromosom: liegt kurz vor der Zellteilung vor und besteht aus zwei identischen Einzelchromosomen
 Centromer: verbindet die beiden Einzelchromosomen eines Doppelchromosoms
- 3
- Die Chromosomen liegen jeweils paarweise, gleich aussehend vor.
 - Die Chromosomen verschiedener Paare unterscheiden sich in ihrer Größe, ihrer Form, der Lage des Centromers und ihres Bandenmusters.
 - Die Chromosomen werden der Größe nach geordnet.

Praktische Tipps

Größeneinheiten

Wiederholen Sie mit Ihren Schülerinnen und Schülern die Größeneinheiten im Mikrobereich.

1 cm = 10 mm

1 mm = 1000 μ m = 1 000 000 nm

Zusatzinformation

Durchschnittliche Chromosomengröße eines Menschen

Die gesamte Länge des genetischen Materials in einer menschlichen Zelle beträgt hintereinander gelegt ca. 2,04 m. Durch die Packung des genetischen Materials in 46 Chromosomen verkürzt sich dieses auf 1/8000 der ursprünglichen Länge. Berechne die durchschnittliche Länge eines menschlichen Chromosoms.

Lösung:

204 cm : 8000 = 0,0255 cm = 0,255 mm.

Verteilt auf 46 Chromosomen: 0,255 mm : 46 = 0,0055435 mm = 5,5435 μ m = 5543,5 nm

Kompetenzerwerb

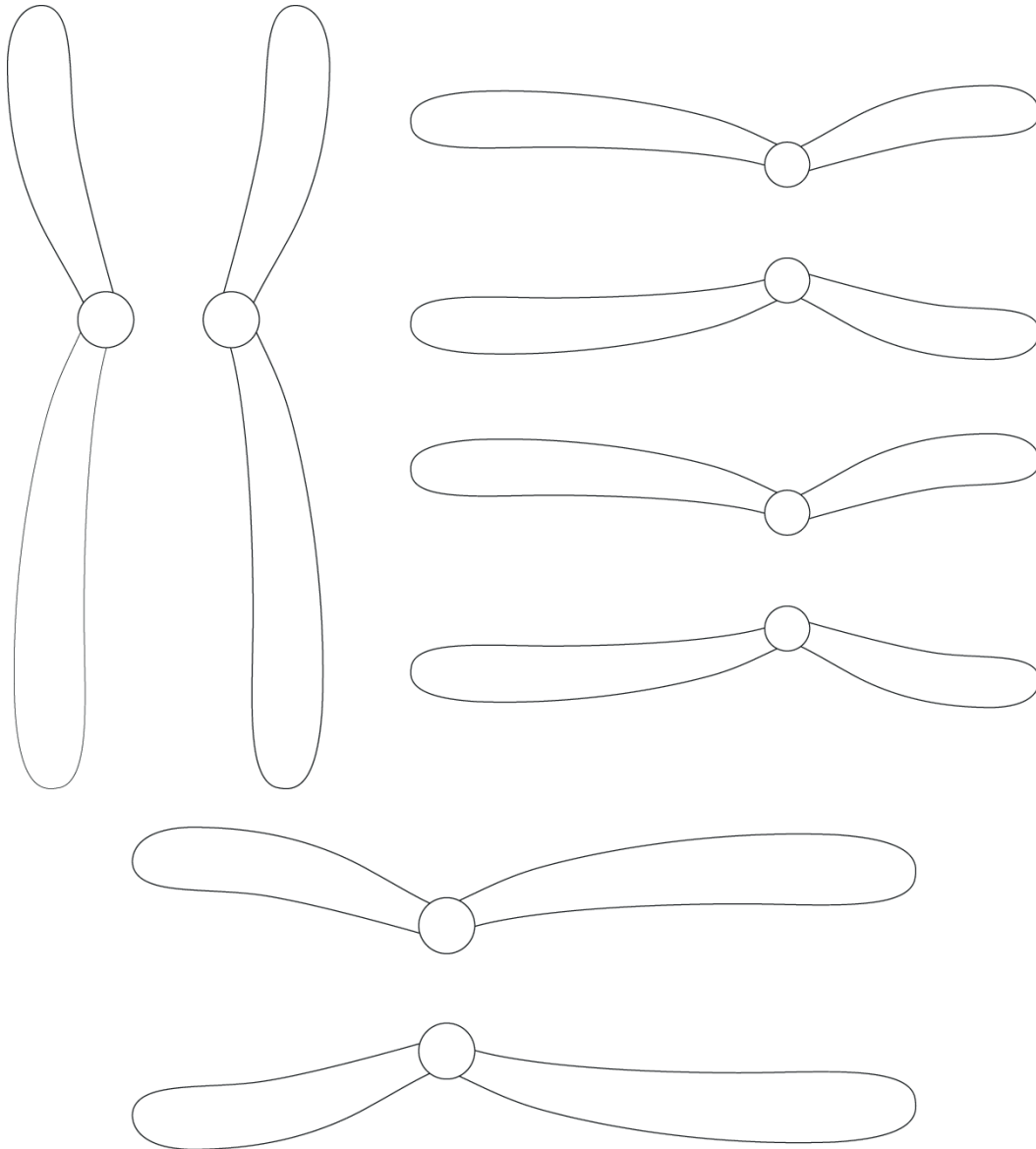
Kompetenzbereich „Schwerpunkt Fachwissen“: Die Schülerinnen und Schüler beschreiben die Packung der Erbinformation zu Chromosomen und nennen Gemeinsamkeiten sowie Unterschiede zwischen den Chromosomen im Karyogramm.

Gegenstandsbereich „Struktur und Funktion“: Die Schülerinnen und Schüler beschreiben, dass das genetische Material entweder in einer Transport- oder einer Arbeitsform vorliegt.

Chromosomen zum Ausschneiden

Vorgänge lassen sich besonders gut verstehen und erklären, indem man sie mithilfe von Bildern oder einem Modell nachstellt, auch wenn man die Wirklichkeit dabei meistens nicht vollständig abbilden kann.

Mit den hier abgebildeten Einzelchromosomen von insgesamt vier Doppelchromosomen kannst du die mitotische Teilung einer Zelle darstellen.



- 1 Male die vier verschiedenen Doppelchromosomen mit Buntstiften in vier verschiedenen Farben aus. Schneide die Einzelchromosomen aus, stelle die Prophase dar und dokumentiere sie.
- 2 Stelle anschließend die anderen Phasen der Mitose dar und dokumentiere sie auch jeweils.

ARBEITSBLATT**Chromosomen zum Ausschneiden****Lösungen**

1 und 2 s. Schülerbuch S. 47, Abbildung 3, Positionen 1–4

Praktische Tipps**Hinweis zum Arbeitsblatt**

Dokumentation: Wie die Schülerinnen und Schüler die einzelnen Phasen dokumentieren, hängt von den Gegebenheiten ab. So können diese z. B. mit dem Smartphone fotografiert werden (s. Praktische Tipps „Einsatz des Smartphones“) oder abgezeichnet werden.

Meiose: Dieses Arbeitsblatt kann in abgewandelter Weise auch eingesetzt werden, wenn die Meiose behandelt wird).

Verfeinerung des Modells

Teilen Sie an die Schülerinnen und Schüler DIN-A3-Blätter aus und lassen Sie sie auf diese Kreise zeichnen, die die Zelle symbolisieren. Mithilfe dieser Kreise lassen sich die einzelnen Phasen der Mitose (Meiose) besser verdeutlichen, da die Schülerinnen und Schülern nun auch die Spindeln und Spindelfasern einzeichnen und die Zellteilung (Cytokinese) verdeutlichen können.

Darstellung an der Tafel oder auf dem Overheadprojektor

Wenn Sie die Chromosomen auf dem Arbeitsblatt mit dem Kopierer vergrößern und sie nach dem Ausschneiden mit Magnetklebeband versehen, können Sie die Modelle auch an einer Magnettafel verwenden. Diese Vorgehensweise bietet sich zur Sicherung an. Auch auf dem Overheadprojektor ist die Vorstellung der Ergebnisse vor der ganzen Klasse möglich. Kopieren Sie dazu das Arbeitsblatt einfach auf Folie.

Einsatz des Smartphones

Da die meisten Schülerinnen und Schüler heute ein Smartphone besitzen, bietet es sich an, es an dieser Stelle für die Präsentation der Unterrichtsergebnisse einzusetzen. Lassen Sie die Schülerinnen und Schüler dazu Fotos von den einzelnen Phasen machen. Diese können anschließend z. B. per Kabel oder E-Mail auf einen Rechner übertragen und präsentiert werden.

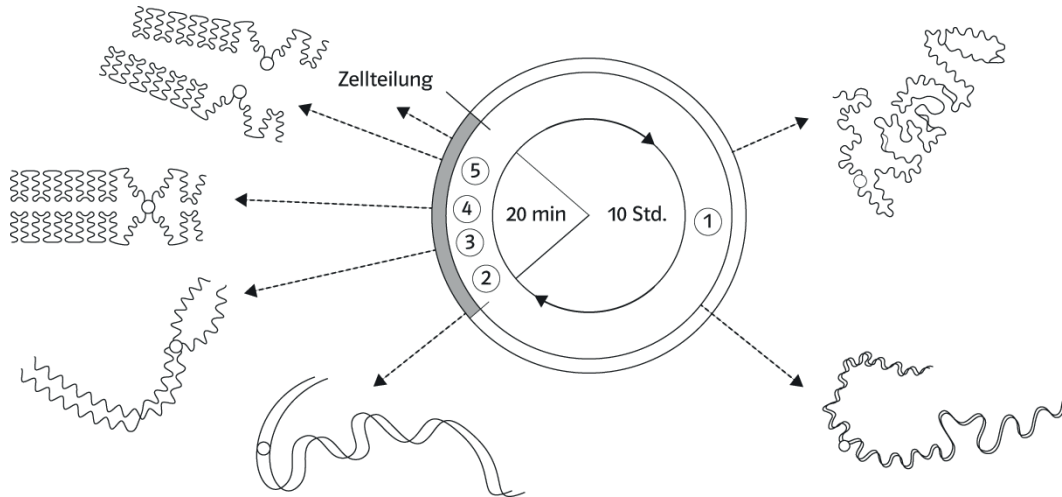
Sie können die Schülerinnen und Schüler auch ein Stopp-Motion-Video der Mitose- (oder Meiose-) vorgänge erstellen lassen. Dazu müssen die Schülerinnen und Schüler ihre Chromosomen zwischen zwei Fotos jeweils ein wenig verschieben. Da die Herstellung des Videos relativ lange dauert, bietet sich diese Aufgabe auch als eine zusätzliche Hausaufgabe oder eine Ersatzleistung an.

Modellkritik

Sprechen Sie mit Ihren Schülerinnen und Schülern darüber, dass die ausgeschnittenen Chromosomen als Modell nicht vollständig die Wirklichkeit abbilden. So bleibt z. B. bei diesem Modell die molekulare Struktur der Chromosomen unberücksichtigt (und es ist bei der Meiose kein Crossingover möglich). Zudem stehen die vier Doppelchromosomen für einen beliebigen Chromosomensatz.

Der Zellzyklus

Wenn ein Lebewesen wächst oder sein Körper eine Verletzung reparieren muss, dann müssen sich seine Zellen auch teilen. Bei der Kernteilung, die Mitose genannt wird, ist es wichtig, dass jede Tochterzelle mit dem kompletten genetischen Material ausgestattet wird. Daher wird es vor jeder Zellteilung am Ende der sogenannten Interphase verdoppelt. Anschließend läuft die Mitose mit ihren vier Phasen ab und dann beginnt wiederum die Interphase, in der die Zellen auf die Größe der Mutterzelle heranwachsen, bevor es zu einer erneuten Teilung kommt.



Phase	Beschreibung	Abbildung
1	Telophase: In dieser Phase werden zwei Kernhüllen gebildet und es kommt zur Teilung des Cytoplasmas (Cytokinese). Außerdem beginnen sich die Einzelchromosomen zu entspiralisieren.	
2	Anaphase: Nun werden die beiden Chromatiden eines Doppelchromosoms am Centromer getrennt. Je ein Einzelchromosom wird zu einem Zellpol gezogen.	
3	Prophase: Die Doppelchromosomen verdichten sich (kondensieren) und werden als Chromosomen sichtbar. Der Spindelapparat bildet sich aus.	
4	Interphase: Dies ist der Abschnitt zwischen zwei Mitosen. Hier findet das Wachstum der Zelle und anschließend die Verdopplung der Erbsubstanz statt.	
5	Metaphase: Hier ordnen sich die Doppelchromosomen in der Äquatorialebene an und die Spindelfasern nehmen Kontakt zu den Centromeren auf.	

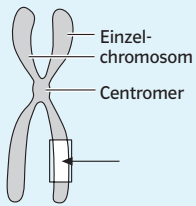
- 1 Benenne die Phasen 1–5 des Zellzyklus, indem du sie mit den richtigen Beschreibungen verbindest.
- 2 Ordne anschließend auch die passenden Bilder den Phasen und Beschreibungen zu.
- 3 Begründe, dass die genaue Verteilung der Einzelchromosomen auf beide Zellen so wichtig ist.

ARBEITSBLATT

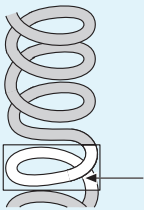
Der Zellzyklus

Lösungen

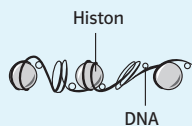
Chromosom in der Metaphase



2 Einzelchromosomen bilden ein Chromosom



Der Chromatinfaden bildet Schleifenstrukturen



Der DNA-Faden ist zur Stabilisierung um Histone gewickelt.

1 und 2

Phase	Beschreibung	Abbildung
1	Telophase: In dieser Phase werden zwei Kernhüllen gebildet und es kommt zur Teilung des Cytoplasmas (Cytokinese). Außerdem beginnen sich die Einzelchromosomen zu entspiralisieren.	
2	Anaphase: Nun werden die beiden Chromatiden eines Doppelchromosoms am Centromer getrennt. Je ein Einzelchromosom wird zu einem Zellpol gezogen.	
3	Prophase: Die Doppelchromosomen verdichten sich (kondensieren) und werden als Chromosomen sichtbar. Der Spindelapparat bildet sich aus.	
4	Interphase: Dies ist der Abschnitt zwischen zwei Mitosen. Hier findet das Wachstum der Zelle und anschließend die Verdopplung der Erbsubstanz statt.	
5	Metaphase: Hier ordnen sich die Doppelchromosomen in der Äquatorialebene an und die Spindelfasern nehmen Kontakt zu den Centromeren auf.	

3 Wenn in einer der beiden Tochterzellen Einzelchromosomen fehlen, dann fehlen bestimmte Teile des genetischen Materials, sodass wichtige Funktionen nicht mehr ausgeführt werden. Die Zelle kann nicht überleben.

Praktische Tipps

Eselsbrücke für den Zellzyklus

Um sich die Phasen des Zellzyklus besser merken zu können, bieten sich folgende Merksätze als Eselsbrücken an:

Ich plaudere munter am Telefon oder *Ich protokolliere Mitose am Telefon.*

Interphase — Prophase — Metaphase — Anaphase — Telophase.

Zusatzinformation

Zustand der DNA während der Mitose (s. Randabbildung)

In der Prophase liegen die Chromosomen als dünne, fädige Strukturen vor. Da die Replikation bereits erfolgt ist, bestehen sie jeweils aus zwei Einzelchromosomen und bilden sogenannte Doppelchromosomen. Am Ende der Prophase kondensieren die Doppelchromosomen. Sie werden durch Histone, bindende Proteinmoleküle, aufgewickelt und verdreht, sodass sie sich verkürzen, verdicken und letztendlich sichtbar werden. In der Metaphase ordnen sich die Doppelchromosomen in der Äquatorialebene an. Hier werden sie in der Anaphase von den Spindelfasern, die an den Centromeren sitzen, in zwei Einzelchromosomen getrennt und dann zu den entgegengesetzten Zellpolen gezogen. Dort beginnen die Einzelchromosomen zu dekondensieren, sodass sie nach Abschluss der Telo- und Interphase wieder erneut repliziert werden können.

Ohne die starke Kondensation der Chromosomen wäre eine korrekte Trennung und Verteilung der Einzelchromosomen nicht möglich, da die Chromosomen sehr lang sind. Das längste menschliche Chromosom ist im dekondensierten Zustand ca. 7,3 cm, im kondensierten Zustand während der Metaphase jedoch nur noch 10 µm lang.

Zusatzaufgabe

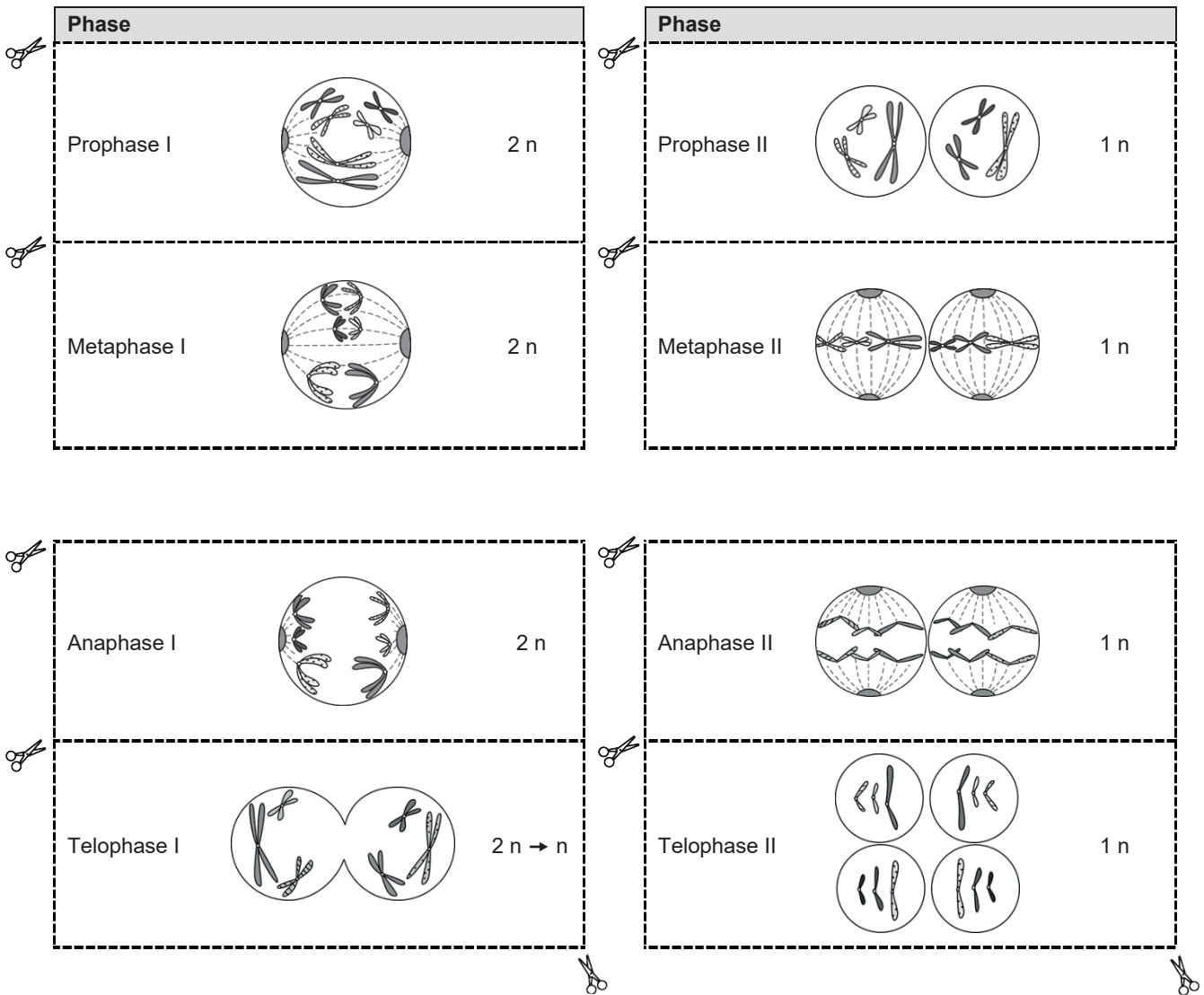
Berechne, wie viele Zellen aus einer einzigen Zelle an einem Tag entstehen können, wenn sich die Zellen jede Stunde teilen.

Lösung: $2^{24} = 16\,777\,216$, also ca. 17 Millionen

Die Meiose

Die Meiose wird auch als Reduktionsteilung bezeichnet, da während der meiotischen Teilung I und II aus Zellen mit doppeltem Chromosomensatz (diploiden Zellen) haploide Spermien und Eizellen (mit einfachem Chromosomensatz) gebildet werden. In der ersten meiotischen Teilung wird der diploide Chromosomensatz halbiert.

In der zweiten meiotischen Teilung findet die Aufspaltung der Doppelchromosomen statt. Würde der Chromosomensatz nicht halbiert, würde sich mit jedem Nachkommen die Chromosomenanzahl verdoppeln. Zusätzlich werden die homologen Chromosomen der Eltern bei der geschlechtlichen Fortpflanzung zufällig verteilt, sodass sich bei der Neukombination des Erbguts (Rekombination) die genetische Variabilität erhöht.



- 1 Schneide die Phasen mit ihren Bildern aus und klebe sie untereinander in dein Heft. Beschreibe neben den Bildern die Vorgänge, die während der ersten und zweiten meiotischen Teilung stattfinden.
- 2 Vergleiche Mitose und Meiose tabellarisch in deinem Heft miteinander, indem du Gemeinsamkeiten und Unterschiede angibst. Gehe dabei auf folgende Aspekte ein: Ort, Verdopplung der Erbinformation, Anzahl und Art der Teilungen, Paarung homologer Chromosomen, Art und Anzahl der Tochterzellen, Chromosomensatz der Tochterzellen, Bedeutung des Vorgangs.

ARBEITSBLATT

Die Meiose

Lösungen

1 siehe Tabelle

Phase		Vorgänge	Phase		Vorgänge
Prophase I	2n	Erbmaterial kondensiert zu Doppelchromosomen. Kernhülle wird aufgelöst. Spindelapparat beginnt sich auszubilden. Homologe Doppelchromosomen ordnen sich paarweise an.	Prophase II	1n	Kernhülle wird aufgelöst. Spindelapparat beginnt sich auszubilden.
Metaphase I	2n	Homologe Doppelchromosomen-Paare ordnen sich in der Äquatorialebene an.	Metaphase II	1n	Doppelchromosomen ordnen sich in der Äquatorialebene an.
Anaphase I	2n	Homologe Doppelchromosomen werden voneinander getrennt und wandern zu den Polen.	Anaphase II	1n	Doppelchromosomen werden getrennt und wandern zu den Zellpolen.
Telophase I	2n → n	Spindelapparat löst sich auf. Kernhüllen werden gebildet. Die Zellteilung findet statt. Zwei Tochterzellen entstehen (haploid, Doppelchromosomen).	Telophase II	1n	Spindelapparat löst sich auf. Kernhüllen werden gebildet. Vier Tochterzellen entstehen (haploid, Einzelchromosomen).

2

	Mitose	Meiose
Ort	Körperzellen im Wachstum	Keimzellen in den Keimdrüsen
Verdopplung der Erbinformation	ja	ja
Anzahl und Art der Teilungen	eine Teilung	zwei Teilungen, eine Reduktionsteilung (erste meiotische Teilung)
Paarung homologer Chromosomen	nein	ja
Anzahl und Art der Tochterzellen	zwei (genetisch identisch)	vier (nicht genetisch identisch)
Chromosomensatz der Tochterzellen	diploid (2n)	haploid (1n)
Bedeutung des Vorgangs	Wachstum, Regeneration, ungeschlechtliche Fortpflanzung	Bildung haploider Geschlechtszellen führt zur Aufrechterhaltung der Chromosomenanzahl bei der geschlechtlichen Fortpflanzung, Rekombination.

Zusatzaufgabe

Berechne, wie viele Kombinationsmöglichkeiten der homologen Chromosomen es bei der Bildung menschlicher Geschlechtszellen gibt.
 2^n Kombinationsmöglichkeiten → $2^{23} = 8,4$ Millionen

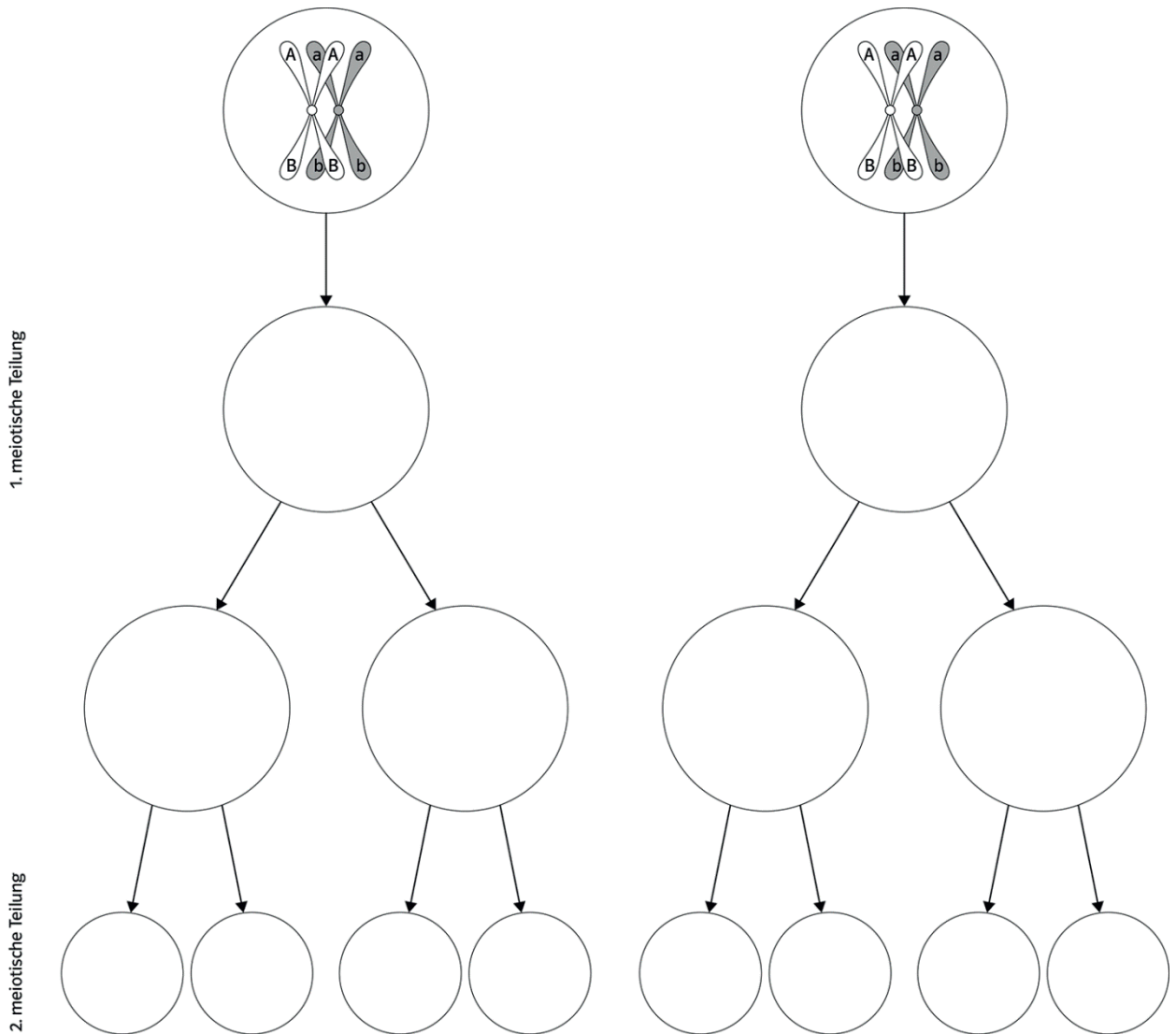
Kompetenzerwerb

Kompetenzbereich „Schwerpunkt Fachwissen“: Die Schülerinnen und Schüler beschreiben die Phasen während der ersten und zweiten meiotischen Teilung.
Basiskonzept „Reproduktion“: Die Schülerinnen und Schüler erkennen die Notwendigkeit der Reduktion der Chromosomen während der Bildung der Keimzellen auf einen haploiden Satz.

Crossingover

Während der Prophase I liegen die homologen Doppelchromosomenpaare so dicht zusammen, dass manchmal Chromosomenteile zwischen den homologen Chromosomen ausgetauscht werden. Dies passiert immer dann, wenn es zu Überkreuzungen, sogenannten Chiasmen, kommt. Diesen Vorgang, der dazu beiträgt, dass es bei den Keimzellen noch mehr als $2n$ Kombinationsmöglichkeiten gibt, bezeichnet man als Crossingover.

Beim Crossingover werden allele Gene zwischen dem „väterlichen“ und dem entsprechenden „mütterlichen“ Einzelchromosom ausgetauscht. Man bezeichnet dies auch als einen Kopplungsbruch, da normalerweise gemeinsam vererbte (gekoppelte) Gene voneinander getrennt werden.



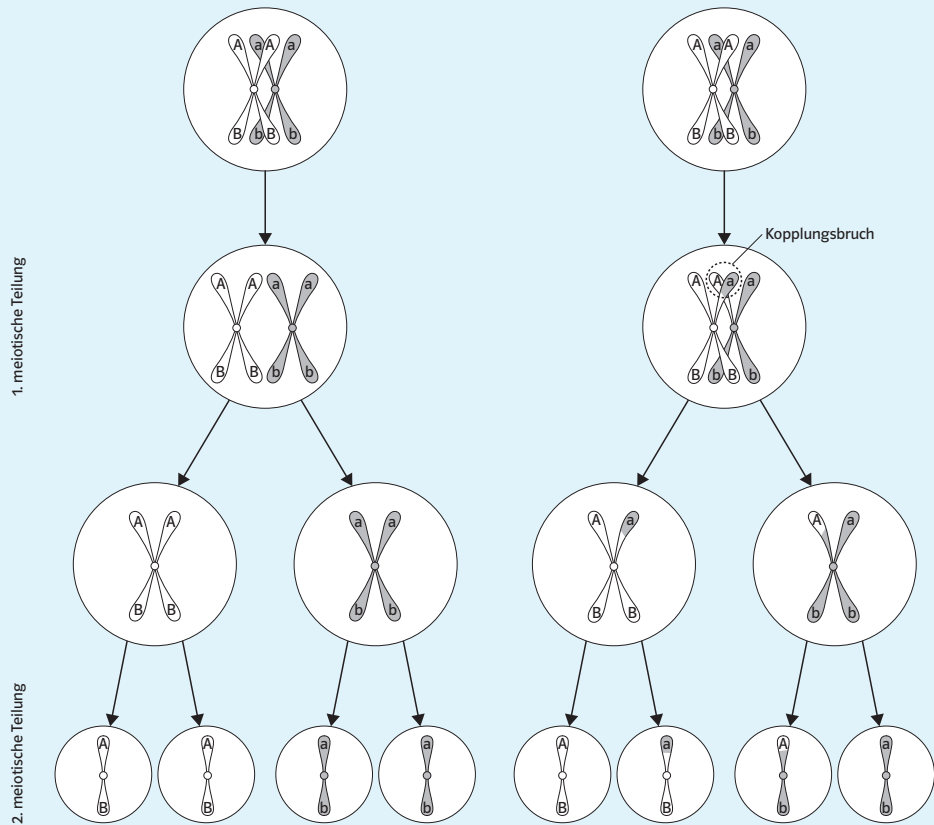
- 1 Zeichne zunächst in das linke Schema den normalen Verlauf bei der Meiose ein.
- 2 Zeichne dann in das rechte Schema ein, wie die Keimzellen nach einem Kopplungsbruch unter den allelen Genen A/a aussehen.
- 3 Stelle eine begründete Vermutung auf, wie die Entfernung der Gene auf einem Einzelchromosom mit der Wahrscheinlichkeit für einen Kopplungsbruch zusammenhängt.

ARBEITSBLATT

Crossingover

Lösungen

1 und 2



3 Je weiter die beiden gekoppelten Gene voneinander entfernt sind, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass zwischen ihnen ein Kopplungsbruch und ein Crossingover stattfinden.

Praktische Tipps

Rekombination und Mutation

Sollten Sie bereits auch Mutationen behandelt haben, dann weisen Sie Ihre Schülerinnen und Schüler darauf hin, dass die genetische Vielfalt in erster Linie durch die Rekombination der Chromosomen und nicht durch Mutationereignisse entsteht.

Zusatzinformation

Gekoppelte Gene

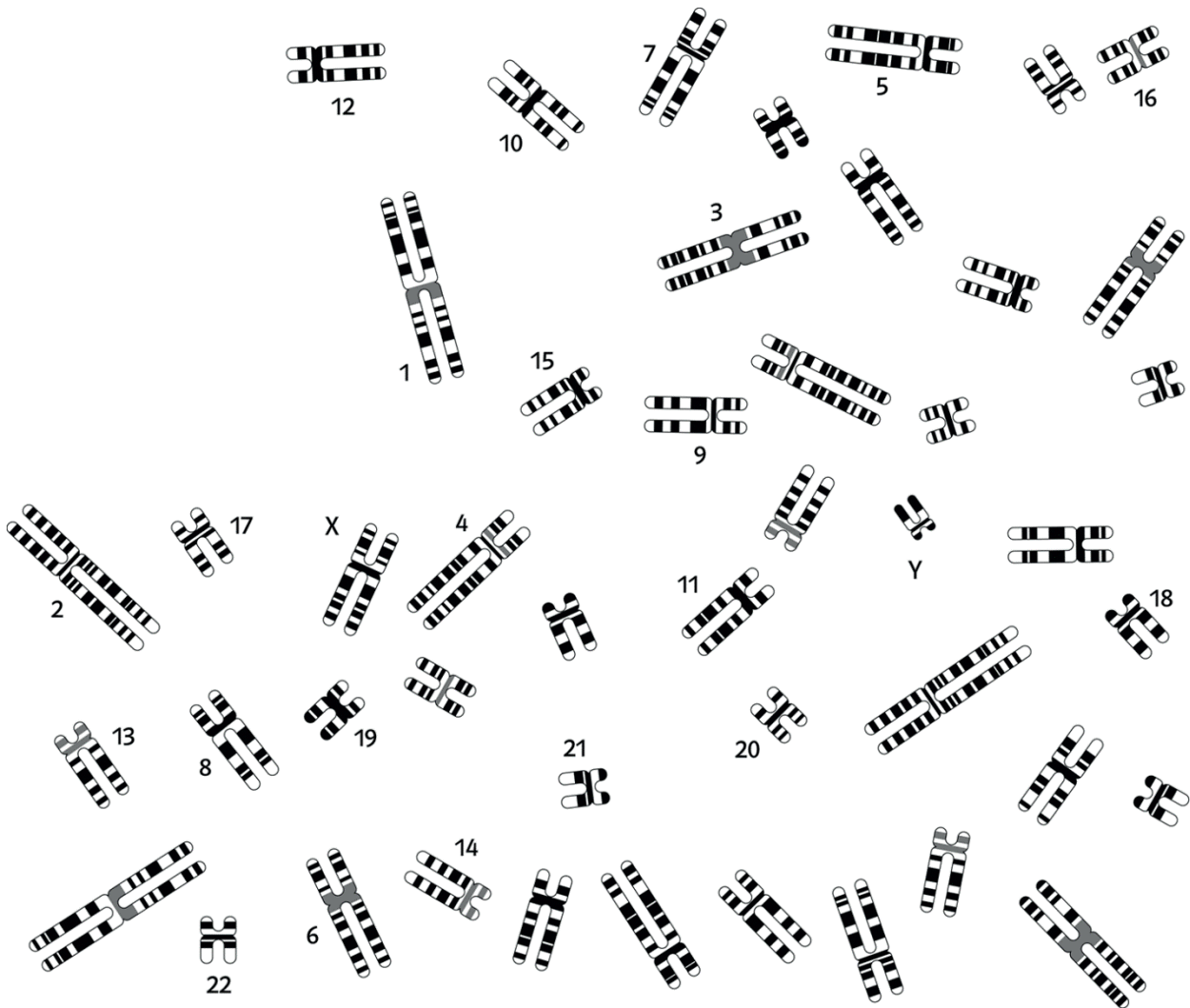
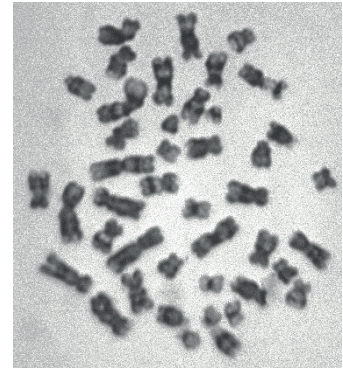
Gene, die auf demselben Einzelchromosom liegen, werden in der Regel gemeinsam vererbt. Daher bezeichnet man sie als gekoppelte Gene oder als Kopplungsgruppe. Bei gekoppelten Genen gilt die 3. Mendel'sche Regel (Unabhängigkeitsregel) nicht mehr, da diese Gene nicht frei miteinander kombinierbar sind. Durch Crossingover kann jedoch auch eine Rekombination zwischen gekoppelten Genen erfolgen, wie MORGAN mithilfe seiner Experimente zeigen konnte.

Kompetenzerwerb

Kompetenzbereich „Schwerpunkt Fachwissen“: Die Schülerinnen und Schüler vergleichen die Kombinationsmöglichkeiten bei der Meiose mit und ohne Crossingover, indem sie beide Vorgänge schematisch darstellen.
Basiskonzepte „Reproduktion“ sowie „Variabilität und Anpasstheit“: Die Schülerinnen und Schüler zeigen am Modell, dass sich die Variabilität durch ein Crossingover noch erhöht.

Das Karyogramm des Menschen

Seit 1956 kann man aus teilungsaktiven Zellen des Menschen, zum Beispiel aus Weißen Blutzellen oder dem Knochenmark, die Chromosomen extrahieren und sichtbar machen. Wendet man dabei bestimmte Färbemethoden an, zeigt sich auf jedem Chromosom ein unverwechselbares Bandenmuster. An diesem, sowie an der Größe, kann man die einzelnen Chromosomen gut unterscheiden. Sortiert man die Chromosomen paarweise und nach absteigender Größe erhält man ein sogenanntes Karyogramm aus Paaren homologer Doppelchromosomen einer Körperzelle. Dabei zeigt sich, dass die Zellen einer Frau neben den 22 Chromosomenpaaren zusätzlich noch ein weiteres gleiches Chromosomenpaar, die Zellen des Mannes jedoch zusätzlich ein ungleiches Chromosomenpaar enthalten. Diese Chromosomen, die das Geschlecht bestimmen, nennt man Geschlechtschromosomen. Mithilfe eines Karyogramms kann das Genom (der Chromosomensatz) anschaulich dargestellt werden.

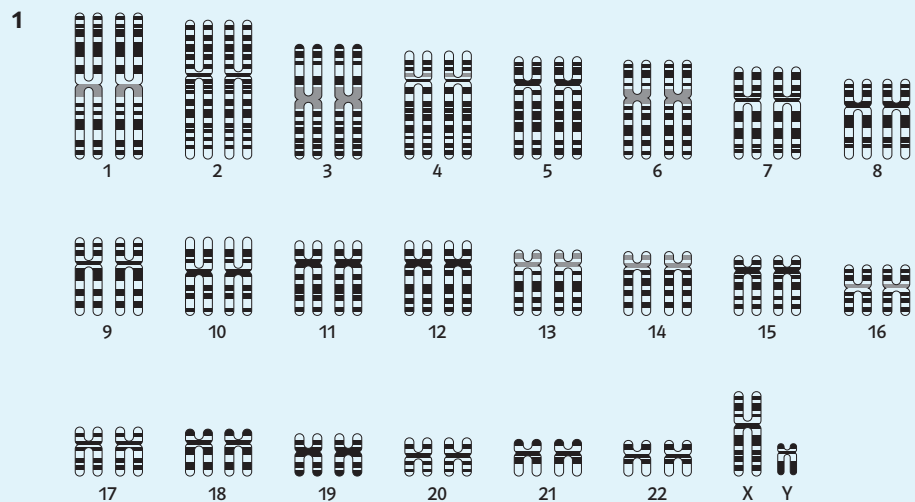


- **1** Schneide die Abbildungen der Chromosomen aus und erstelle in deinem Heft das Karyogramm eines Menschen, indem du die homologen Doppelchromosomen paarweise zusammenlegst und einklebst. Gehe dabei von 1 bis 22 vor und lege die beiden Geschlechtschromosomen (X und Y) ans Ende.
- **2** Betrachte die Geschlechtschromosomen und gib in deinem Heft an, ob es sich bei deinem Karyogramm um das Karyogramm eines Mannes oder einer Frau handelt. Gib anschließend an, wie das Karyogramm des anderen Geschlechts aussehen müsste.

ARBEITSBLATT

Das Karyogramm des Menschen

Lösungen



- 2 Bei dem Karyogramm handelt es sich um das Karyogramm eines Mannes, weil die homologen Geschlechtschromosomen nicht gleich sind. Es liegt ein X- und ein Y-Chromosom vor. Im Karyogramm einer Frau wären zwei X-Chromosomen, also zwei gleiche Geschlechtschromosomen, zu finden.

Zusatzinformation

Aufklärende Funktion von Karyogrammen

Durch die Erstellung eines Karyogramms kann man fehlende (Turner-Syndrom) oder überzählige Chromosomen (Klinefelter-Syndrom, Trisomie 21) oder Chromosomenumordnungen (Translokationen) feststellen.

Turner- und Klinefelter-Syndrom

Beim Turner-Syndrom ist nur ein X-Chromosom (45, XO) oder (45, X) vorhanden. Die Häufigkeit beträgt etwa 1:2500 der Geburten. Das Turner-Syndrom führt zu einem weiblichen Phänotyp. Die Frauen bleiben jedoch kleinwüchsig und aufgrund von unvollständig entwickelten Eierstöcken (die Follikel fehlen) auch meistens unfruchtbar. Die Pubertät ist meistens verzögert und die Entwicklung der sekundären Geschlechtsmerkmale bleibt aus, was man jedoch durch die Gabe weiblicher Geschlechtshormone beheben kann. Auch die Kleinwüchsigkeit lässt sich durch die rechtzeitige Gabe von Wachstumshormonen regulieren. Das Turner-Syndrom entsteht durch eine fehlerhafte Verteilung der Chromosomen während der Bildung der Spermien oder Eizellen. Meistens findet der Fehler auf der väterlichen Seite statt, und es wird ein Spermium mit nur 22 Chromosomen gebildet. Obwohl die meisten Schwangerschaften mit dieser Chromosomenanomalie schon früh mit einer Fehlgeburt enden, ist das Turner-Syndrom der einzige Fall, der bei einer „Chromosomen-Unterzahl“ eine Entwicklung zulässt.

Das Klinefelter-Syndrom entsteht, wenn beim männlichen Geschlecht ein oder mehrere überzählige X-Chromosomen im Chromosomensatz aller (oder auch nur einiger) Zellen vorkommen, z. B. 47, XXY oder 48, XXXY. Die Häufigkeit beträgt etwa 1:600 bei neugeborenen Jungen. Häufige phänotypische Merkmale des Klinefelter-Syndroms sind ein starker Größenwuchs sowie ungewöhnlich lange Arme und Beine. Außerdem besitzen die Männer vergleichsweise kleine Hoden, was aber erst in der Mitte der Pubertät auffällt, und es werden keine funktionstüchtigen Spermien gebildet, sodass die Betroffenen in der Regel zeugungsunfähig sind. Eine Ausnahme können hier die Männer mit einer Mosaikstruktur, also normalen und betroffenen Zellen, bilden. Ein zusätzliches X-Chromosom bei Frauen (47, XXX) ist ebenso wie ein zusätzliches Y-Chromosom bei Männern (47, XYY) phänotypisch unauffällig.

Kompetenzerwerb

Kompetenzbereich „Schwerpunkt Erkenntnisgewinnung“: Die Schülerinnen und Schüler erstellen das Modell eines Karyogramms und beschreiben dabei die wesentlichen Merkmale eines Chromosomensatzes.

Gegenstandsbereiche „Geschichte und Verwandtschaft“ sowie „Reproduktion“: Die Schülerinnen und Schüler erkennen, dass ein vollständiger Chromosomensatz des Menschen jeweils 23 Chromosomenpaare enthält.

Vorgeburtliche Untersuchungen — wie entscheide ich mich?

Anna ist 39 Jahre alt. Sie und ihr Mann Fred haben sich, nach 15 Jahren Ehe, vor drei Monaten getrennt. Anna ist Projektleiterin in einem erfolgreichen Unternehmen, verdient gut und reist für ihren Job durch die ganze Welt. Sie hat eine tolle Karriere hingelegt und ist sehr stolz auf das, was sie erreicht hat.

Im Verlauf ihrer Ehe haben Anna und Fred sich immer weiter auseinandergelebt. Oft waren sie traurig, weil sie so gerne Kinder haben wollten, Anna aber nicht schwanger wurde. Sie ließen sich beide mehrfach ärztlich untersuchen, doch es wurden keine körperlichen Einschränkungen festgestellt, die erklärt hätten, warum es mit der Schwangerschaft nicht klappte.

Fred arbeitete früher als Art Direktor, wurde vor drei Jahren aber arbeitslos. Von da an stritten Anna und Fred noch häufiger als vorher. Fred hielt Anna vor, sie habe viel zu viel Stress, um schwanger zu werden. Anna war enttäuscht von Fred. So kam es schließlich zur Trennung.

Jetzt ist Anna im vierten Monat schwanger. Als sie das von ihrem Arzt erfuhr, konnte sie es kaum glauben. Dann hat sie sich vor allem gefreut. Der Arzt informiert sie über die möglichen vorgeburtlichen Untersuchungen. Würde bei einer dieser Untersuchungen eine Krankheit oder Behinderung festgestellt, hätte Anna die Möglichkeit, sich für eine Abtreibung zu entscheiden. Anna ist verunsichert. Viele Gedanken rauben ihr den Schlaf.



- 1 Stelle in den Sprechblasen oben dar, welche Gedanken Anna in Bezug auf ihr ungeborenes Kind haben könnte.
- 2 Anna überlegt, ob sie eine Fruchtwasseruntersuchung vornehmen lassen möchte oder nicht. Nenne Vorschläge, was ihr bei der Entscheidungsfindung helfen könnte.

ARBEITSBLATT

Vorgeburtliche Untersuchungen — wie entscheide ich mich?

Lösungen

- 1 individuelle Lösung
Lösungsbeispiel:
 - Kann ich über ein Leben entscheiden?
 - Kann ich meinen Beruf weiter ausüben?
 - Was sagt der Vater zu der Schwangerschaft?
 - Möchte ich vor der Geburt wissen, ob mein Baby gesund ist?
 - Kann ich auf ein Untersuchungsergebnis warten und gleichzeitig „guter Hoffnung“ sein?
 - Kann ich mir vorstellen, mit einem kranken oder behinderten Kind zu leben?

- 2 individuelle Lösung
Lösungsbeispiel:
 - Mit dem Vater des Kindes sprechen.
 - Gespräche mit Vertrauenspersonen (engen Freunden, Familie) führen.
 - Eine Beratungsstelle aufsuchen.
 - Pro- und Contra-Argumente aufschreiben.

Praktische Tipps

Das Thema Präimplantationsdiagnostik und die ethische Auseinandersetzung damit sind sehr anspruchsvoll. Ziel ist es, die Schülerinnen und Schüler für die Problematik zu sensibilisieren. Als Weiterführung einer ersten gedanklichen Auseinandersetzung mithilfe des Arbeitsblatts empfiehlt sich eine im Unterricht durchgeführte Pro-und-Contra-Diskussion oder eine umfassendere ethische Analyse zum Thema „Schwangerschaftsabbruch bei positiven Befund“. Klären Sie, dass man bei medizinischen Untersuchungen von einem „positiven Befund“ spricht, wenn beim Testen auf eine bestimmte Krankheit letztere nachgewiesen werden konnte. Das Ergebnis ist somit für den Patienten negativ.

Zusatzinformation

Durchführung einer ethischen Analyse zum Thema

Ethik ist eine philosophische Disziplin. Sie beschäftigt sich damit, Kriterien für gutes und schlechtes Handeln aufzustellen und die Motive sowie Folgen des Handelns zu bewerten. Bei der Beurteilung eines bioethischen Themas (z. B. Gentechnik, Klonen, Stammzellforschung, Schwangerschaftsabbruch ...) gibt es neben dem rein fachlichen Wissen soziale, juristische und ethische Fragen. Dabei geht es darum, das naturwissenschaftliche Tatsachenwissen (die deskriptive Dimension) mit der Bewertung menschlichen Handelns (der normativen Dimension), also der Frage, ob Letzteres moralisch gut oder schlecht ist, zu koppeln. Die Fähigkeit, sich in einer Entscheidungs- bzw. Dilemma-Situation begründet zwischen zwei (oder mehr) Werten entscheiden zu können, bedingt moralisches Urteilsvermögen und ist eine wichtige Kompetenz der Schülerinnen und Schüler.

Um strukturiert zu einer Entscheidungsfindung zu gelangen, bietet es sich an, eine ethische Analyse zu durchlaufen.

Allgemeiner Aufbau einer Argumentation

Eine ethische Analyse lässt sich z. B. in folgende Teilschritte untergliedern:

1. Formulierung der Entscheidungssituation oder des Dilemmas.
2. Benennung der Handlungsmöglichkeiten in dieser Situation.
3. Aufzählen von Pro- und Contra-Argumenten
4. Aufzählen ethischer Werte, die hinter den Argumenten stehen (Erstellen einer persönlichen Rangordnung der Werte).
5. Aufzählen von Konsequenzen, die das eigene Urteil und andersartige Urteile implizieren.
6. Begründete Entscheidung: Auswahl einer Handlungsmöglichkeit (und Diskussion andersartiger Urteile).

(Wichtig: Ein „richtig“ oder „falsch“ gibt es nicht! Ziel ist es, über ethische Fragen eingehend nachzudenken („Der Weg ist das Ziel“)).

Hinweis: Ethische Analysen sind in der Literatur mit unterschiedlich vielen Schritten und auch unterschiedlicher Reihenfolge zu finden. Daher soll dieser Vorschlag nur als Beispiel dienen.)

Kompetenzerwerb

Kompetenzbereich „Schwerpunkt Bewertung“: Die Schülerinnen und Schüler setzen sich bei der Bearbeitung des Arbeitsblatts mit den Schwierigkeiten auseinander, die eine Schwangere bei der Entscheidung für oder gegen pränatale Diagnostik treffen muss.

Gegenstandsbereich „Entwicklung“: Mithilfe der pränatalen Diagnostik können bereits während der Schwangerschaft bestimmte Krankheiten oder Fehlbildungen des Ungeborenen erkannt werden. Die Kenntnis davon kann die Eltern des Kindes vor schwierige Entscheidungen stellen.

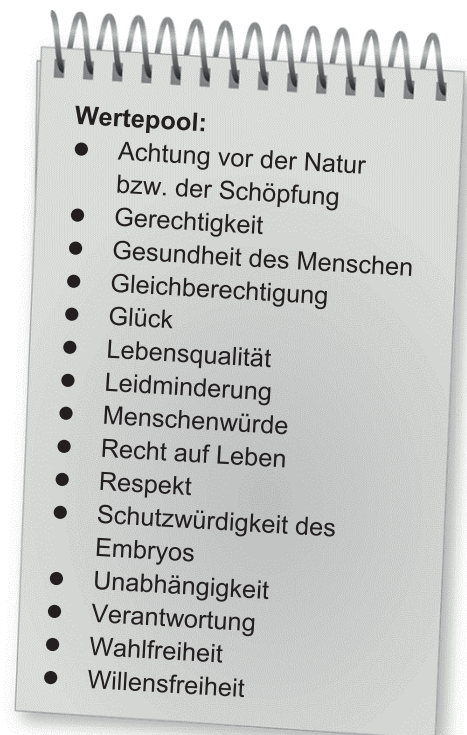
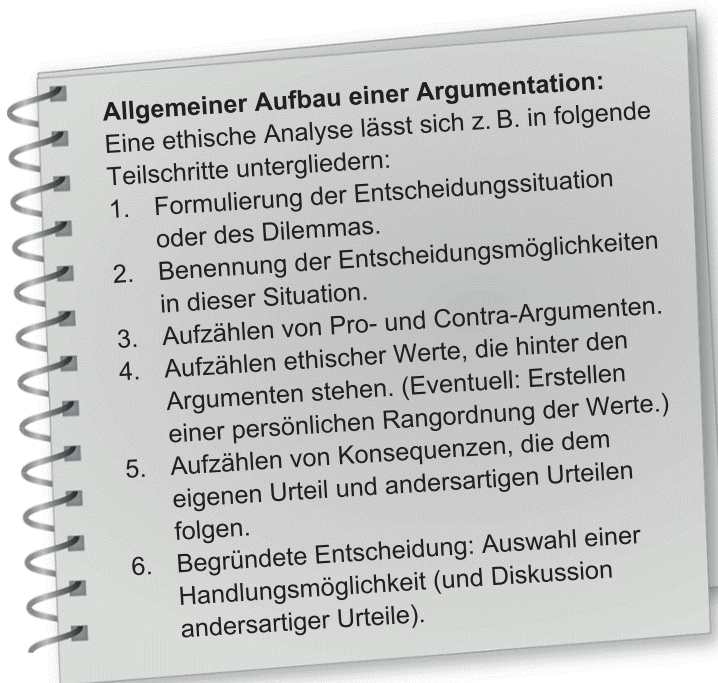
Selektions-Babys in Deutschland?

Familie zeugt Selektionsbaby

Eine Familie aus London wird durch künstliche Befruchtung ein genetisch passendes Kind bekommen, um ihre Tochter Sarah zu retten. Sarah ist vier Jahre alt und leidet schon von Geburt an an Thalassämie, einer seltenen und tödlichen Blutkrankheit, bei der die Roten Blutzellen betroffen sind. Um Sarah zu heilen, müssen ihre blutbildenden Stammzellen im Knochenmark durch Stammzellen ohne Gendefekt ersetzt werden. Da bisher jedoch kein geeigneter Spender gefunden werden konnte, haben sich Sarahs Eltern entschlossen, durch künstliche Befruchtung ein zu Sarah genetisch passendes Geschwisterchen zu bekommen.

Mithilfe einer PID soll aus den künstlich befruchteten Embryonen derjenige ausgesucht werden, der mit der höchsten Wahrscheinlichkeit genetisch zu Sarah passt, und ihrer Mutter eingepflanzt werden. Nach der Geburt soll dann das Nabelschnurblut des Neugeborenen verwendet werden, um Sarahs Knochenmark zu ersetzen. Nach dieser Behandlung wird Sarah voraussichtlich geheilt sein.

Soll die Anwendung der PID zur Auswahl von Retter-Geschwistern auch in Deutschland erlaubt werden? Schreiben Sie uns Ihre Meinung!



○ 1 Nenne vier generelle Entscheidungsmöglichkeiten zu der Frage, ob die Anwendung der PID zur Auswahl von Retter-Geschwistern auch in Deutschland erlaubt werden sollte.

- a) _____
- b) _____
- c) _____
- d) _____

● 2 Notiere die Werte aus dem Wertepool, die für dich am wichtigsten sind (nicht mehr als fünf).

● 3 Nenne eine der in Aufgabe 1 genannte Entscheidungsmöglichkeit, die am besten mit deinen Werten vereinbar ist und setze mit dieser in deinem Heft die ethische Analyse (siehe oben 3. — 6.) fort.

ARBEITSBLATT

Selektions-Babys in Deutschland?

Lösungen

- 1 Mögliche Optionen sind:
- Die Auswahl eines Embryos mit genetisch erwünschtem Material sollte grundsätzlich verboten werden.
 - Die Auswahl eines Embryos mit genetisch erwünschtem Material sollte erlaubt sein, wenn sie der Gesundheit und dem Wohlergehen der sich aus dem Embryo entwickelnden Person dient.
 - Die Auswahl eines Embryos mit genetisch erwünschtem Material sollte erlaubt sein, wenn dies der Gesundheit und dem Wohlergehen der sich aus dem Embryo entwickelnden oder einer anderen Person dient.
 - Die Auswahl eines Embryos mit genetisch erwünschtem Material sollte generell erlaubt sein.
- (Anmerkung: Nach diesem Schritt sollen sich die Schülerinnen und Schüler für nur eine der Handlungsoptionen a), b), c) oder d) entscheiden und nur mit ihr die weitere Analyse durchführen.)

2 *individuelle Lösung*

3 *individuelle Lösung*

Aufzählen von Pro- und Contra-Argumenten

- Pro: Die Merkmale des Kindes werden der Natur bzw. Gott überlassen.
Contra: Bei Familien mit schweren Erbkrankheiten können Kinder mit diesen Erbkrankheiten geboren werden.
- Pro: Bei Familien mit schweren Erbkrankheiten können Kinder ohne diese Erbkrankheiten geboren werden und ein „normales“ Leben führen.
Contra: Der Mensch verändert die Natur nach seinen Wünschen.
- Pro: Das Neugeborene kann einem anderen Menschen helfen, sodass dieser eine Chance auf Heilung oder Linderung der lebensbedrohlichen oder die Lebensqualität stark einschränkenden Erkrankung hat und ein besseres oder normales Leben ohne Beeinträchtigungen führen kann; dem „Gesundheit-spendenden“ Menschen (bzw. dem Neugeborenen) wird kein Schaden zugefügt.
Contra: Der Mensch verändert die Natur nach seinen Wünschen, das Neugeborene dient als „Ersatzteillieferant“ für einen anderen Menschen.
- Pro: Erblich bedingte Krankheiten oder sonstige unerwünschte Merkmale können so uneingeschränkt verhindert werden, um einen optimalen Menschen zu erzeugen, der für sein Leben die besten genetischen Voraussetzungen mitbringt.
Contra: Der Mensch verändert die Natur nach seinen Wünschen, durch gewollte Selektion erzeugte Menschen können Vorteile gegenüber den natürlich gezeugten Menschen erhalten.

Eine vollständige Durchführung einer ethischen Analyse finden Sie auf dem Zusätzlichen Infoblatt „Leitfaden zur ethischen Analyse“ (s. Daten auf DVD, Lehrerband S. 82).

Zusatzinformation

Ethische Analyse

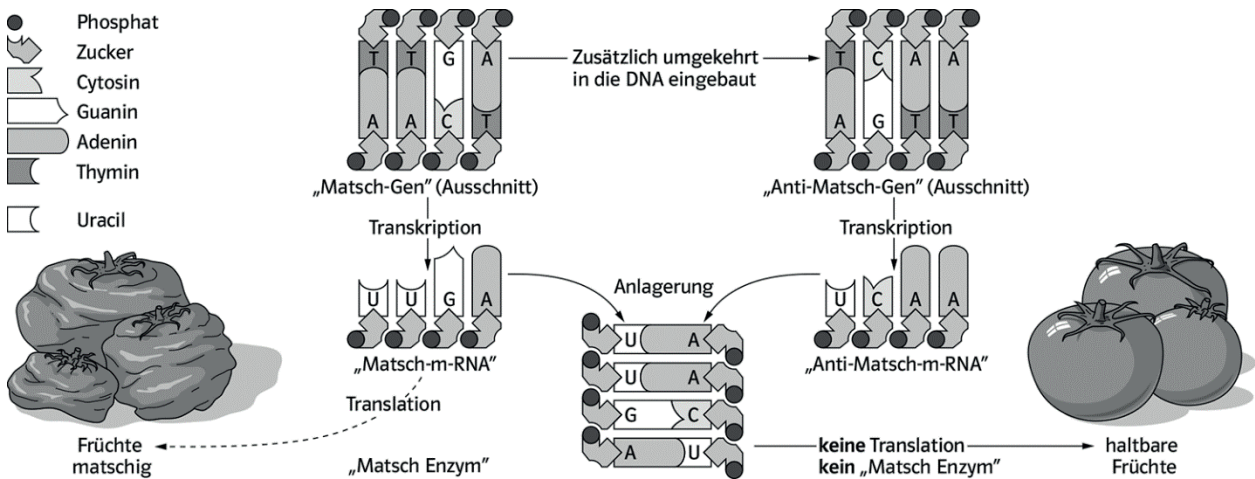
Ethik ist eine philosophische Disziplin. Sie beschäftigt sich damit, Kriterien für gutes und schlechtes Handeln aufzustellen und die Motive und Folgen des Handelns zu bewerten. Bei der Beurteilung eines bioethischen Themas (z. B. Gentechnik, Klonen, Stammzellenforschung, Schwangerschaftsabbruch ...) gibt es neben dem rein fachlichen Wissen soziale, juristische und ethische Fragen. Dabei geht es darum, das naturwissenschaftliche Tatsachwissen (die deskriptive Dimension) mit der Bewertung menschlichen Handelns (der normativen Dimension), also der Frage, ob Letzteres moralisch gut oder schlecht ist, zu koppeln. Die Fähigkeit, sich in einer Entscheidungs- bzw. Dilemmasituation begründet zwischen zwei (oder mehr) Werten entscheiden zu können, bedeutet moralisches Urteilsvermögen und ist eine wichtige Kompetenz für die Schülerinnen und Schüler. Um strukturiert zu einer Entscheidungsfindung zu gelangen, bietet es sich an, eine ethische Analyse zu durchlaufen.
Wichtig: Ein „richtig“ oder „falsch“ gibt es nicht! Ziel ist es, über ethische Fragen eingehend nachzudenken („Der Weg ist das Ziel!“).

Kompetenzerwerb

Kompetenzbereich „Schwerpunkt Bewertung“: Die Schülerinnen und Schüler führen eine ethische Analyse durch und unterscheiden dabei zwischen Werten, Normen und Fakten.
Gegenstandsbereich „Reproduktion“: Die Schülerinnen und Schüler nennen Pro- und Contra-Argumente für eine Handlungsoption zur Anwendung der PID zur Erzeugung von Retter-Geschwistern und beschreiben die bei dieser Handlung betroffenen Werte.

Die „Anti-Matsch-Tomate“

Tomaten — und im Übrigen auch alle anderen Früchte — besitzen ein Gen, das die Bildung eines sogenannten „Matsch-Enzyms“ veranlasst. Dieses Enzym spielt eine Rolle bei der Fruchtreife. Es löst bei reifen Früchten die Zellwände auf und sorgt so dafür, dass die Früchte weich werden und verderben. Bei Tomaten läuft dieser Vorgang sehr schnell ab. Sie werden deshalb im Allgemeinen grün, also unreif geerntet, gekühlt transportiert und dann künstlich nachgereift. Der Verbraucher verlangt schließlich „knackige“ Ware. Schon vor mehreren Jahren konnten Wissenschaftler in den USA das unerwünschte Gen der Tomaten isolieren. Mithilfe gentechnischer Methoden ist es inzwischen gelungen, dieses Gen zusätzlich umgekehrt in die norma-le Tomaten-DNA einzubauen (s. Abb.). Die beiden Gene — das „richtige“ und das „falsche“ — bilden nun m-RNA-Stränge, die einander komplementär sind. Die komplementären m-RNA-Stränge lagern sich aneinander und blockieren sich gegenseitig. Auf diese Weise wird die Translation und damit die Bildung des „Matsch-Enzyms“ unterbunden. Das Ergebnis des Gentransfers ist als „Anti-Matsch-Tomate“ bekannt geworden.



- 1 „Anti-Matsch-Tomaten“ enthalten ein Gen, das von Natur aus nicht in Tomaten enthalten ist. Weshalb ist der Verzehr dieser veränderten Tomaten für den Menschen trotzdem unbedenklich? Berücksichtige bei der Beantwortung auch die Vorgänge bei der Verdauung.

- 2 Lies den Informationstext (oben) aufmerksam durch. Überlege, welche Vorteile und welche Nachteile die „Anti-Matsch-Tomate“ für den Verbraucher haben könnte (Inhaltsstoffe von Tomaten, wie Vitamine und Aromastoffe, Haltbarkeit). Bildet eine Pro- und eine Contra-Gruppe und diskutiert darüber. Notiert eure Ergebnisse.

Pro: _____

Contra: _____

ARBEITSBLATT

Die „Anti-Matsch-Tomate“

Lösungen

- 1 Das zusätzliche Gen führt nicht zu fremden Inhaltsstoffen in der Tomate. Die aufgenommene, veränderte DNA wird während der Verdauung zerlegt und so unwirksam gemacht.
- 2 Pro: Die genetisch veränderten Tomaten können am Strauch ausreifen und unter natürlichen Bedingungen Vitamine und Aromastoffe bilden. Sie sind besser lagerfähig und bleiben länger fest.
Contra: Der Verbraucher kann kaum noch zwischen wirklich frischer und gentechnisch veränderter Ware unterscheiden. Es besteht die Gefahr, dass in noch frisch aussehenden, aber schon länger gelagerten Früchten der Abbau von Vitaminen und Aromastoffen bereits fortgeschritten ist. Gentechnisch veränderte Lebensmittel entsprechen nicht mehr dem natürlichen Produkt. Zusätzlich integrierte Gene bedeuten unter Umständen eine Destabilisierung des gesamten genetischen Materials der Zellen.

Zusatzinformation

Inaktivierung des Gens für das Enzym Polygalacturonidase

Die Entwicklung von der Blüte bis zur Frucht dauert bei Tomaten etwa 8 Wochen. Am Ende der Fruchtreife werden viele Stoffe produziert, die Geschmacks- und Farbveränderungen hervorrufen. Eines dieser Stoffe ist das Enzym Polygalacturonidase. Bei entsprechender Konzentration des Enzyms wird der Polygalacturonsäure-Anteil der Zellwände des Fruchtfleisches verstärkt abgebaut. Die Früchte werden matschig. Mithilfe der partiellen Inaktivierung des Gens zur Bildung des Enzyms wird das Verderben der Tomaten hinausgezögert.

Probleme mit gentechnisch veränderten Pflanzen

Die „Anti-Matsch-Tomate“ war das erste gentechnisch veränderte Lebensmittel, das 1992 in den USA zugelassen wurde. Seitdem werden bedingt durch die Aufnahme transgener Organismen mögliche Sicherheitsrisiken für den Menschen kontrovers diskutiert. Vor allem der Zusatz sog. Markergene, also von Genabschnitten, die für die Bildung entsprechender Enzyme zum Abbau von Antibiotika verantwortlich sind, könnte zur Veränderung körpereigener Bakterien führen und diese resistent gegen Ampicillin und ähnliche Antibiotika machen.

Kompetenzerwerb

Kompetenzbereiche „Schwerpunkt Fachwissen“ sowie **„Schwerpunkt Bewertung“**: Die Schülerinnen und Schüler beschreiben das Prinzip der „Antisense-Technik“ zur partiellen Inaktivierung von Genabschnitten und erläutern mögliche Vor- und Nachteile gentechnisch veränderter Lebensmittel für den Menschen.

Gegenstandsbereich „Struktur und Funktion“: Die Schülerinnen und Schüler wenden die Transkription und Translation von Genabschnitten am Beispiel der „Anti-Matsch-Tomate“ an.

Pro und Contra grüne Gentechnik am Beispiel des Golden Rice

Vitamin-A-Mangel stellt besonders in vielen Entwicklungsländern ein sehr großes Problem dar, da er zu einer Beeinträchtigung der Sehkraft und einer Schwächung des Immunsystems führt. Die Folge ist eine erhöhte Anfälligkeit gegenüber Infektionskrankheiten und Durchfall. Die Mangelerkrankung tritt vor allem in Ländern auf, in denen geschälter Reis, der kaum Vitamin A enthält, das Hauptnahrungsmittel der Bevölkerung darstellt. Geschälter Reis ist jedoch weniger anfällig für Schimmelbildung und deshalb länger haltbar.

Nachdem es durch traditionelle Verfahren der Pflanzenzüchtung bis Mitte der 1980er-Jahre nicht gelungen war, den Gehalt an Beta-Carotin (β -Carotin), eine Vorstufe zu Vitamin A, zu steigern, wurde in den 1990er-Jahren mit gentechnischen Methoden ein Reis entwickelt, der in seinen Körnern β -Carotin anreichert. Dieses kann im menschlichen Körper leicht in Vitamin A umgewandelt werden, wenn Fett mit der Nahrung mit aufgenommen wird. Das β -Carotin führt zu einer gelben Färbung des Reises. Deswegen wird er als Golden Rice bezeichnet.

Golden Rice wird in lokal angepasste Sorten eingekreuzt. Kleinbauern in Entwicklungsländern sollen das Saatgut kostenlos erhalten. Eine Nachzüchtung und Weiterverwendung in den Folgejahren ist erlaubt, jedoch nur zum Eigengebrauch, nicht für Export und Agrarhandel.	Das β -Carotin tritt als neu hinzugefügter Inhaltsstoff des Reises in Wechselwirkung mit den übrigen Inhaltsstoffen, sodass eine negative Auswirkung auf die Ernährung nicht ausgeschlossen werden kann.	Golden Rice ist eine günstige Möglichkeit, den Vitamin-A-Mangel zu beheben, weil sich die Reispflanzen, einmal ausgesät, vor Ort vermehren. Bei der Verteilung von Vitamin-A-Präparaten entstehen vor allem hohe Kosten für die immer wiederkehrende Verteilungslogistik.	Golden Rice hat gegenüber den lokalen Reispflanzen keinen evolutionären Vorteil. Sollte die durch gentechnische Veränderung hervorgerufene zusätzliche Eigenschaft auskreuzen, so werden wilde Sorten keinen Vorteil dadurch erlangen.		
Das Golden-Rice-Projekt ist eine gezielte Imagekampagne für die Grüne Gentechnik.	Die Kleinbauern müssen ihre Anbaumethoden bei der Verwendung von Golden Rice nicht verändern (keine höheren Kosten).	Der Vitamin-A-Mangel könnte dadurch behoben werden, dass der Staat Vitamin-A-Präparate verteilt.	Durch die Einführung von Golden Rice könnte ein Großer Anteil der durch Vitamin-A-Mangel verursachten Krankheits- und Sterbefälle, vor allem bei Kleinkindern, verhindert werden.		
Der Ertrag des Golden Rice ist niedriger als der von herkömmlichen Sorten.	Die Wahrscheinlichkeit bzw. das Risiko, dass Golden Rice durch Auskreuzung herkömmliche Sorten kontaminiert, ist sehr gering, da Reis ein Selbstbestäuber ist und es kaum Flug von lebensfähigen Pollen gibt.	Weil die Kleinbauern die beste Sorte wählen, würde Golden Rice die genetische Vielfalt nicht mehr reduzieren als jede klassisch gezüchtete Sorte, die Vorteile gegenüber bestehenden Sorten bietet.	Das β -Carotin liegt im Golden Rice in Fetten gelöst vor. Dieses Fett reicht aus, um genügend Vitamin A zu synthetisieren.		
Die Aufnahme von β -Carotin ist schlechter als von Vitamin A. Es muss etwa 6-mal so viel β -Carotin aufgenommen werden, um dem Körper die gleiche Menge Vitamin A zur Verfügung zu stellen.	Der Golden Rice trägt zur Nachhaltigkeit bei, da er einen Beitrag zur Bekämpfung der Mangelversorgung und somit zur Bekämpfung der sozialen Ungerechtigkeit leistet.	Der Golden Rice wird vor der Zulassung streng geprüft, z.B. auch durch Verfütterung an Ratten. Für Risiken gibt es bisher keine wissenschaftlichen Beweise.	Eine übermäßige Aufnahme von β -Carotin kann laut wissenschaftlicher Studien unter bestimmten Bedingungen zu einem erhöhten Krebsrisiko führen.		

- 1 Lies dir die Aussagen in der Tabelle durch und markiere im jeweiligen Kästchen mit + oder -, welche Aussagen als Pro- oder Contra-Argument für den Einsatz von Golden Rice zu nennen sind.
- 2 Ordne den Aussagen in der Tabelle die folgenden Werte zu: Gesundheit, Umweltschutz, Artenschutz, Wohlstand, Lebensqualität, Wahlfreiheit, Selbstbestimmung, Unabhängigkeit, Verantwortung, Gleichberechtigung, Sicherheit, Naturliebe, Menschenwürde, Solidarität. Schreibe jeweils einen passenden Wert über die jeweilige Aussage.
- 3 Entscheide, begründet anhand der zugeordneten Werte, ob du für oder gegen die Einführung von Golden Rice bist. dafür dagegen

ARBEITSBLATT

Pro und Contra grüne Gentechnik am Beispiel des Golden Rice

Lösungen

1 und 2: siehe Tabelle

Pro	Contra
Golden Rice wird in lokal angepasste Sorten eingekreuzt. Kleinbauern in Entwicklungsländern sollen das Saatgut kostenlos erhalten. Eine Nachzucht und Weiterverwendung in den Folgejahren ist erlaubt, jedoch nur zum Eigengebrauch, nicht für Export und Agrarhandel. Wert: Lebensqualität	Das β -Carotin tritt als neu hinzugefügter Inhaltsstoff des Reises in Wechselwirkung mit den übrigen Inhaltsstoffen, sodass eine negative Auswirkung auf die Ernährung nicht ausgeschlossen werden kann. Wert: Gesundheit
Golden Rice ist eine günstige Möglichkeit, den Vitamin-A-Mangel zu beheben, weil sich die Reispflanzen, einmal ausgeteilt, vor Ort vermehren. Bei der Verteilung von Vitamin-A-Präparaten entstehen vor allem hohe Kosten für die immer wiederkehrende Verteilungslogistik. Wert: Gesundheit, Wohlstand	Das Golden-Rice-Projekt ist eine gezielte Imagekampagne für die Grüne Gentechnik. Wert: Wohlstand
Golden Rice hat gegenüber den lokalen Reispflanzen keinen evolutionären Vorteil. Sollte die durch gentechnische Veränderung hervorgerufene zusätzliche Eigenschaft auskreuzen, so werden auch wilde Sorten keinen Vorteil dadurch erlangen. Wert: Artenschutz, Umweltschutz, Naturliebe	Der Vitamin-A-Mangel könnte dadurch behoben werden, dass der Staat Vitamin-A-Präparate verteilt. Wert: Verantwortung
Die Kleinbauern müssen ihre Anbaumethoden bei der Verwendung von Golden Rice nicht verändern (keine höheren Kosten). Wert: Wohlstand, Lebensqualität	Der Ertrag des Golden Rice ist niedriger als der von herkömmlichen Sorten. Wert: Wohlstand
Durch die Einführung von Golden Rice könnte ein Großer Anteil der durch Vitamin-A-Mangel verursachten Krankheits- und Sterbefälle — vor allem bei Kleinkindern — verhindert werden. Wert: Gesundheit, Gleichberechtigung	Die Aufnahme von β -Carotin ist schlechter als von Vitamin A. Es muss etwa sechsmal so viel β -Carotin aufgenommen werden, um dem Körper die gleiche Menge Vitamin A zur Verfügung zu stellen. Wert: Gesundheit
Die Wahrscheinlichkeit bzw. das Risiko, dass Golden Rice durch Auskreuzung herkömmliche Sorten kontaminiert, ist sehr gering, da Reis in extrem hohen Maße Selbstbestäuber ist und es praktisch keinen Flug von lebensfähigen Pollen gibt. Wert: Artenschutz, Umweltschutz, Naturliebe	Eine übermäßige Aufnahme von β -Carotin kann laut wissenschaftlicher Studien unter bestimmten Bedingungen zu einem erhöhten Krebsrisiko führen. Wert: Gesundheit
Weil die Kleinbauern sowieso die beste Sorte wählen, würde Golden Rice die genetische Vielfalt nicht mehr reduzieren als jede klassisch gezüchtete Sorte, die Vorteile gegenüber bestehenden Sorten bietet. Wert: Wahlfreiheit	
Das β -Carotin liegt im Golden Rice in Fetten gelöst vor. Dieses Fett reicht vermutlich aus, um genügend Vitamin A zu synthetisieren. Wert: Gesundheit	
Der Golden Rice trägt zur Nachhaltigkeit bei, da er einen Beitrag zur Bekämpfung der Mangelversorgung und somit zur Bekämpfung der sozialen Ungerechtigkeit leistet. Wert: Gleichberechtigung, Sicherheit, Solidarität	
Der Golden Rice wird vor der Zulassung streng geprüft, z. B. auch durch Verfütterung an Ratten. Für Risiken gibt es bisher keine wissenschaftlichen Beweise. Wert: Sicherheit, Gesundheit	

3 individuelle Lösung

Praktische Tipps

Sie können mir Ihren Schülerinnen und Schülern auch eine Podiumsdiskussion z. B. mit einem Moderator führen: Dazu können Sie entweder eine Pro- und eine Contra-Gruppe vorgeben oder Rollen verschiedener Persönlichkeiten vergeben. So können ein Kleinbauer (Pro oder Contra), ein Großbauer, der für den Handel produziert (Pro oder Contra) ein kommunaler Politiker (Pro oder Contra), ein Umweltaktivist (Contra), ein Mitarbeiter eines sozialen Hilfswerkes, das gegen Armut und Hunger kämpft (Pro) und ein Vertreter des Unternehmens, die den Golden Rice hergestellt haben (Pro), an der Diskussion teilnehmen.