

NATURA

Biologie für Gymnasien

bearbeitet von

Ulrich Bielefeld
Claudia Dreher
Roland Frank
Robert Gegler-Tautz
Alexander Maier
Jürgen Schweizer

Baden-Württemberg
Kursstufe

Lösungen

Ernst Klett Verlag
Stuttgart · Leipzig

1. Auflage, 2010

Alle Drucke dieser Auflage sind unverändert und können im Unterricht nebeneinander verwendet werden.

Die letzte Zahl bezeichnet das Jahr des Druckes.

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Nutzung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlages. Hinweis §52 a UrhG: Weder das Werk noch seine Teile dürfen ohne eine solche Einwilligung eingescannt und in ein Netzwerk eingestellt werden. Dies gilt auch für Intranets von Schulen und sonstigen Bildungseinrichtungen. Fotomechanische oder andere Wiedergabeverfahren nur mit Genehmigung des Verlages.

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2010. Alle Rechte vorbehalten. www.klett.de

Autoren: Dr. Ulrich Bielefeld, Stuttgart; Claudia Dreher, Ludwigsburg; Roland Frank, Stuttgart; Robert Gegler-Tautz, Karlsruhe; Alexander Maier, Rottenburg (Neckar); Dr. Jürgen Schweizer, Stuttgart

Redaktion: Rolf Strecker

Herstellung: Marlene Klenk-Boock

Gestaltung: Prof. Jürgen Wirth; Visuelle Kommunikation, Dreieich unter Mitarbeit von Matthias Balonier, Evelyn Junqueira, Nora Wirth

Illustrationen: Prof. Jürgen Wirth; Visuelle Kommunikation, Dreieich unter Mitarbeit von Matthias Balonier, Evelyn Junqueira, Nora Wirth; Wolfgang Herzig, grafik-design · illustration, Essen;

Printed in Germany

Zelle und Stoffwechsel

Die Struktur der Zelle

Schülerbuch Seite 23

- ① Stellen Sie zentrale Aussagen der Zelltheorie zusammen.
 - Zellen sind kleine, mikroskopisch sichtbare Kammern
 - Zellen haben Kerne
 - Alle Organismen sind aus Zellen aufgebaut
 - Alle Zellen gehen aus Zellen hervor
 - Zellen können durch die Vereinigung von zwei Keimzellen entstehen
 - Die Funktion der Zellen ermöglicht mehrzelligen Organismen Stoffwechsel, Wachstum, Reizbarkeit und Fortpflanzung
 - Die Zellen stimmen in wesentlichen Merkmalen überein.
- ② Tragen Sie die Entdeckungen zur Zelltheorie auf einem Zeitstrahl ein.
 - 1665 Zellbegriff (HOOKE)
 - 1678 lebende Einzeller (LEEUWENHOOK)
 - 1831 Zellkern (BROWN)
 - 1839 Alle Organismen bestehen aus Zellen (SCHLEIDEN/SCHWANN)
 - Alle Zellen gehen aus Zellen hervor, (*omnis cellula ex cellulae*, VIRCHOW)
 - 1875 eine Zygote entsteht aus der Verschmelzung zweier Keimzellen (HERTWIG)
 - 20. Jahrhundert: Rolle der Zelle für die Organismen, grundsätzliche Übereinstimmungen im Grundbauplan der Zellen.
- ③ Rechnen sie mit Hilfe der Angaben aus Abb. 3 aus, wie groß das abgebildete Grippe-Virus darzustellen wäre, wenn der infizierte Mensch (Größe 1,80 m) auf die Größe der Bundesrepublik Deutschland (Flensburg-Oberstdorf: ca. 1000 km) ausgedehnt würde. (Abb. auf Randspalte).
 - Das Virus ist 100 nm groß und somit im Verhältnis zum 1,80 m großen Menschen um den Faktor $1,8 \times 10^7$ kleiner. Im Verhältnis zu den 1000 km (1×10^{12} nm) wäre es also nur 55 mm groß.
Lösung, anders gerechnet:
Der Mensch ist 55555,6 mal kleiner als die 1000 km Strecke, folglich sind die 100 nm Viren $55555,6$ nämlich 5,5 cm groß.
- ④ In einem Bach finden Sie einen Kieselstein, der von einem grünen Belag überzogen ist. Sie möchten klären, ob es sich bei dem Belag um lebendes oder totes Material handelt. Schlagen Sie eine Untersuchungsmethode zur Klärung der Frage vor.
 - Mit Hilfe eines Lichtmikroskops sollte nach zellulären Strukturen gesucht werden. Wesentlich aufwändiger (steriles Arbeiten) und nur mit sehr viel Hintergrundwissen zu den Lebensbedingungen der Algen wäre es auch möglich, den Belag zu kultivieren und eventuell Wachstum zu beobachten.

- ⑤ Bei der Untersuchung eines Marsmeteoriten wurden stäbchenförmige Strukturen von einigen Nanometer Länge mikroskopiert und als fossile Zellen interpretiert. Begründen Sie, ob es sich tatsächlich um eine Zelle handeln könnte. Erklären Sie, welche Bedeutung dieser Befund hätte.
 - Im Jahr 1984 fand ein Team der National Science Foundation in der Antarktis einen Mars-Meteorit (ALH84001). In diesem Meteoriten wurden fadenförmige Strukturen gefunden, welche Bakterien auf der Erde ähneln. Bis heute ist umstritten, ob es sich dabei ebenfalls um Bakterien handelt. Vom Schüler ist anhand der Grafik leicht nachzuvollziehen, dass bei einer Größe von wenigen Nanometern es sich eher um Kristalle handelt als um fossile Lebewesen.
Dennoch sprechen einige Fakten für die Theorie, dass es sich hierbei um fossile magnetotaktische Fossilien handelt. (Appl. Envir. Microbiol., Aug 2002; 68: 3663 - 3672.) Das würde bedeuten, dass es Leben auf dem Mars gab und vielleicht noch gib

Schülerbuch Seite 24

- ① Betrachten Sie die Präparate mit möglichst hoher Vergrößerung und zeichnen Sie einen Ausschnitt mit wenigen Zellen.
 - Individuelle Lösung.
- ② Beschriften Sie alle erkennbaren Strukturen in ihrer Zeichnung.
 - Individuelle Lösung.
- ③ Wo befindet sich der rote Farbstoff in den Zellen der Zwiebel und der Tomate?
 - Der rote Farbstoff befindet sich bei den Zwiebeln in der Zellsaftvakuole, bei der Tomate in den Chromoplasten, umgewandelte Plastiden.
- ④ Mikroskopieren Sie die Präparate und vergleichen Sie.
 - Individuelle Lösung.
- ⑤ Beschreiben und benennen Sie die Zellstrukturen, die durch die Farbstoffe angefärbt werden.
 - Methylenblau färbt saure Strukturen, insbesondere die DNA-haltigen Kerne. Eosin färbt das Zellplasma und Bindegewebe rötlich.
- ⑥ Welche Strukturen werden durch die Farbstoffe jeweils rot, rosa, und blau angefärbt?
 - Rot gefärbt erscheinen der Kerninhalt und die Linie an den Zellspitzen, welche die Basalkörper der Geißeln repräsentiert.
rosa Cytoplasma,
blau Kollagen im Bindegewebe und der Schleim der becherartigen Schleimzelle
- ⑦ Beschreiben Sie die zwei verschiedenen Zelltypen im Epithel, achten Sie dabei besonders auf den oberen Bereich der Zellen.
 - Dicht gedrängt im Epithel stehen die zylindrisch bis konischen, begeißelten Zellen, deren Zellkern an der Zellbasis liegt. Die zentrale Schleimzelle ist becherförmig. Der Kern liegt wiederum an der Basis.

Auf den Zellen liegt ein violetter Schleier aus Schleim, in dem sich die Geißeln befinden müssen.

- ⑧ Zeichnen Sie eine Übersicht über die angeschnittenen Epithelien. Benennen Sie auch das Darminnere und das lockere Bindegewebe.
 - *Diagonal durch das Bild zieht das Darminnere, welches von den zwei Epithelien begrenzt wird. Jeweils unter den beiden Epithelien liegt Bindegewebe.*
- ⑨ Welche Strukturen werden jeweils gelb, welche Strukturen rot angefärbt?
 - *Auf dem Foto erscheinen Schleim und Darminhalt, teilweise auch das Bindegewebe, gelb. Das Zellplasma ist rot.*
- ⑩ Obwohl man die Zellgrenzen nicht erkennen kann, ist es möglich mit Hilfe der Kerne einzelne Zellen zu identifizieren. Beschreiben Sie Zellen des Darmepithels und des Bindegewebes in Form, Größe und Anordnung.
 - *Die zylindrischen Zellen des Darmepithels stehen dicht gedrängt palisadenartig, ihre Kerne liegen regelmäßig an der Zellbasis. Die Zellen des Bindegewebes sind unregelmäßig und locker verteilt.*
- ⑪ Schätzen Sie die Vergrößerungsstufe dieser Abbildung und die Dimensionen eines Drüsenbläschens ein. An welchem Zellbestandteil können Sie sich orientieren?
 - *Man kann sich an der Größe der rot gefärbten Zellkerne (ca. $10\ \mu\text{m}$) orientieren. Somit ist ein Bläschen ca. $100\ \mu\text{m}$ im Durchmesser, die Drüsenzellen nur ca. $20\ \mu\text{m}$ hoch.*
- ⑫ Zeichnen Sie eine Übersicht über ein Drüsenbläschen. Es besteht aus einer Bindegewebshülle, dem einschichtigen Epithel und dem zellfreien grauen oder roten Inhalt.
 - *Individuelle Lösung.*

Schülerbuch Seite 25

- ① Bestimmen Sie die Zahl der Blutzellen im rot markierten Bereich und im gesamten Zählfeld. Errechnen Sie mit beiden Ergebnissen die Menge roter Blutzellen in einem mL Blut.
 - *21 Zellen liegen im Bereich des roten Streifen ($0,2\text{mm}$ Länge \times $0,05\text{mm}$ Breite \times $0,1\text{mm}$ Höhe).
77 Zellen liegen im gesamten Feld ($0,2\text{mm}$ Länge \times $0,2\text{mm}$ Breite \times $0,1\text{mm}$ Höhe)
 1ml entsprechen 1cm^3 . Man errechnet also 21 Zellen in $0,001\text{mm}^3$ ($\times 1 \times 10^6$) bzw. 77 Zellen in $0,004\text{mm}^3$. Häufig werden Blutprobe verdünnt, um sinnvoller zählen zu können, hier wurde um den Faktor 250fach verdünnt. Man errechnet also einen Wert von 21 Millionen bzw. 19250000 Zellen / ml Blut $\times 250$. Dies entspricht ungefähr einem Wert von ca. 5 Millionen im μl (mm^3), also von 5 Milliarden / ml Blut.*
- ② Bei einer Infektion übersteigt die Leukozytenzahl im Blut den Wert von 4 10 Millionen / mL. Wieviele Leukozyten müssten Sie auf der gesamten Zählfläche bei einem Kranken mindestens erwarten. Welches Bild erwarten

Sie bei einem AIDS-Kranken?

- *Bei erhöhter Leukozytenzahl müsste eine Leukozyte auf 1000 rote Blutzellen zu beobachten sein. In der Praxis heißt das, dass die Blutprobe nicht mehr um den Faktor 250fach verdünnt wird und in jeder 4 ausgezählten Kammer eine weiße Zelle erscheinen muss. Bei einem AIDS-Kranken im Vollbild erwartet man keinerlei weiße Blutzellen.*
- ③ Erklären Sie den Unterschied zwischen Auflösung und Vergrößerung mit Hilfe der Abb. 3
 - *Die Vergrößerung sagt nur etwas über die proportionale Größe des vergrößerten Bildes im Vergleich mit dem Original aus. Bei der Vergrößerung ohne hohe Auflösung wurde um den Faktor 4fach vergrößert, aber es ist zu erkennen, dass die einzelnen Striche miteinander verschwimmen, also nicht voneinander getrennt – aufgelöst – werden können. Bei der Vergrößerung mit hoher Auflösung wurde von $0,5\text{cm}$ auf $1,8\text{cm}$ um den Faktor 3fach vergrößert und alle Striche können voneinander unterschieden – also aufgelöst – werden.*
- ④ Vergleichen Sie die beiden Abbildungen der Kieselalge in Bezug auf Vergrößerung und Auflösung.
 - *Beide Bilder wurden mit der gleichen Vergrößerung aufgenommen, bei der oberen Aufnahme verschwimmen allerdings die feinen Linien des Panzers, weil sie das verwendete Objektiv zwar vergrößern, aber nicht mehr voneinander trennen – auflösen – kann.*
- ⑤ Welchen Faktor der Formel verändert das Immersionsöl?
 - *Das Immersionsöl verändert die Brechungszahl n , sie liegt höher, folglich wird d_{min} kleiner, die Auflösung also höher.*
- ⑥ Erklären Sie Möglichkeiten, das Auflösungsvermögen über die Größe λ zu erhöhen.
 - *Die moderne Lichtmikroskopie arbeitet auch mit Licht im Bereich der Wellenlänge von UV Strahlen bzw. mit Laserstrahlen. Für die Augen der Betrachter müssen dann allerdings aufwändige Schutzrichtungen geschaffen werden. Dieser hohe Aufwand muss für einen vergleichsweise geringen Auflösungsgewinn betrieben werden. Ein Elektronenstrahl hat dagegen ein um den Faktor 1000 geringere Wellenlängen (vgl. Buchseite S. 26 ff).*

Schülerbuch Seite 27

- ① Tragen Sie die Gemeinsamkeiten und die technischen Unterschiede zwischen TEM und Lichtmikroskop zusammen.
 - *Beide haben eine Strahlenquelle und ein „Linsensystem“, welches die Strahlen bündelt, die Präparate werden durchstrahlt, das Bild wird aufgefangen. Das TEM unterscheidet sich vom LM durch die Art der Strahlen, das Vakuum für den Elektronenstrahl, die Funktion der Linsen, die gesamte Präparationstechnik und die Abbildung auf einem Bildschirm. Die Strahlenquelle beim TEM liegt oberhalb des Betrachters.*

- ② Stellen Sie Vor- und Nachteile der Elektronenmikroskopie im Vergleich zur Lichtmikroskopie dar.
- **EM:**
Vorteil: hohe Auflösung
Nachteile: tote Objekte, aufwändige, zeitintensive Präparationsverfahren, tlw. unübersichtlich kleine Präparate, hohes Risiko von Artefakten, hohe Kosten.
LM:
Nachteil: um den Faktor 1000 geringere Auflösung
Vorteil: Übersichtliche Darstellung größerer Objekten, auch lebende Zellen können mit spezifischen Färbemethoden differenziert dargestellt werden.
- ③ Besprühen Sie eine zerknitterte durchsichtige Folie schräg mit grauem Sprühlack. Glätten Sie die Folie und betrachten sie als Projektion eines Overheadprojektors. Vergleichen Sie den Eindruck mit dem Bild eines Gefrierätzpräparates von Abbildung 5.
- Die besprühte Folie erzeugt ein quasi räumlich erscheinendes Abbild der Falten. Dieser Eindruck ist vergleichbar mit dem TEM-Bild, das man von einem Objekt erhält, das mit Gefrierätztechnik hergestellt wurde.

Schülerbuch Seite 31

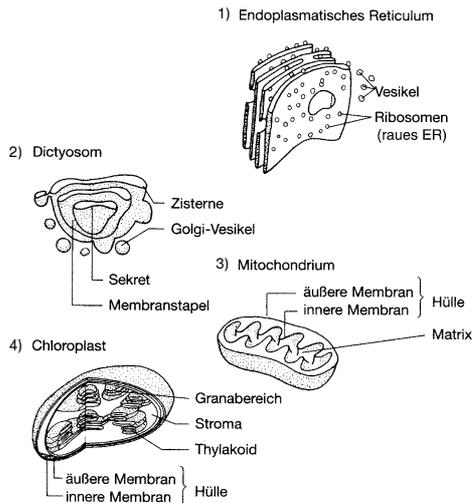
- ① Stellen Sie den Aufbau und die Funktion der dargestellten Zellstrukturen in einer Tabelle zusammen.

Bezeichnung	Aufbau	Funktion
Zellwand (nur P)	Lagen aus Zellulose	äußerer, extrazellulärer, steifer, durchlässiger Mantel der P. Z.
Zellmembran	Phospholipid Doppelschicht mit 10nm Stärke	bildet Zellgrenze, reguliert und kontrolliert Zellinhalt
Zellkern	Hülle aus 2 Membranen mit Poren umgibt Kerninhalt mit Chromatin (ca. 5-10µm)	Informationsspeicher und Steuerzentrale der Zelle
Kernkörper	Ansammlung von RNA und Enzymen	Hier werden die Bestandteile der Ribosomen gebildet

Zellplasma	gelartige Substanz u. A. aus Salzen, Proteinen, Kohlenhydraten, Wasser	Ort zahlreicher Produktions- und Abbauprozesse, Speicherort
Chloroplasten (nur P)	Hülle aus äußerer und innerer Membran, innere bildet Thylakoidstapel, eigene DNA; Stärkekörner (ca 4 - 7µm)	Thylakoidstapel und Matrix sind Orte der Photosynthese, selbstteilend,
Mitochondrien	Hülle aus äußerer und innerer Membran, innere Membran bildet „Kämme“ (Cristae) eigene DNA (ca. 4 - 7µm)	Cristae oder Tubuli sowie Matrix sind Orte der Zellatmung, selbstteilend
Endoplasmatisches Retikulum (ER)	Netzwerk aus Membran umhüllten Kanälchen; Retikulum steht mit Kernhülle in Verbindung, teilweise mit Ribosomen auf Membran	Im Innenraum Transportvorgänge
Raues ER	Mit Ribosomen besetztes ER	Proteinbiosynthese
Ribosomen	Organellen ohne Zellmembran von 15 - 30 µm Größe	Ort der Proteinbiosynthese (Translation)
Dictyosom des Golgi-Apparates	Membran begrenzte, schüsselförmig gestapelte flache Räume; wird vom ER mit Bläschen beliefert; schnürt Golgi-Bläschen ab	Verpackungsstation und Veränderungsort der vom ER gelieferten Substanzen

Lysosomen	Membranbegrenzte Bläschen mit Enzymen (saurer pH)	Verdauungs-/Recyclingstation der Zelle für zelleigene oder aufgenommene Stoffe
Vakuole	Membran begrenzter Flüssigkeitsraum	Speicher
Cytoskelett	feinste Protein-Röhren und Fäden	bewegt und stützt Organellen im Cytoplasma
Cilien	bis zu 10 µm lange Geißeln; innen liegen in 9 Dublets + 2 einzelne Tubuli	können z. B. Keimzellen bewegen
Lipid	Tröpfchen	Energiespeicher
Glykogen	Partikel	Energiespeicher der tierischen Zelle

- ② Fertigen Sie Schemazeichnungen von ER, Dictyosom, Mitochondrium und Chloroplasten an.
- ③ Beschriften Sie Ihre Skizzen und tragen Sie Maßstäbe ein.



Schülerbuch Seite 32/33

- ① Zeichnen Sie in eine Schemazeichnung die Umriss- und Organellen von zwei der vollständig angeschnittenen Leberzellen, die um einen kleinen Gallengang herum angeordnet sind. Beschriften Sie ihre Zeichnung.
 - Individuelle Lösung.
- ② Beschreiben Sie für die eingezeichneten Organellen deren Aufgaben in einer Leberzelle.
 - *Microvilli: Oberflächenvergrößerung im apikalen Bereich z. B. für Resorptionsvorgänge.*
 - *Mitochondrien: Bereitstellung von ATP für die energieverbrauchenden Stoffwechselprozesse.*
 - *RER → Golgi-Apparat → Produktion von Proteinen z. B. Enzymen in den Lysosomen. Diese Enzyme katalysieren z. B. die Entgiftung von den Stoffen in den Lysosomen.*
 - *Glykogen: Speicher von energiereichen Kohlenhydraten, die wieder in den Blutkreislauf freigesetzt werden können.*
 - *Zellkern: Speicherung der Erbinformation, Bereitstellung der „Baupläne“ für die benötigten Proteine.*
 - *Die stark aufgefaltete Zellbasis mit eng anliegendem Endothel des Blutgefäßes ermöglicht Stoffaustausch über die Zellmembranen.*
- ③ Stellen Sie Hypothesen auf, welche Auswirkungen auf die Feinstruktur von Leberzellen natürliche Einflüsse wie Hunger oder die Bildung von Keimzellen haben könnten.
 - Folgende Hypothesen sind sinnvoll:
 - *Beim Hunger werden die Vorräte an Glykogen und Lipid herabgesetzt. Es kann auch eine Reduktion oder ein Abbau der Organellen erwartet werden, die an der Proteinbiosynthese beteiligt sind.*
 - *Bei der Keimzellbildung werden ebenfalls die Energieträger Glykogen und Lipid ab- bzw. umgebaut. Gleichzeitig sind die Organellen, die bei der Proteinbiosynthese beteiligt sind, in aktiver Form zu erwarten.*
- ④ Beschreiben Sie besonders auffällige Unterschiede zwischen den Zellen der Kontrolltiere (Abb. 1) und den Leberzellen der belasteten Tiere (Abb. 2 und Abb. 3).
- ⑤ Geben Sie eine mögliche Erklärung für die Veränderungen der Organellen als Reaktion auf die Medikamente. Beachten Sie bei Ihren Erklärungen auch die Veränderungen im Stoffwechsel.
 - *Diclofenac: erweitertes ER – interpretiert als erhöhte Produktion von Proteinen, z. B. Entgiftungsenzyme.*
 - *Unregelmäßiger Kern und veränderte Mitochondrien – interpretiert als Degenerationserscheinungen*
 - *Clofibrin: erweitertes ER – interpretiert als erhöhte Produktion von Proteinen, statt der Glykogenreserven membranumhüllte Löcher (sog. Glycogenosomen, Lysosomen mit Abbauprodukte von Glykogen), – interpretiert als Verlust von gespeicherten Energie-reserven.*

- ⑥ Beschreiben Sie den Aufbau der frisch isolierten Zelle und vergleichen Sie mit den Zellen aus dem intakten Lebergewebe. Interpretieren Sie die Gemeinsamkeiten und die Unterschiede.
- Die Zellen unterscheiden sich im Wesentlichen nur durch die äußere Konturierung. Die innere Ausstattung mit Organellen und Glykogen erscheint sehr ähnlich.
- ⑦ Beschreiben Sie die Autophagosomen, die in den Zellkulturen nach 5 Tagen gehäuft auftreten. Welche Schlussfolgerungen können Sie aus dieser Beobachtung in Hinblick auf die Anwendung von Zellkulturen in der Forschung ziehen?
- Die Autophagosomen sind Lysosomen mit zelleigenen Organellen, die abgebaut werden. Diese Beobachtung legt nahe, dass in den Zellen Abbauprozesse stattfinden. Ein Einsatz der Zellen für die Zellkultur sollte daher unter 5 Tagen dauern, da die Zellen durch den Einsatz in der Zellkultur durchaus gestresst werden. Es erscheint von daher fraglich, ob man alle Tierversuche durch die Zellkultur ersetzen kann.

Schülerbuch Seite 36

- ① Erstellen Sie einen tabellarischen Vergleich von Prokaryoten und Eukaryoten.

Kriterium	Prokaryoten Eubacteria und Archaea	Eukaryoten
Größe	1 – 10 μm	50 – 1000 μm
Zellwand	Murein	Zellulose (Pflanze), Chitin (Pilze)
Geißel	Flagellen	9 + 2 Schema
Energie-Stoffwechsel	Variantenreich (S.u.)	Photosynthese, Glykolyse, Gärung, Zellatmung
Organellen	Keine, Thylakoid-Einstülpungen der Zellmembran	Kern, Mitochondrien, Chloroplasten, rER, Golgi-Apparat, Lysosomen, Cytoskelett etc.
Zellkern	Keine Hülle	Hülle aus zwei Membranen mit Poren
Chromosomen	Ein ringförmiges Bakterien-Chromosom	mehrere

Vermehrung	Zellteilung	Mitose, Sprossung bei Pilzen
Generationsdauer	Minimal 20 min	
Variabilität	Mutationen, Transduktion	Sexualität mit Neukombination in Meiose
Kontrollmechanismen der Genaktivität	Promotor	
Translation	Polysomen m-RNA ohne Kappe Keine Introns	
Ribosomen	70 S	80 S

- ② Berechnen Sie überschlägig, wie viele Bakterien auf einen i-Punkt passen. Welche Fläche würde die gleiche Anzahl dicht gedrängt stehender Menschen benötigen?
- Als Beispiel dient das Bakterium *Helicobacter pylori* mit einer Ausdehnung von $2,5 \times 0,2 \mu\text{m}$, also einer Fläche von $0,5 \mu\text{m}^2$. Der i-Punkt hat einen Durchmesser $500 \mu\text{m}$, also eine Fläche ($2\pi r$) von $1570 \mu\text{m}^2$. Bei diesem Beispiel würden also 3 141 Bakterien auf dem i-Punkt passen. Wenn man nun 4 Menschen auf einen Quadratmeter dicht gedrängt stehen lässt, würden sie 3 141 Menschen eine Fläche von 785m^2 also ca. $20 \text{m} \times 40 \text{m}$ (Hallenhandballfeld) in Anspruch nehmen.
- ③ Belegen Sie die ökologische Bedeutung der Bakterien durch möglichst vielfältige Beispiele aus ökologischen Stoffkreisläufen.
- aerobe oder anaerobe Destruenten oder Mineralisierer
Knöllchenbakterien als Symbionten zur Stickstofffixierung (Nitrifizierender, Nitrosomas, Nitrobakterium, Rhizobien)
Autotrophe, photosynthetisch aktive Bakterien in anaeroben Bereichen (Rhodospirillen, Cyanobakterien)
Schwefeloxidierende Bakterien (*Thiobacillus*)
Methan

Schülerbuch Seite 37

- ① Recherchieren Sie mikrobiologische Sterilisationsverfahren und stellen Sie die jeweiligen Vor- und Nachteile tabellarisch zusammen.
- Bestrahlung mit UV oder radioaktiven Strahlen (schnell, preiswert, aber nur Außenflächen von Objekten)
Erhitzen (auch innen liegende Bereiche werden erreicht, aber es werden hitzelabile Stoffe z. B. Vitamine zerstört)
Alkohol oder andere Zellgifte (schnell, preiswert, aber es bleiben tlw. gesundheitsschädigende Rückstände)

- ② Nennen Sie Lebensmittel, bei deren Herstellung Bakterien traditionell eingesetzt werden.
- *Beispiele von Lebensmitteln, bei deren Herstellung Mikroorganismen genutzt werden: Milchsäurebakterien für Joghurt, Sauermilch, Saure Sahne, Käse, Sauerkraut, Sauerteig Essig durch Essigsäurebakterien: Acetobacter, Gluconacetobacter Pulque Pökelfleisch (Nitrat-reduzierende Kokken, Milchsäurebakterien, Enterococcus faecium Rohwürste (Milchsäurebakterien, nitrat-reduzierende Kokken (z. B. Staphylococcus carnosus)*

1876	MEYER	(Krankheit ist übertragbar) →
1892	IWANOWSKIJ	(lebende Blätter sind Grundlage für den Erhalt der Erreger) →
1898	BEIJERINCK	(Vermehrung des Erregers in der Pflanze, hitzelabil und kann diffundieren) →
1935	Amerikaner	(Nucleinsäuren, nicht Proteine ermöglichen Infektiosität) →
1939	RUSKA	(mikroskopischer Beleg des Erregers mit eigenständiger Gestalt).

Schülerbuch Seite 38

- ① Entwickeln Sie einen Versuch (Material, Durchführung, erwartete Ergebnisse), mit dem MAYER seine Hypothese für Bakterien als Erreger hätte bestätigen können.
- *Denkbar sind alle Versuche, die Bakterien nachweisen lassen könnten. Heute würde man Bakterien mit Hilfe des Mikroskops nachweisen oder auf Petrischalen heranzüchten, so dass man makroskopisch Bakterienkulturen erkennen könnte.*
- ② Diskutieren Sie beide Erklärungen von IWANOWSKIJ und das Ergebnis des zweiten Versuches.
- - Bakterien unter 0,5 μm sind bis heute nicht bekannt, waren aber zur Zeit IWANOWSKIJS eine Denkmöglichkeit.*
 - Bakteriengifte erscheinen auch aus heutiger Sicht als sinnvolle Hypothese.*
 - Der zweite Versuch IWANOWSKIJS schließt Bakterien aus, weil das zellfreie Medium eine Übertragung der Krankheit verhinderte. Bakterien könnten auf einem (geeigneten) Nährmedium überleben. Der Krankheitserreger benötigte in dem Versuch ein lebendes Medium. Das von IWANOWSKIJ geforderte Bakteriengift müsste sich also in den lebenden Blättern erhalten haben.*
- ③ Formulieren Sie die Schlussfolgerungen aus den biochemischen Befunden der 1930er Jahre.
- *Die Erreger sind aus Proteinen und Nucleinsäuren aufgebaut, wobei die Nucleinsäuren dafür verantwortlich sind, dass die Erreger infektiös sind.*
- ④ Erklären Sie die Bedeutung der Darstellung des Tabakmosaikvirus mit dem TEM.
- *Man konnte mit dem TEM die festgelegte Gestalt des Erregers reproduzierbar nachweisen.*
- ⑤ Stellen Sie auf einem Zeitpfeil die Entwicklung der Erkenntnisse über das Tabakmosaikvirus dar.

- ⑥ Aufgrund welcher Eigenschaften muss man annehmen, dass es sich bei Viren nicht um Lebewesen handelt?
- *Zu den Kennzeichen des Lebendigen gehört die eigenständige Vermehrung, die bei den Viren in einem zellfreien Medium nicht möglich ist. Heute ist auch geklärt, dass die Viren nicht zu einem eigenständigen Stoffwechsel in der Lage sind. Viren bestehen auch nicht aus Zellen, sondern sind nur von Hüllen umgeben.*

Das System Zelle

Schülerbuch Seite 40

- ① Nennen Sie Beispiele, bei denen der Energiezufluss und Energieabfluss bei Zellen stoffgebunden und nichtstofflich erfolgt.
 - *Energiezufluss und Energieabfluss stoffgebunden: Aufnahme von Glucose in eine Drüsenzelle, Abgabe von Enzymen durch die Drüsenzelle. Energiezufluss und Energieabfluss nichtstofflich: Absorption von Licht durch grüne Pflanzenzellen. Abgabe von thermischer Energie durch Muskeln oder Leberzellen.*
- ② Leben ist nur bei ständigem Energiezustrom möglich. Erläutern Sie.
 - *Lebewesen bestehen aus energiereichen, hochgeordneten Stoffen, die einem andauernden Ab- und Umbau unterliegen. Der Wirkungsgrad biochemischer Reaktionen ist gering. Es kommt zur Abgabe von thermischer Energie. Zur Aufrechterhaltung biologischer Strukturen ist somit ständige Energiezufuhr notwendig.*
- ③ Beschreiben Sie das Fließgleichgewicht am Beispiel arbeitender Muskelzellen. Zeichnen Sie dazu ein Schema ähnlich wie in Abb. 1.
 - *Aufnahme von Glucose und Sauerstoff. Zellatmung liefert Energie für Muskelarbeit. Abgabe von Kohlenstoffdioxid, Wasser und thermischer Energie.*

Schülerbuch Seite 43

- ① Abb. 3 auf Seite 42 zeigt den U-Rohr-Versuch zur Osmose. Erläutern Sie, ob es zu einem Konzentrationsausgleich zwischen den Lösungen in den Schenkeln des U-Rohrs kommen kann.
 - *Ein Konzentrationsausgleich kann nicht stattfinden, wenn die Membran 100 % undurchlässig für Zucker ist.*
- ② Patienten mit Blutverlust kann man eine Infusion mit sog. physiologischer Kochsalzlösung geben, deren Konzentration an Natriumchlorid (Kochsalz) $w(\text{NaCl}) = 0,9\%$ beträgt. Erläutern Sie mithilfe der Abbildungen in der Randspalte, welche Folgen es hätte, wenn die Salzkonzentration zu hoch oder zu niedrig wäre.
 - *Zu hohe Salzkonzentration: Erythrocyten werden plasmolysiert. Zu niedrige Salzkonzentration: Erythrocyten nehmen Wasser auf und platzen eventuell.*
- ③ Queller und Sumpfdotterblume sind Pflanzen feuchter Standorte. Die eine Art lebt in Meeresnähe, die andere kommt an Bächen vor. Entwickeln Sie eine Hypothese, in welcher der beiden Pflanzenarten der Zellsaft eine höhere Konzentration aufweist. Entwerfen Sie einen Versuch, mit dessen Hilfe Sie Ihre Hypothese überprüfen können.
 - *Queller weist eine höhere Konzentration auf,*

Sumpfdotterblume eine niedrigere. Salzwasser enthält höhere Ionenkonzentration als Süßwasser. Beispiel für einen Versuch: Zellen beider Arten werden in Lösung bestimmter Salzkonzentration (ähnlich Meerwasser) gegeben: Zellen der Sumpfdotterblume werden plasmolysiert, Zellen des Quellers nicht.

Schülerbuch Seite 49

- ① Wie viele Biomembranen müssten übereinander gelegt werden, um die Dicke einer Buchseite (0,08 mm) zu ergeben?
 - *Die Biomembran weist eine Dicke von etwa 8 nm auf. Eine Buchseite ist etwa 0,08 mm = $80\mu\text{m} = 80000\text{ nm}$ dick. Somit ergeben etwa 10 000 Biomembranen die Dicke einer Buchseite.*

Schülerbuch Seite 51

- ① Erstellen Sie eine tabellarische Übersicht über folgende Transportmechanismen: Kanalvermittelte Diffusion, Carriervermittelte Diffusion, aktiver Carrier-Transport, Endocytose
 - *In der Tabelle sollten die folgenden typischen Merkmale für die verschiedenen Transportmechanismen enthalten sein: Transport gegen/im Konzentrationsgefälle, aktiver/passiver Transport, genauere Charakterisierung des Transportmechanismus (z. B. primär/sekundär aktiv), Art der transportierten Teilchen, Art der Transportproteine.*
- ② Entwickeln Sie eine begründete Hypothese, ob es sich bei Endo- bzw. Exocytose um aktive oder passive Transportvorgänge handeln könnte.
 - *Endo- bzw. Exocytose sind aktive Transportvorgänge, da Bausteine der Biomembran umgelagert bzw. neu gebildet werden müssen.*

Energie und Energieumwandlung

Schülerbuch Seite 55

- ① Nennen Sie Eigenschaften des ATP, die es als Energieüberträger der Zelle geeignet machen.
 - *Energie wird in kleinen Portionen aufgenommen bzw. abgegeben. Bildung und Zerfall erfolgen rasch.*
- ② Sie produzieren täglich Ihr eigenes Körpergewicht an ATP. Erläutern Sie dies.
 - *Als universeller Energieüberträger ist ATP an nahezu allen energieverbrauchenden Lebensvorgängen beteiligt. Durch die energetische Kopplung ist es sehr vielseitig verwendbar.*

Schülerbuch Seite 56/57

- ① Beobachten Sie die Ansätze nach Zugabe der Iod-Kaliumiodid-Lösung. Protokollieren Sie die Färbung der 12 Versuchsansätze nach Versuchsende.
 - *Iod-Kaliumiodid-Lösung färbt nur die Proben, die Kartoffelextrakt und Glucose-1-phosphat enthalten.*
- ② Erklären Sie die Bedeutung der Iod-Kaliumiodid-Lösung und des Kartoffelextraktes für den Ablauf des Experiments.
 - *Iod-Kaliumiodid-Lösung ist der Indikator für die Reaktion (Stärkenachweis). Enzyme des Kartoffelextrakts katalysieren die Reaktion des Stärkeaufbaus aus Glucose-1-phosphat.*
- ③ Beschreiben Sie, in welchen Ansätzen eine nachweisbare biochemische Reaktion abgelaufen ist. Formulieren Sie die Bedingungen, unter denen diese Reaktion ablaufen kann. Geben Sie die Bedeutung des Kartoffelextraktes für die Reaktion an.
 - *Biochemische Reaktionen sind nur in den Proben mit Kartoffelextrakt und Glucose-1-phosphat abgelaufen. Für den Stärkeaufbau ist „aktivierte Glucose“ (Glucose-1-ph) und Kartoffelextrakt nötig. Mit Glucose ist der Stärkeaufbau nicht möglich.*
- ④ In der Kartoffelknolle wird zur Überwinterung Stärke statt Glucose gespeichert. Im Frühjahr wird Stärke wieder zu Zucker (Glucose, Maltose) abgebaut.
 - *Bilanzieren Sie Energieaufwand und Energieertrag für den Aufbau von Stärke aus Glucose und den Abbau zu Glucose.*
 - *Zur Stärkesynthese ist die chemische Aktivierung der Glucose notwendig. Es wird Energie in Form von ATP eingesetzt und Glucose zu Glucosephosphat phosphoryliert. Beim Stärkeaufbau wird die Phosphatgruppe abgespalten. Wird im Frühjahr Stärke zu Zucker (Glucose, Maltose) abgebaut, so liegen Zuckermoleküle nicht in phosphorylierter Form, d. h. nicht aktivierter Form, vor. Die Energie, die zur Aktivierung eingesetzt wurde, ist für den Stoffwechsel in chemischer Form nicht mehr*

verfügbar. Sie wird bei der Auf- und Abbaureaktion von Stärke in Form von Wärme freigesetzt.

- ⑤ Mit der Stärke speichert die Pflanze Energie, die zu einem späteren Zeitpunkt benötigt wird.
 - *Beschreiben Sie am Beispiel der Kartoffelknolle die biologische Bedeutung der Energiespeicherung.*
 - *Die Knolle ist ein Organ, mit der die Pflanze unterirdisch überwintert. Die oberirdischen Teile sterben ab. Im Frühjahr treiben aus der Knolle Sprosse aus. Für die Stoffwechselprozesse, die den unterirdisch einsetzenden Frühjahrsaustrieb ermöglichen, ist Energie nötig. Da unter der Erde kein Sonnenlicht verfügbar ist, ist nur Energie in den gespeicherten Vorräten der Knolle, im Wesentlichen in Form von Stärke, verfügbar.*
- ⑥ Der Energiespeicher Stärke besteht aus großen Molekülen. Die Energie wird häufig dann benötigt, wenn im Frühjahr viel Wasser zur Verfügung steht. Dabei könnte eine hohe Konzentration leicht löslicher Stoffe wie Glucose für die Zellen schädlich sein. Erklären Sie diese Aussage. Beschreiben Sie daran die physiologische Eignung von Stärke als Speicherstoff.
 - *Würde als Speicherstoff Glucose eingesetzt, so würde der kleinmolekulare, gut wasserlösliche Stoff in hoher Konzentration im Zellinnern vorliegen. Durch hohe Konzentrationsunterschiede zur Umgebung würde durch die semipermeablen Zellmembranen viel Wasser in die Zellen einströmen. Durch hohen osmotischen Druck könnten die Zellen geschädigt werden. Stärkemoleküle sind aus bis zu tausend Glucosemolekülen aufgebaut (vergleiche Natura Seite 45). Entsprechend geringer ist die Konzentration von Stärke im Zellinnern. Zusammen mit einer geringeren Wasserlöslichkeit von Stärke im Vergleich zu Glucose resultiert daraus ein wesentlich geringerer osmotischer Druck. Daher ist Stärke als Speicherstoff physiologisch geeigneter als Glucose.*
- ⑦ Nennen Sie weitere Pflanzen, die Stärke als Speicherstoff enthalten. Erläutern Sie, welchen Vorteil Fette als Speicherstoffe haben.
 - *Stärke ist das wichtigste Polysaccharid für höhere Pflanzen zur Energiespeicherung. Es kann in Überwinterungsorganen auftreten wie bei Kartoffel, Batate (Süßkartoffel) oder Maniok. Stärke tritt auch als Speicherstoff in Früchten auf. Beispiele sind Getreide, Obstpflanzen (z. B. Banane, Avocado) und Gemüsepflanzen (z. B. Hülsenfrüchte Bohne, Erbse und Linse).*
- ⑧ Beschreiben Sie den im Experiment ablaufenden Energietransfer.
 - *Chemische Energie wird umgewandelt und in Form von Licht abgegeben.*
- ⑨ Das Leuchten wird im Laufe der Zeit schwächer. Beschreiben Sie mögliche Ursachen. Welche Stoffe müssten sich jetzt in der

- Lösung nachweisen lassen, die zu Versuchsbeginn noch nicht vorhanden waren? Begründen Sie.
- *Mögliche Ursachen für die Abnahme der Lichtintensität:*
 - *Verminderung der Konzentration des Stoffes, der leuchtet.*
 - *Verminderung der Konzentration des Energielieferanten ATP.*
 - *Im ersten Fall müsste die Konzentration eines Reaktionsprodukts steigen, im zweiten Fall müsste sich ADP und anorganisches Phosphat nachweisen lassen.*
- ⑩ Zeigen Sie anhand dieses Experiments, dass das Leuchten nur bei Energiezufuhr möglich ist.
- *Nach Abnahme der Lichtintensität wird durch Zugabe von ATP-Lösung das Leuchten wieder verstärkt. Das zeigt, dass für die Lichtaussendung Energiezufuhr erforderlich ist.*
- ⑪ Bilden Sie begründete Hypothesen zur biologischen Bedeutung der Biolumineszenz. Entwickeln Sie Vorschläge, wie Ihre Hypothesen überprüft werden könnten.
- *Beispiele zur biologischen Bedeutung der Biolumineszenz: Beleuchtung der Umgebung, Beuteanlockung, Feindabwehr, Signalgebung bei Partnerfindung.*
Ansätze zur Überprüfung: Beobachtungen im Lebensraum, experimentelle Untersuchungen wie z. B. Auswirkung des Lichts auf Fressfeinde, Beutetiere und Geschlechtspartner.
- ⑫ Beschreiben Sie die Leuchterscheinung.
- *Es entsteht ein bläuliches Leuchten, das von den Partikeln der zerkleinerten Krebschen ausgeht.*
- ⑬ Beschreiben Sie, was sich am Gemisch der Ansätze A und B beobachten lässt.
- *Nach Mischen der beiden nicht leuchtenden Ansätze A und B kommt wieder ein Leuchten zustande.*
- ⑭ Entwickeln Sie eine Hypothese für Ihre Beobachtung.
- *Hypothese: Beim Leuchten wird im Ansatz A eine Substanz verbraucht. Diese ist in Ansatz B enthalten, jedoch nicht hitzeempfindlich. Außerdem ist ein hitzeempfindlicher Stoff zum Leuchten erforderlich, der in Ansatz B inaktiviert wird, jedoch in A noch vorhanden ist. Daher kommt es beim Vereinigen der Ansätze A und B erneut zum Leuchten. Der hitzeempfindliche Stoff könnte ein Enzym sein.*
Ergänzung: Im Ansatz A ist der Leuchtstoff Luziferin verbraucht, jedoch ist noch das Enzym Luziferase vorhanden. Im Ansatz B wird das Enzym Luziferase inaktiviert; der Leuchtstoff Luziferin ist noch enthalten.
- ⑮ Planen Sie ein weiteres Experiment, mit dem sich Ihre Hypothese prüfen lässt. Führen Sie dieses Experiment durch.
- *Experimentente zur Stärkung der Hypothese von Aufgabe 7: Versuche zur Inaktivierung des Enzyms durch Zugabe von Säure, Lauge oder Schwermetallsalzen.*
- ⑯ Stellen Sie die Ventile V1, V2 und V3 so ein, dass der Wasserspiegel im Gefäß 3 konstant hoch bleibt.
- *Einstellung der Ventile für konstanten Wasserspiegel in Gefäß 3.*
- ⑰ Messen Sie die Stoffzuflüsse. Bestimmen Sie hierzu mithilfe von Messzylinder und Stoppuhr die Wasserstromstärken und geben Sie die Werte in der Einheit Milliliter je Sekunde an.
- Zeigen Sie durch eine weitere Messung, dass sich das System im Fließgleichgewicht befindet.
- *Getrenntes Auffangen der Wasserflüsse aus den Gefäßen 1 bis 3 mithilfe eines Messzylinders. Dabei wird gemessen, wie lange es dauert, bis beispielsweise 50 ml Wasser ausgeflossen sind. Der Quotient aus Wassermenge und Zeitdauer ergibt die Wasserstromstärke ausgedrückt in Milliliter je Sekunde. Die Summe der Wasserstromstärken aus den Gefäßen 1 und 2 ist etwa so groß wie die Wasserstromstärke aus Gefäß 3.*
- ⑱ Vermindern Sie den Zufluss aus Gefäß (1) nach Augenmaß auf etwa die Hälfte. Messen Sie nun die neue Wasserstromstärke. Berechnen Sie, wie lange es dauern wird, bis das Gefäß (3), das bis zur 500 mL Markierung Wasser enthält, bei den neuen Zuflussbedingungen leer sein wird.
- Prüfen Sie experimentell, ob Ihre Berechnung mit den tatsächlichen Verhältnissen übereinstimmt.
- *Berechnungsbeispiel: Die Wasserstromstärke aus Gefäß 1 beträgt 10 Milliliter je Sekunde. Bei Reduktion auf die Hälfte, fließen aus dem Gefäß 3 je Sekunde 5 Milliliter mehr ab als zufließen. Dann wäre das mit 500 Milliliter gefüllte Gefäß nach etwa 100 Sekunden leer. Tatsächlich dauert es länger.*
- ⑲ Erklären Sie, inwieweit dieses Modellsystem der Zelle prinzipiell die Eigenschaft besitzt, bei reduziertem Wasserzufluss in einen neuen Gleichgewichtszustand zu gelangen.
- *Bis das Gefäß leer ist dauert es länger als berechnet. Je nach Wahl der Wasserstromstärken und Gefäßhöhen kann sich bereits vor der vollständigen Leerung ein neues Gleichgewicht einstellen.*
Je niedriger der Wasserstand in Gefäß 3 ist, desto geringer ist der Druck am Gefäßboden, der den Wasseraustritt bewirkt. Es nimmt mit niedrigerem Füllstand die Ausflussgeschwindigkeit und damit die Wasserstromstärke ab. Sinkt sie um denselben Wert, um den der Zufluss vermindert wurde, so hat sich ein neues Gleichgewicht eingestellt. Dieses System besitzt innerhalb gewisser Grenzen die Fähigkeit zur Selbstregulation.

Schülerbuch Seite 59

- ① Beschreiben Sie die Energieumwandlung von der Glucose bis zum ATP.
- *Glucose – Glykolyse – Brenztraubensäure – Abspaltung von Kohlenstoffdioxid, Bildung*

von aktivierter Essigsäure – Tricarbonsäurecyclus, dabei Abspaltung von Kohlenstoffdioxid – bei allen Oxidationsschritten gleichzeitige Bildung von NADH_2 bzw. FADH_2 – schrittweise Übertragung des Wasserstoffs aus NADH_2 bzw. FADH_2 auf Sauerstoff unter Bildung von ATP.

- ② Zu den biologischen Prinzipien gehören die Energieumwandlung, die Kompartimentierung und der Zusammenhang Struktur-Funktion. Erläutern Sie diese Prinzipien am Beispiel der Mitochondrien.
- *Energieumwandlung: Die chemische Energie organischer Stoffe wird umgewandelt in die Energie eines pH-Gradienten bzw. eines elektrischen Feldes an der inneren Mitochondrienmembran. Diese Energie wird ihrerseits genutzt zum Aufbau von ATP. Kompartimentierung: Glykolyse im Cytoplasma, Tricarbonsäurecyclus im Matrixraum, Endoxidation an der inneren Mitochondrienmembran. Zusammenhang Struktur-Funktion: Auffaltung der inneren Mitochondrienmembran, Lokalisierung der Enzyme der Endoxidation in der inneren Mitochondrienmembran.*
- ③ Bei der Glykolyse und im Tricarbonsäurezyklus entstehen Wasserstoffüberträger wie FADH_2 und NADH_2 . Erläutern Sie, ob es sich um energiereiche oder energiearme Stoffe handelt.
- *FADH_2 und NADH_2 sind energiereiche Stoffe, bei deren Abbau in der Endoxidation Energie abgegeben wird, die letztlich zur Bildung von ATP dient.*

Schülerbuch Seite 61

- ① Beschreiben Sie den Energiefluss von der Absorption des Lichts durch das Chlorophyll bis zur Bildung von Kohlenhydraten.
- ② Energieumwandlung, Kompartimentierung und der Zusammenhang Struktur-Funktion sind grundlegende biologische Prinzipien. Erläutern Sie diese am Beispiel der Chloroplasten.
- ① und ②: *Beschreibung analog zu Seite 59 Aufgabe 1) und 2)*
- ③ Vergleichen Sie mit Hilfe einer tabellarischen Übersicht Mitochondrien und Chloroplasten hinsichtlich der Stoff- und Energieströme.
- *wesentliche Aspekte: Chloroplasten nehmen energiearme Stoffe und Licht als Energieträger auf. Mitochondrien nehmen energiereiche Stoffe und Sauerstoff auf. In Chloroplasten laufen endergonische Reaktionen ab, in Mitochondrien exergonische. In Chloroplasten entstehen aus einfachen energiearmen anorganischen Verbindungen energiereiche organische Verbindungen, in Mitochondrien ist es umgekehrt. Chloroplasten geben Sauerstoff und organische Stoffe an die Umgebung ab, Mitochondrien geben energiearme Stoffe (Kohlenstoffdioxid und Wasser) und ATP ab.*
wesentliche Gemeinsamkeiten: membran-gebundene Enzyme katalysieren Reakti-

onsketten. Bildung von ATP. Aufbau von Konzentrations- und Ladungsgradienten an Membranen. Elektronen werden in den Membranen transportiert. Wesentliche Unterschiede: bei Chloroplasten liefert Licht die Energie für den Aufbau der Gradienten, bei Mitochondrien reduzierte Coenzyme. An der Thylakoidmembran wird NADPH_2 gebildet, an der inneren Mitochondrienmembran wird NADH_2 abgebaut.

- ④ Erläutern Sie mit Hilfe der Abb. 5, warum wir Laubblätter als grün empfinden.
- *Chlorophyll absorbiert blaues und rotes Licht, grünes Licht wird transmittiert.*

Schülerbuch Seite 63

- ① Im Alltag werden die tropischen Regenwälder oft als „grüne Lunge der Erde“ bezeichnet. Begründe, ob dieser Vergleich zutreffend ist. Erläutere die Folgen einer Abholzung der Regenwälder.
- *Regenwälder produzieren weder Sauerstoff noch verbrauchen sie Kohlenstoffdioxid, sie tauschen auch netto kein Kohlenstoffdioxid bzw. keinen Sauerstoff mit der umgebenden Atmosphäre aus, insofern ist der Vergleich unzutreffend. Bei einer Abholzung der Regenwälder würde der in den organischen Stoffen gebundene Kohlenstoff als Kohlenstoffdioxid freigesetzt.*
- ② Die Abb. 2 zeigt schematisch den globalen Kreislauf des Kohlenstoffs. Erläutern Sie dieses Schema. Gehen Sie dabei auch auf den quantitativen Aspekt ein, d. h. erläutern Sie die umgesetzten bzw. gespeicherten Stoffmengen.
- *Beispiel: Durch natürliche Vorgänge (Atmung, biologische und chemische Prozesse) gelangen 142 Gt/a Kohlenstoff in die Atmosphäre, durch den Verbrauch fossiler Brennstoffe nur 6 Gt/a.*

Enzyme — Katalysatoren des Lebens

Schülerbuch Seite 65

- Listen Sie stichwortartig alle bisher genannten Eigenschaften von Enzymen auf. Ergänzen Sie später die Liste mit Eigenschaften, die auf den folgenden Seiten beschrieben werden.
 - Enzyme sind Proteine, sie
 - wirken als Katalysatoren, indem sie die Aktivierungsenergie herabsetzen
 - bilden kurzzeitig einen Enzym-Substrat-Komplex, aus dem sie unverändert hervorgehen
 - sind substratspezifisch (weitgehend)
 - sind wirkungsspezifisch (weitgehend)

Informationen aus den folgenden Seiten:
Enzyme benötigen teilweise weitere Moleküle zur Funktion. Die Enzymaktivität ist abhängig von

 - Substratkonzentration
 - Temperatur
 - pH des Milieus
 - Hemmstoffen (kompetitive oder allosterische)

Enzyme können durch hohe Temperaturen denaturiert oder durch Schwermetalle irreversibel gehemmt werden.
- Stellen Sie eine Hypothese auf, weshalb so viele verschiedene Enzyme in einer Zelle vorkommen können.
 - In jeder Zelle laufen sehr viele unterschiedliche Prozesse ab, so dass ebenso viele substrat- und wirkungsspezifische Enzyme die Reaktionen katalysieren müssen.

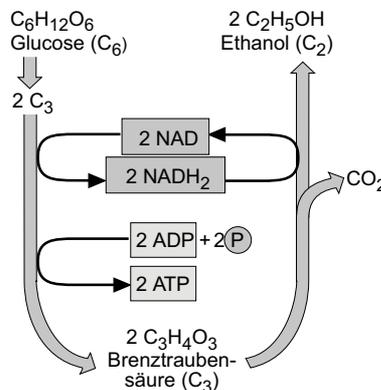
Schülerbuch Seite 66

- Vitamine und Spurenelemente müssen nur in geringen Mengen aufgenommen werden, sind aber dennoch für die Gesundheit des Menschen unverzichtbar. Begründen Sie.
 - Vitamine und Spurenelemente haben oft eine essentielle Bedeutung in der Enzymatik. Ohne sie kommt es zu Mangelerscheinungen, im Extremfall zum Tod.
- Im Text werden die Hydrolasen, Oxireduktasen und Ligasen als Hauptgruppe genannt. Recherchieren Sie die fehlenden 3 Hauptgruppen der Enzyme.
 - Transferasen, Isomerasen, Lyasen
- Im menschlichen Verdauungssystem kommen die Enzyme Pepsin und Trypsin vor. Erstellen Sie eine Tabelle mit der korrekten wissenschaftlichen Bezeichnung, Funktion und Vorkommen. Welche Krankheiten werden mit einer Störung dieser Enzyme in Verbindung gebracht?
 - Trypsinmangel führt zur Unterernährung
 - Pepsinmangel führt zu Herzkrankheiten, Magengeschwüren und Krebs.

Name	Funktion	Vorkommen
Trypsin	Abbau von Eiweiß	Dünndarm
Pepsin	Abbau von Nahrungseiweiß	Magensaft der Wirbeltiere

Schülerbuch Seite 67

- Begründen Sie, weshalb bei allen Versuchen mit jeweils der selben Menge Harnstoff- und Urease-Lösung gearbeitet wird.
 - Nur wenn ein Parameter — in diesem Fall die Temperatur — gleichzeitig aber keine anderen Parameter wie die Substrat- oder Enzym-Menge verändert wird, kann der Versuch ein aussagekräftiges Ergebnis haben.
- Erklären Sie, weshalb die gemessene Stromstärke ein Maß für die Enzymaktivität ist.
 - Die Produkte Kohlenstoffdioxid und Ammoniak verändern die Leitfähigkeit der wässrigen Lösung. Die Menge an Produkt steht im direkten Zusammenhang mit der Enzymaktivität.
- Beschreiben Sie den Kurvenverlauf bei 20°C, 40°C und 60°C.
 - bei 20°C ein flacher, linearer Anstieg, bei 40°C ein steiler, linearer Anstieg und bei 60°C nach einem kurzzeitigem Anstieg ein Verharren auf konstantem Niveau, also kein Anstieg mehr.
- Stellen Sie die Enzymaktivität in Abhängigkeit von der Temperatur in einem Diagramm dar.
 - Es handelt sich um eine Optimumkurve (vgl. S. 70 Abb. 2).
- Erläutern Sie die Abhängigkeit der Enzymaktivität von der Temperatur auf molekularer Ebene. Berücksichtigen Sie, dass Enzyme Proteine sind (vgl. S. 47).
 - vgl. die Erläuterung der Optimumkurve von S. 70f zur Temperaturabhängigkeit des enzymkatalysierten Reaktionsverlaufs.
- Formulieren Sie Fragestellungen, die sich durch die beiden Versuchsreihen klären lassen.
 - Vorbemerkung: Es wird mit Hefezellen gearbeitet, die die an der alkoholischen Gärung beteiligten Enzyme enthalten.



Alkoholische Gärung

Die Versuchsergebnisse von HARDEN und YOUNG lassen sich so erklären, dass die Eigenschaften der Pyruvat-Decarboxylase (PD) untersucht worden sind. Dieses Enzym hat als lösliche Cofaktoren das Thiaminpyrophosphat und Mg^{2+}

Pyruvat-Decarboxylase



Lösungen

- a) Bestehen bestimmte Enzyme aus mehreren Komponenten?
 - b) Sind zur Funktion bestimmter Enzyme weitere Komponenten notwendig?
 - ⑦ Beschreiben Sie die Ergebnisse.
 - a) Unbehandelter Zellsaft (Lösung 0) ist zur alkoholischen Gärung fähig.
 - b) Der dialysierte Zellsaft ist zur alkoholischen Gärung fähig, wenn die durch den Dialyse-Schlauch zurückgehaltenen Komponenten (Lösung 2) und die diffundierten Komponenten wieder zusammengeführt werden.
 - c) Wenn vor der Zusammenführung die Komponente 1 erhitzt wurde, erfolgt ebenfalls die Reaktion. Komponente 1 ist also hitzestabil. Wenn vor der Zusammenführung die Komponente 2 erhitzt wurde, erfolgt keine Reaktion.
 - ⑧ Stellen Sie Hypothesen über den Aufbau des Enzyms auf, welches hier aktiv ist.
 - Das beteiligte Enzym muss aus verschiedenen Komponenten bestehen, die teilweise durch eine Dialysmembran diffundieren können. Wenn man – aus Schülerperspektive – davon ausgeht, dass mehrere Enzyme untersucht werden, könnte man auch darüber spekulieren, dass die Enzyme teilweise durch den Dialyseschlauch diffundieren können. Dies ist aber aufgrund der Größe von Enzymen nicht möglich.
 - ⑨ Begründen Sie Ihre Hypothesen anhand der einzelnen Experimente.
 - Die Versuchsreihe 1 zeigt, dass Enzyme aus Komponenten aufgebaut sein können. Diese Komponenten sind löslich und können durch Dialyse voneinander getrennt werden. Versuchsreihen 1 und 2 zeigen, dass beide Komponenten vorhanden sein müssen, damit die katalysierte Reaktion beobachtet werden kann. Versuchsreihe 2 zeigt, dass die Komponenten verschieden empfindlich gegenüber Hitze sind. Lösung 1 enthält die hitzestabile Komponente, denn die Reaktion fand statt, obwohl man Lösung 1 erhitzt hatte. (Wahrscheinlich handelt es sich um das Mg^{2+}). Anteil Lösung 2 enthält den hitzelabilen Anteil, also das Protein und das ThiaminDIPhosphat.
- Es wird jeweils nach dem Einfluss des im Versuch veränderten Parameters auf die Enzymaktivität gefragt. Hat folgender Parameter einen Einfluss auf die Enzymaktivität?
 Versuch 2: Reaktionsoberfläche
 Versuch 3: pH-Wert
 Versuch 4: Schwermetall Kupfer
 Versuch 5: hohe Temperatur
 Versuch 6: Temperatur
 Versuch 8: Substratkonzentration
 Versuch 9: Thioharnstoff, ein dem Substrat ähnliches Substrat, das als wassergefährdend eingestuft wird.
- ② Führen Sie die Versuche durch.
 - ③ Protokollieren Sie Material, Durchführung und Beobachtungen.
 - ④ Formulieren Sie die Schlussfolgerungen als Antwort auf die Fragestellung.
 - ⑤ Formulieren Sie zu den Versuchen mit Lactase eine Fragestellung und das Versuchsergebnis.
 - Kann man schon einmal verwendete Enzyme erneut für weitere Reaktion einsetzen?
 Der Versuch zeigt, dass die in Alginat eingebetteten Enzyme mehrfach hintereinander die Reaktion zur Glucose katalysiert.
 - ⑥ Leiten Sie aus dem Ergebnis eine Eigenschaft von Enzymen ab.
 - Enzyme gehen aus den katalysierten Reaktionen (weitgehend) unverändert hervor.
 - ⑦ Diskutieren Sie Vor- und Nachteile der Einbettung eines Enzyms in Alginat.
 - Alginat verhindert die freie Diffusion der an der Reaktion beteiligten Enzyme, Substrate und Produkte, allerdings kann das Enzym auch aus der Lösung mit einem einfachen Sieb entnommen werden.
 - ⑧ Welche Geschmacksveränderung erwarten Sie in Lactasebehandelter Milch?
 - Da der Glucosegehalt gestiegen ist, sollte die behandelte Milch süßer schmecken (vgl. Tabelle S. 76)
 - ⑨ Erläutern Sie mögliche Anwendungen der eingebetteten Lactase in der Lebensmittelindustrie.
 - In der Bevölkerung wächst der Anteil an Menschen, die im Erwachsenenalter Laktose nicht verdauen können. Daher wächst der Bedarf an laktosefreier Milch. Mit Hilfe der eingebetteten Lactase kann der Milch die störende Lactose entzogen werden. Die eingesetzten Lactase-Alginat-Perlen können leicht entnommen und für weitere Prozesse eingesetzt werden.

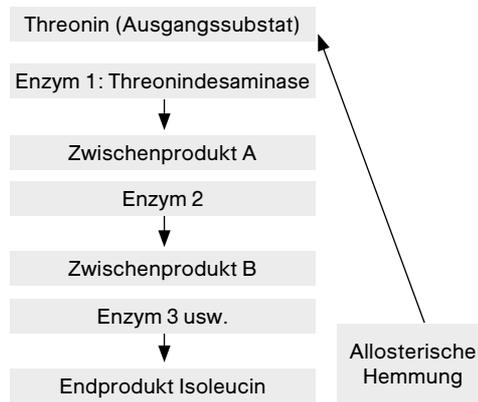
Schülerbuch Seite 71

- ① Zeichnen Sie die Kurve von Abb. 1 unter den Bedingungen einer schrittweisen Erhöhung der Substratmenge über die optimale Konzentration hinaus.
 - Die Kurve sollte leicht fallen, da sich die Substrate gegenseitig beim Zugang zu den Enzymen behindern. Substrathemmung.

Schülerbuch Seite 68/69

- ① Lesen Sie die Anleitungen und formulieren Sie für alle Versuche jeweils die leitende Fragestellung.

- ② Ordnen Sie die modellhaften Darstellungen (a, b, c) in Abb. 1 den Stellen 1, 2, 3 der Kurve zu. Begründen Sie.
- 1 b, 2 c, 3 a.
- Die in den drei Grafiken (abc) dargestellten vier Enzym-Moleküle haben in Abb. b) zunächst wenig Substrate in unmittelbarer Nähe, entsprechend ist auch nur ein aktives Zentrum besetzt, in Abb. c sind schon vier Enzyme durch die dichter auftretenden Substrate besetzt, bis in Abb. a alle Enzyme mit einem Substrat dargestellt werden.
- ③ Erläutern Sie die Gründe dafür, dass hohes Fieber von 42° C lebensbedrohliche Folgen hat.
- Diese Temperatur führt zu Denaturierung wichtiger Enzyme im menschlichen Körper, so dass lebenswichtige Prozesse nicht mehr ablaufen können. Dies wiederum führt zu weiteren Aufstößen und schließlich zum Tode.
- ④ Stellen Sie eine begründete Hypothese für einen biologischen Regulationsmechanismus auf, mit dem die Enzymaktivität reguliert werden könnte.
- Im menschlichen Verdauungstrakt wird die Aktivität der Verdauungsenzyme über den pH-Wert der Verdauungssäfte reguliert. Denkbar ist auch die Regulation über die Substratkonzentration, die durch den Körper verändert werden könnte. Im gleichwarmen Organismus fällt der Faktor Temperatur als Möglichkeit zur Beeinflussung der Enzymaktivität aus.



- ④ Vergleichen Sie die Kurven zur Substratabhängigkeit bei kompetitiver und allosterischer Hemmung.
- Bei der kompetitiven wird V_{max} bei einer höheren Substratkonzentration erreicht, bei der allosterischen Hemmung wird V_{max} nicht erreicht.
- ⑤ Stellen Sie dar, wie sich die Kurven kompetitiver und allosterischer Hemmung bei einer Erhöhung der Hemmstoffkonzentration verändern.
- Bei erhöhter Hemmstoffkonzentration wird bei der kompetitiven Hemmung der V_{max} -Punkt weiter in Richtung auf eine noch höhere Substratkonzentration verschoben. Bei der allosterischen Hemmung wird die Geschwindigkeit der Substratumsetzung weiter herabgesetzt, die Kurve verläuft also flacher.

Schülerbuch Seite 73

- ① Erläutern Sie die Wirkung des Allopurinols.
- Das Medikament Allopurinol konkurriert mit dem körpereigenen Hypoxanthin um das Enzym Xanthinoxidase, so dass weniger Substrat Hypoxanthin zu dem schädlichen Produkt Harnsäure umgesetzt wird. Es handelt sich um ein Beispiel für eine kompetitive Hemmung eines Enzyms.
- ② Erklären Sie die Empfehlung der Ärzte, gleichzeitig mit Allopurinol eine Diät einzuhalten, die wenig Harnsäure entstehen lässt.
- Da es sich um eine kompetitive Hemmung handelt, hat eine große Menge an Purinen in der Nahrung zur Folge, dass das körpereigene Hypoxanthin sich gegen das Allopurinol mengenmäßig durchsetzt. Allopurinol kann nicht häufig genug die Xanthinoxidase besetzen. Ohne purinarme Diät würde also immer noch zu viel Harnsäure gebildet.
- ③ Stellen Sie mit einem Flussdiagramm die Vorgänge der allosterischen Hemmung am Beispiel Isoleucin dar.

Schülerbuch Seite 76/77

- ① Unter welchen Reaktionsbedingungen müssen die Waschmittel-Proteasen wirksam sein?
- Im alkalischen Milieu und bei Temperaturen bis mindestens 40° C
- ② Mit welchem Experiment könnte man die Reinigungswirkung eines Waschmittels mit Protease gegenüber einem enzymfreien Mittel überprüfen?
- Man könnte Wäsche benutzen, die besonders stark mit Eiweiß verschmutzt ist. Diese Verschmutzungen müsste das proteasehaltige Waschmittel besser reinigen können. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, das Waschmittel zu erhitzen, um dadurch die Enzyme zu denaturieren.
- ③ Welche Enzyme würden Sie in einem Waschmittel noch vermuten? Begründen Sie Ihre Hypothese.
- Lipasen, also Enzyme, die Fette lösen können.
- ④ Ein Hausmittel zur Reinigung hartnäckiger Verschmutzungen ist „Gall-Seife“, sie enthält Emulgatoren aus Rindergalle. Begründen Sie, warum ein Einsatz von Emulgatoren die Wirkung der Waschenzyme unterstützen kann.
- Emulgatoren sorgen dafür, dass Schmutzpartikel in kleineren „Portionen“ in wässriger

Lösung erhalten bleiben. Somit wird den Enzymen eine größere Angriffsfläche gewährt.

- ⑤ Erklären Sie, warum sich die Bakterien der Gattung Bacillus so gut für die großtechnische Gewinnung der Proteasen eignen.
 - Die Enzyme werden schon von den Bakterien ausgeschieden und müssen nicht mit hohem Aufwand den Organismen entnommen werden. Die Bakterien können also weiter produzieren.
- ⑥ Erklären Sie die Funktion der drei Enzyme im Recyclingprozess.
 - Lipase lösen die unpolaren Anteile der Druckerfarben. Xylanasen zersetzen Anteile des Papiers, nämlich die Hemizellulose. Laccasen bleichen das Papier.
- ⑦ Stellen Sie in einer Liste die Vor- und Nachteile von Recyclingpapier zusammen.
 - Den genannten Vorteilen an eingesparter Energie und Wasser steht gegenüber, dass Recycling-Papier einen „Grauton“ und eine rauere Oberfläche besitzt, die z. B. bei Druckern oder Kopierern die Walzen stärker abnutzt.
- ⑧ Begründen Sie, warum im Gegensatz zur Bundesrepublik, die Verwendung von Flüssigzucker in den USA deutlich stärker verbreitet ist.
 - In den USA wird Mais in höherem Umfang angebaut als in Europa. Flüssigzucker wird aus diesem Rohstoff gewonnen.
- ⑨ Stellen Sie in einem Flussdiagramm die Herstellung von Invertzucker dar.

Amylasen Glucoamylase Glucoisomerase
 Maisstärke → Stärkebruchstücke → Glucose → Invertzucker

- ⑩ Erklären Sie die hohe relative Süßkraft des Invertzuckers.
 - Invertzucker besteht aus Fructose und Glucose, es addieren sich also die Süßkräfte.
- ⑪ Recherchieren Sie, welche Organismen bei der Produktion von Vollmilch, Butter, Sahne, Quark, Joghurt, Hartkäse, Camembert und Molke beteiligt sind.
 - Vollmilch (Rind, Ziege, Schaf), Butter (bei Sauerrahmbutter Milchsäurebakterien, ansonsten der Mensch mit „Stampfen“), Sahne (vgl. Butter), Quark (Milchsäurebakterien), Joghurt (Milchsäurebakterien), Hartkäse (Milchsäurebakterien und Lab: die Labenzyme stammen aus Kälbermägen, heute aber biotechnologisch veränderte Bakterien), Camembert (vgl. Käsegewinnung und Schimmelpilze) und Molke (ein „Abfallprodukt“ der Käseproduktion)
- ⑫ Erklären Sie die Wirkungsweise der zur Milchgerinnung eingesetzten Enzyme und die Ursache der Gerinnung.
 - Bei den Labenzymen handelt es sich um Chymosin und Trypsin. Sie spalten die Milchproteine z. B. Kasein.
- ⑬ Erläutern Sie die Vorteile des Einsatz der Enzyme gegenüber den klassischen Methoden.
 - Mit Hilfe der Enzyme können die Pektine schonend abgebaut werden, so dass Geschmacks- und Inhaltsstoffe weitgehend

erhalten bleiben. Ebenso kann man auf aufwändiges Filtrieren verzichten.

- ⑭ Erklären Sie, wie der Penicillingehalt mit Hilfe des Enzyms Penicillin-Acylase bestimmt werden kann.
 - Das Enzym stellt aus dem Penicillin Säuren her. Die Veränderungen im pH oder in der Leitfähigkeit des Kulturmediums kann durch eine kontinuierliche pH- oder Leitfähigkeitsmessung leicht überwacht werden.
- ⑮ Welche Vorteile bietet der Biosensor gegenüber dem bisherigen Verfahren?
 - Kontinuierliche, die Produktion nur geringfügig störende Sonden ermöglichen schnellere und präzisere Messungen. Die nur in zeitlichen Abständen entnommenen Stichproben mussten dann erst auf den Penicillingehalt hin untersucht werden.
- ⑯ Schlagen Sie weitere Einsatzmöglichkeiten dieser Technologie vor.
 - Weitere Einsatzmöglichkeiten lassen sich überall dort vermuten, wo Keimzahlen in oder auf Gegenständen bestimmt werden sollen, so z. B. im Krankenhäusern.
- ⑰ Diskutieren Sie mögliche Fehlerquellen bei dieser Methode zur Bestimmung der Keimzahl.
 - Der erste Schritt in diesem Nachweisprozess – das Abspülen der Bakterien – ist nur in eingeschränktem Maße zu standardisieren. Ebenso muss das Verhältnis zwischen dem nachgewiesenen ATP und der daraus abgeleiteten Bakterienzahl für die entsprechenden Proben genau bestimmt werden, da die ATP-Menge in den Bakterien sicherlich nicht konstant ist.
- ⑱ Begründen Sie den vorteilhaften Einsatz von Enzymen am Beispiel der rechts- und linksdrehenden Milchsäure.
 - Beim Menschen wird die rechtsdrehende Form rasch verdaut, während die linksdrehende D(-) Milchsäure langsamer vom Organismus abgebaut wird. Linksdrehende Milchsäure sollte daher z. B. in Säuglingsnahrung nicht enthalten sein. Gezieltes Beimpfen mit Enzymen, die die linksdrehende Milchsäure in Nahrungsmittel abbauen, können Lebensmittel somit besser verträglich machen.

Schülerbuch Seite 78

- ① Beschreiben Sie Abb. 1a und 1b. Erläutern Sie allgemein und anhand je eines selbst gewählten Beispiels die dargestellten Funktionen der Membranen.
 - a) direkter aktiver Transport mit ATP als Energielieferant. Beispiel Seite 51.
 - b) Hormone, die nicht durch die Membran transportiert werden können, aktivieren ein membrangebundenes Enzym.
- ② Die in Abb. 1c und 1d gezeigten Proteine sind Ihnen vermutlich noch unbekannt. Entwickeln Sie begründete Hypothesen, welche Funktion das Protein jeweils haben könnte. Erläutern Sie diese mithilfe selbst gewählter Beispiele. Überprüfen Sie Ihre Vermutungen.

- c) Erkennung körpereigen – körperfremd.
 - d) Enzyme einer Reaktionskette sind in der richtigen Reihenfolge in einer Membran angeordnet, z. B. bei der Endoxidation.
- ③ Begründen Sie, welche Konzentrationen an gelösten Stoffen Sie in den Zellen von Meeresalgen im Vergleich zu Süßwasseralgen erwarten.
- Meeresalgen weisen eine höhere Salzkonzentration auf, da sie im umgebenden salzhaltigen Meerwasser sonst durch Plasmolyse zerstört würden.
- ④ Wenn eine welk gewordene Zimmerpflanze gegossen wird, soll man dem Gießwasser keinen Dünger zusetzen. Begründen Sie. Nach einigen Minuten hat sich die Pflanze meist erholt. Erläutern Sie den dabei ablaufenden Stofftransport.
- Dünger würde die Konzentration des Gießwassers erhöhen, die Pflanzenzelle könnte somit weniger Wasser aufnehmen. In der welken Pflanze weist der Zellsaft eine hohe Stoffkonzentration auf und saugt das Gießwasser stark an.
- ⑤ Begründen Sie, ob die Aussage „es gibt keinen CO₂-Ausstoß“ wissenschaftlich haltbar ist.
- Beim oxidativen Abbau (Verbrennung) organischer Stoffe entstehen Kohlenstoffdioxid und Wasser, die Aussage ist falsch. Allerdings haben die Algen während ihres Wachstums entsprechende Mengen Kohlenstoffdioxid gebunden.
- ⑥ Erläutern Sie, welche Gründe für Algen als Energielieferanten sprechen.
- Algen sind leicht zu halten, wachsen rasch, sind anspruchslos in der Pflege, stehen in großen Mengen zur Verfügung.
- ⑦ Erläutern Sie, welche Bedingungen in den Foto-Bioreaktoren eingehalten werden müssen, damit die Algen sehr schnell wachsen.
- Kohlenstoffdioxid, Licht, Mineralstoffe müssen zur Verfügung stehen. Die Optima hinsichtlich Temperatur, pH-Wert müssen eingehalten werden.
- ⑧ Beschreiben Sie, welche Verarbeitungsschritte erforderlich sind, um aus der Biomasse Treibstoff zu erhalten.
- Gewinnung der Algen aus dem Wasser, Trocknen, Aufbrechen der Zellwände, Bildung des Treibstoffs.
- ⑨ Beschreiben Sie die Struktur dieses Enzyms, gehen Sie dabei insbesondere auf die erkennbaren Sekundär- und Tertiärstrukturen ein.
- β -Faltblatt- und α -Helix-Abschnitte sind erkennbar.
- ⑩ Die Verwendung in Waschmitteln erfordert bestimmte Eigenschaften des Enzyms. Begründen Sie Ihre Erwartungen hinsichtlich Temperaturoptimum, pH-Optimum und Substratspezifität.
- Die Enzyme sollten bei den üblichen Waschttemperaturen von 30 bis 40°C (evtl. 50°C) aktiv sein. Da Leitungswasser in verschiedenen Gegenden sich im pH-Wert unterscheiden kann, sollte das pH-Optimum möglichst breit sein. Die Substratspezifität sollte gering sein, um unterschiedliche Verschmutzungen hydrolysieren zu können.
- ⑪ Erläutern Sie anhand des Beispiels (Abb. 4) die Charakteristika enzymatischer Reaktionen.
- Bindung von Substrat und Cosubstrat an das aktive Zentrum. Trennen alter Bindungen und Ausbilden neuer Bindungen.
- ⑫ Erstellen Sie eine tabellarische Übersicht zur Bedeutung des ATP bei biologischen Prozessen.
- ATP ist beispielsweise beteiligt an: Bildung energiereicher Stoffe, an aktiven Transportvorgängen, an Bewegungsvorgängen.
- ⑬ Glykol (Ethandiol) wird u. a. als Frostschutzmittel für Autokühler verwendet. Da es sehr süß schmeckt, wurde es früher auch missbraucht, um minderwertigen Wein „lieblicher“ zu machen. Vergiftungen mit Glykol kann man behandeln, indem man dem Patienten große Mengen Alkohol (Ethanol) zu trinken gibt. Das Enzym Alkoholdehydrogenase oxidiert Ethanol zu Ethanal, aber auch Glykol zu der giftigen Oxalsäure. Vergleichen Sie die Strukturformeln der beiden Stoffe und erläutern Sie, weshalb Glykolvergiftungen mit Ethanol behandelt werden können.
- Ethanol: Ethylrest mit einer Hydroxylgruppe. Ethandiol: Ethylenrest mit zwei Hydroxylgruppen. Ethanol kann aufgrund der ähnlichen Struktur Ethandiol kompetitiv vom aktiven Zentrum verdrängen.
- ⑭ Beschreiben Sie die Abbildung 5 und erklären Sie den Kurvenverlauf.
- Steigende Aktivität mit steigender Temperatur gemäß RGT-Regel. Denaturierung des Enzymmoleküls mit steigender Temperatur. Resultat: Optimumkurve
- ⑮ Entwerfen Sie eine Versuchsanleitung zur experimentellen Ermittlung derartiger Ergebnisse. Geben Sie an, welche Versuchsbedingungen konstant gehalten, bzw. welche variiert werden müssen.
- wesentlicher Aspekt: Es darf stets nur eine Versuchsbedingung verändert werden, alle anderen müssen konstant gehalten werden.
- ⑯ Erläutern Sie die verschiedenen Möglichkeiten zur Hemmung von Enzymen.
- siehe Seite 70ff
- ⑰ Erläutern Sie anhand des abgebildeten Beispiels, wie und warum Stoffwechselwege reguliert werden müssen.
- Isoleucin wirkt regulierend auf das Enzym Threonin-Desaminase, welches Threonin zu Ketobutyrat umsetzt. Dies ist ein Rückkopplungsmechanismus (feed-back-Mechanismus) zur Steuerung der Biosynthese von Isoleucin aus Threonin je nach Verbrauch von Isoleucin bei der Proteinsynthese. Diese Regulation findet auch zu Beginn der Enzymkette statt, sodass kein (schädliches) Zwischenprodukt angehäuft wird.
- ⑱ Begründen Sie, welche der besprochenen Möglichkeiten der Enzymhemmung den Stoffwechselweg in Abbildung 6 sinnvoll regulieren könnten.

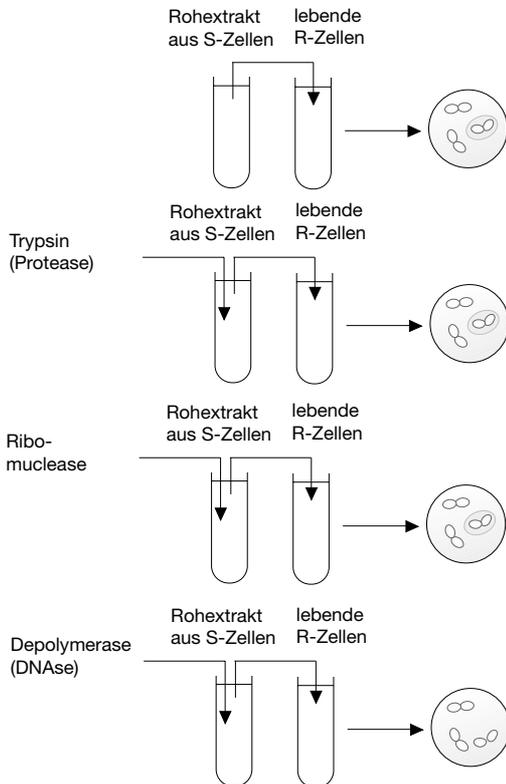
- *Es handelt sich um eine allosterische Endproduktthemmung. Diese muss reversibel und kompetitiv sein.*
- ①9 Erläutern Sie, welche Versuchsergebnisse Sie in den verschiedenen Versuchsansätzen erwarten. Erläutern Sie insbesondere die Bedeutung der Ansätze 1 und 2.
- *Versuch 1 ist der Kontrollversuch, mit dem geprüft wird, wie Proteine sich in Wasser bei 37°C verhalten. Versuch zeigt die Hydrolyse von Proteinen in salzsaurer Lösung ohne Beteiligung von Proteinen.*

Genetik

Bau und Bedeutung der DNA

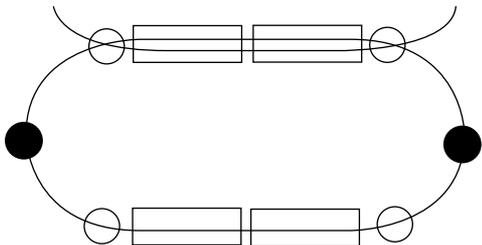
Schülerbuch Seite 83

- OSWALD AVERY behandelte abgetrennte DNA zusätzlich mit proteinspaltenden Enzymen (Proteasen) und die Proteine mit DNA-spaltenden Enzymen (DNAsen). Begründen Sie diese Maßnahme.
 - AVERY wollte sicher gehen, dass in den DNA-Präparationen keine Proteine und in den Proteinpräparationen keine DNA-Moleküle mehr enthalten sind.
- AVERY versetzte die Bakterienkulturen mit Blutserum. Serum enthält eine Reihe von Enzymen. Hitzebehandeltes Serum beeinträchtigte seine Versuche nicht. Unbehandeltes Serum hingegen verhinderte oftmals eine Transformation von R-Zellen durch isolierte DNA aus S-Zellen. Erklären Sie.
 - Serum enthält unter anderem auch DNAsen. Im nicht behandelten Serum sind die DNAsen aktiv und zerstören die DNA-Moleküle. Eine Transformation bleibt aus. Eine Hitzebehandlung denaturiert diese Enzyme. Die DNA in den Extrakten wird dann nicht abgebaut.
- In einem Brief an seinen Bruder beschreibt AVERY im Jahr 1943 seine Versuche (s. Abb.). Erstellen Sie ein Versuchsschema nach der Vorlage von Abb. 2.



Schülerbuch Seite 85

- Erstellen Sie aus geeigneten Materialien ein Strukturmodell der DNA. Ermitteln Sie den Durchmesser Ihres DNA-Doppelstrangs und berechnen Sie, welche Länge die DNA einer menschlichen Zelle in diesem Maßstab hätte.
 - *Individuelle Lösung, zum Beispiel DNA-Doppelhelix aus Perlen*
 Materialien: feiner Draht, runde Perlen in zwei verschiedenen Farben (Zucker, Phosphat), Stiftperlen in vier verschiedenen Farben (vier Basen)
 Durchführung: Farben für die Basen (A, T, G, C) festlegen, etwa 85 cm Draht abmessen und Perlen entsprechend der Abbildung auffädeln. Dann Stickleiter spiralg aufdrehen.



- Eine Base auf einem DNA-Strang hat einen Informationsgehalt von 2 bit, da sie $2^2 = 4$ Zustände (A, T, G bzw. C) annehmen kann. Berechnen Sie den Informationsgehalt der DNA einer menschlichen Zelle. Vergleichen Sie mit einer CD bzw. einer DVD.
 - Ein Basenpaar der DNA hat einen Informationsgehalt von $2 \text{ bit} = 0,25 \text{ Byte}$. Die menschliche DNA enthält rund 6 Milliarden Basenpaare. Damit ergeben sich $0,25 \times 6 \times 10^9 \text{ Byte} = 1,5 \text{ Gigabyte}$. Das entspricht der Speicherkapazität von 2 CDs mit je 750 Megabyte. Auf eine DVD passt mit 4,7 Gigabyte mehr als die dreifache Datenmenge.

Schülerbuch Seite 86

- Beschreiben Sie das Aussehen der DNA, die sich an der Phasengrenze sammelt.
 - An der Phasengrenzfläche sammelt sich eine weiße geleeartige, Fäden ziehende Masse, die ausgefällte DNA. Sie lässt sich leicht auf einen Holzstab aufwickeln und so aus der Flüssigkeit isolieren.
- Erläutern Sie, weshalb die Extraktionslösung Spülmittel enthält.
 - Die Zell- und Kernmembranen werden durch die Tenside des Spülmittels zerstört.
- Kiwis enthalten proteinspaltende Enzyme (Proteasen). Erläutern Sie, weshalb sich diese Früchte für eine DNA-Extraktion besonders eignen.
 - DNA ist mit Histonen assoziiert, diese werden durch Proteasen abgebaut.
- Beschreiben Sie ein prinzipielles Vorgehen, wie man mithilfe von DNAse prüfen kann, ob es sich bei der isolierten Substanz um DNA handelt.

- Nachdem Ausfällen der DNA zwischen den beiden Phasen, muss man diese in ein separates RG übertragen. In einem weiteren RG befindet sich bereits DNA in einer Pufferlösung. Bei Zugabe von DNase löst sich die DNA in den RG auf.
- ⑤ Beschreiben Sie das Aussehen der DNA, die sich an der Grenze zwischen den Phasen sammelt.
- An der Phasengrenzfläche sammelt sich eine weiße geleeartige, Fäden ziehende Masse, die ausgefällte DNA. Sie lässt sich leicht auf einen Holzstab aufwickeln und so aus der Flüssigkeit isolieren.
- ⑥ Bei manchen Anleitungen zur Ausfällung der DNA wird Waschmittellösung zugegeben. Waschmittel enthalten Proteasen. Proteasen sind proteinspaltende Enzyme. Mit welchen Proteinen ist die DNA assoziiert? Erläutern Sie.
- DNA ist mit Histonen assoziiert, diese werden durch Proteasen abgebaut.
- ⑦ Beschreiben Sie Ihre Beobachtung und geben Sie eine mögliche Erklärung.
- Die Plastikwürfelchen befinden sich in der Schicht, die ihrer Dichte entspricht.

DNA wiederum zufällig verteilen, die Doppelstränge wären also „viertelschwer“.

- ② Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse der Dichtegradientenzentrifugation der Bakterien-DNA. Geben Sie an, welche „Schwere“ die DNA der Bakterien nach der ersten Replikation hat. Vergleichen Sie mit den bei den drei verschiedenen Replikationsmechanismen zu erwartenden Verhältnissen. Begründen Sie, weshalb dieser Befund nicht mit einem konservativen Replikationsmechanismus vereinbar ist.
- Nach einer ersten Replikation liegt im Versuch nur halbschwere DNA vor. Halbschwere DNA kann nach einem ersten Replikationszyklus nur bei einer semikonservativen oder einer dispersen Replikation entstehen. Der konservative Mechanismus steht damit im Gegensatz zu den experimentellen Ergebnissen und scheidet aus.
- ③ Leiten Sie aus den Ergebnissen in Abbildung 2 ab, welche DNA-Varianten nach zwei Replikationen vorliegen. Geben Sie auch die Mengenverhältnisse der verschiedenen DNA-Varianten an. Begründen Sie, weshalb ein disperser Replikationsmechanismus damit ausgeschlossen werden kann.
- Nach zwei Replikationszyklen liegt zur Hälfte halbschwere und zur Hälfte leichte DNA vor. Mit diesem Ergebnis scheidet die disperse Replikation aus. Bei einer dispersen Replikation wäre nach zwei Replikationen ausschließlich „viertelschwere“ DNA zu erwarten.
- ④ Welche Ergebnisse erwarten Sie nach der dritten Replikation auf Nährmedium mit ^{14}N ? Begründen Sie Ihre Aussage.
- Nach einer weiteren Replikation auf Nährmedium mit ^{14}N werden zu den beiden schweren Einzelsträngen zwei leichte synthetisiert. Es entstehen also zwei halbschwere DNA-Doppelstränge. Zu den sechs leichten Einzelsträngen werden ebenfalls sechs leichte Doppelstränge. Halbschwere und leichte DNA stehen somit im Verhältnis 1 : 3.
- ⑤ Welche Ergebnisse wären bei den beschriebenen Versuchen zu erwarten, wenn die Replikation konservativ verlief? Zeichnen Sie die zu erwartenden Bandenmuster.
- Bei einer konservativen Replikation bliebe immer schwere DNA erhalten, die Menge an leichter DNA würde sich mit jeder Generation verdoppeln. Das bedeutet nach einer Replikation ein Verhältnis von schwerer zu leichter DNA von 1 : 1, nach der zweiten Replikation 1 : 3 und nach der dritten 1 : 7.

Schülerbuch Seite 87

- ① Abbildung 1 zeigt die DNA-Varianten von drei aufeinander folgenden Bakteriengenerationen unter Annahme eines konservativen, eines semikonservativen bzw. eines dispersen Replikationsmechanismus. Charakterisieren Sie die dargestellte DNA als „schwer“, „halbschwer“ oder „leicht“.
- Bei einem konservativen Replikationsmechanismus läge nach der ersten Replikation der schweren Ausgangs-DNA ein schwerer und ein neu synthetisierter, leichter DNA-Doppelstrang vor. Nach einem zweiten Replikationszyklus bliebe wiederum der schwere Doppelstrang erhalten. Zu ihm wurde ebenso wie zu dem zweiten leichten ein leichter synthetisiert, sodass ein schwerer und drei leichte Doppelstränge resultieren. Bei einem semikonservativen Mechanismus würde im ersten Replikationszyklus der schwere Doppelstrang in zwei Einzelstränge getrennt und zu jedem der beiden schweren Einzelstränge ein neuer leichter synthetisiert. Es entstünden also zwei halbschwere Doppelstränge. Im nächsten Replikationszyklus würden wieder die Doppelstränge getrennt und leichte Einzelstränge neu synthetisiert, es resultieren dann zwei halbschwere und zwei leichte Doppelstränge. Bei einem dispersen Replikationsmechanismus würde ursprüngliche schwere und neue leichte DNA zufällig auf die entstehenden Doppelstränge verteilt. Es entstünden nach dem ersten Replikationszyklus zwei Doppelstränge, die im Mittel zu gleichen Teilen schwere und leichte DNA enthielten. Sie wären also halbschwer. Nach einem zweiten Replikationszyklus würde sich die schwere

Schülerbuch Seite 89 — Zettelkasten

- ① Beschreiben Sie das in Abb. 2 gezeigte Modell. Geben Sie an, wofür die einzelnen Bestandteile stehen.
- Einer der beiden DNA-Einzelstränge bildet eine Schleife. Im Schleifenbereich ist die DNA beider Stränge parallel ausgerichtet. So kann die Synthese beider Tochterstränge durch die DNA-Polymerase stückweise gleichsinnig erfolgen.
Das gelbe und das rote Band stellen die beiden DNA-Einzelstränge dar. Die dünnen Pfeile zeigen jeweils von 3' nach 5'. Die beiden Pappröhren stehen für die beiden miteinander verbundenen Syntheseeinheiten der DNA-Polymerase. Die dicken Pfeile geben die Wanderungsrichtung der DNA-Polymerase an. Es wird jeweils das 3'-Ende (der hier nicht dargestellten) Tochterstränge verlängert.

Schülerbuch Seite 91

- ① Ordnen Sie die Fotos der Abb. 2 den Phasen des Zellzyklus zu.
- ② Geben Sie für jedes Foto der Abb. 2 an, aus wie vielen Chromatiden ein Chromosom besteht.

Foto	Phase	Anzahl der Chromatiden
Oben, links	Frühe Prophase	2
Oben, Mitte	Frühe Telophase	1
Oben, rechts	Metaphase	2
Unten, links	Späte Anaphase	1
Unten, Mitte	Frühe Anaphase	1
Unten, rechts	Späte Telophase	1

- ③ Ordnen Sie die Phasen A bis D in Abb. 4 den einzelnen Phasen des Zellzyklus zu und begründen Sie Ihre Zuordnung.

Phase	Phase des Zellzyklus	Begründung
A	G1-Phase	Ein-Chromatid-Chromosomen
B	Synthese-Phase	Kopieren der DNA, Verdopplung der DNA-Menge
C	G2-Phase	Zwei-Chromatid-Chromosomen
D	Mitose	Längsteilung der Chromosomen, Zellteilung

- ④ DNA-Replikation vermehrt das genetische Material einer Zelle. Erläutern Sie, durch welche Prozesse es vermindert wird.
- Sowohl bei der Mitose als auch bei der Meiose wird das genetische Material der Zelle vermindert. Bei einer mitotischen Teilung einer Zelle wird die vorher kopierte DNA gleichmäßig auf die beiden Tochterzellen verteilt. Jede Tochterzelle erhält somit die selbe genetische Information wie die Mutterzelle. Bei der Meiose (Reduktionsteilung) werden die homologen Chromosomen getrennt und auf die Tochterzellen verteilt. Die Chromosomenzahl wird halbiert und eine Keimzelle enthält so nur einen geringeren Teil der genetischen Information der Mutterzelle.

Schülerbuch Seite 91 — Zettelkasten

- ① Zählen Sie die Anzahl der Zellen in den unterschiedlichen Mitosephasen und tragen Sie die Werte in eine Tabelle ein.
- ② Ermitteln Sie für die Zellen in den einzelnen Mitosephasen jeweils den prozentualen Anteil an der Gesamtzellzahl.
- ③ Errechnen Sie aus den prozentualen Anteilen die zeitliche Dauer für die einzelnen Mitosephasen unter der Annahme, dass der Vorgang der Mitose bei Zwiebelzellen 2,5 Stunden dauert.

	Anzahl	Anteil %	Dauer
Interphase	25	78	
Mitose (gesamt)	7	22	2h 30min
Prophase	4	18	2h 2 min
Metaphase	1	1,3	9 min
Anaphase	1	1,3	9 min
Telophase	1	1,3	9 min

- ④ Vergleichen Sie die Ergebnisse dieser Untersuchung mit den Werten aus Abbildung 3.
- Bis auf die Dauer der Telophase stimmen die Werte in etwa überein. Dies kann einfach daran liegen, dass zufällig in diesem Anschnitt sehr wenige Zellen in der Telophase sind.

Vom Gen zum Merkmal

Schülerbuch Seite 92

- ① Geben Sie an, welches Gen bei den in Abb. 1 dargestellten Neurospora-Mutanten jeweils mutiert ist.
- Bei jeder Mangelmutante von Neurospora ist das Gen für ein bestimmtes Enzym defekt. Stellt man der Mutante aber im Nährmedium den Stoff zur Verfügung, der mithilfe dieses Enzyms aufgebaut wird, so hat ihr Stoffwechsel wieder alle benötigten Substanzen, vor allem das lebenswichtige Tryptophan zur Verfügung, die Zellen wachsen und vermehren sich wieder.
- Die Neurospora-Mutante 1 kann nur wachsen, wenn ihr direkt Tryptophan zur Verfügung gestellt wird. Die Vorstufen dafür nützen nichts. Demnach kann hier der letzte Syntheseschritt zum Tryptophan nicht vollzogen werden. Enzym 4, das die Reaktion von Indol zu Tryptophan katalysiert, ist aufgrund einer Mutation des zugehörigen Gens 4 defekt.
- Neurospora-Mutante 2 wächst auch, wenn Indol (oder direkt das daraus gebildete Tryptophan) zur Verfügung steht. Indol selbst kann hier nicht synthetisiert werden, das Enzym für die Reaktion von Anthranilsäure zu Indol ist aufgrund einer Mutation des zugehörigen Gens 3 defekt.
- Mangel-Mutante 3 kann aufgrund einer Mutation des Gens 2 keine Anthranilsäure synthetisieren, während Mangel-Mutante 4 aufgrund einer Mutation des Gens 1 keine Chorisminsäure aufbauen kann.

Schülerbuch Seite 93

- ① Beschreiben Sie die Stoffwechseleigenschaften der Bakterien der sechs Kolonien auf dem Vollmedium.

Bakterien der Kolonie	wachsen auf Minimalmedium mit Zusatz von			
	ohne Zusätze	Ornithin	Citrullin	Arginin
1	nein	nein	nein	ja
2	nein	nein	ja	ja
3	nein	nein	ja	ja
4	nein	ja	ja	ja
5	nein	ja	ja	ja
6	nein	nein	nein	ja

- ② Erläutern Sie den Begriff Mangelmutante und begründen Sie, dass es sich bei den untersuchten Bakterien ausschließlich um Mangelmutanten handelt.
- Als Mangelmutanten bezeichnet man Organismen, die aufgrund einer Mutation

bestimmte Stoffe nicht aufbauen können. Keiner der untersuchten Bakterientypen ist in der Lage, sich auf dem Minimalmedium zu vermehren und eine Kolonie zu bilden.

- ③ Nennen Sie Möglichkeiten, im Labor Mangelmutanten eines Bakteriums zu erzeugen.
- Mangelmutanten können beispielsweise durch Bestrahlung mit UV oder Röntgenstrahlung erzeugt werden.
- ④ Stellen Sie den Syntheseweg der Aminosäure Arginin in Form einer Genwirkkette dar.
- Vorstufe → Ornithin → Citrullin → Arginin
- | | | |
|---------|---------|---------|
| Enzym 1 | Enzym 2 | Enzym 3 |
| Gen 1 | Gen 2 | Gen 3 |
- mutiert bei: 4, 5 2, 3 1, 6
- ⑤ Erläutern Sie an diesem Beispiel die Ein-Gen-ein-Polypeptid-Hypothese.
- Ein Gen enthält die genetische Information für ein Polypeptid. Ist beispielsweise Gen 1 mutiert, so kann Enzym 1 nicht synthetisiert werden. Die Mangelmutanten 4 und 5 können Ornithin nicht herstellen und sich daher nur vermehren, wenn dem Minimalmedium Ornithin (bzw. Citrullin oder Arginin) zugesetzt wurde.
- ⑥ Ordnen Sie die beschriebenen Krankheitsbilder Mutationen der Gene der Enzyme A, B, C bzw. D zu. Begründen Sie.

Mutation am Gen für	Krankheitsbild	Begründung
Enzym A	Phenylketonurie	Anreicherung von Phenylalanin, Entstehung von Phenylketon, da kein Abbau zu Tyrosin möglich
Enzym B	Albinismus	Keine Bildung von Melanin möglich
Enzym C	Alkaptonurie	Anreicherung von Homogentisinsäure und Oxidation zum Alkaptan, da kein Abbau zu CO ₂ und H ₂ O möglich
Enzym D	Kretinismus	Keine Bildung von Thyroxin möglich

- ⑦ Die oben beschriebenen Stoffwechselstörungen treten nur auf, wenn beide homologen Chromosomen von dem Gendefekt betroffen sind. Geben Sie eine mögliche Erklärung.
- Liegt ein nicht mutiertes Allel neben einem mutierten vor, kann das betreffende Enzym

noch in ausreichender Menge synthetisiert werden.

- ⑧ Neugeborene werden heute routinemäßig auf PKU untersucht. Beschreiben Sie eine mögliche Therapie im Falle eines positiven Tests.
- Bei positivem Ergebnis wird eine phenylalaninarme und thyrosinreiche Diät verabreicht, das Gehirn entwickelt sich dann normal.
- ⑨ PKU-Kranke fallen häufig durch eine besonders helle Haut, helle Haarfarbe und helle Augen auf. Begründen Sie diese Symptome anhand des Phenylalaninstoffwechsels.
- Die Nahrung enthält zu wenig Thyrosin, um den normalen Bedarf zu decken. Phenylalanin ist aber in so großer Menge enthalten, dass sie auch für den Thyrosin-Bedarf ausreicht. PKU-Kranken fehlt aber das Enzym zur Synthese von Thyrosin aus Phenylalanin. Dadurch entsteht bei PKU-Kranken ein Mangel an Thyrosin und allen daraus gebildeten Stoffen. Zu ihnen gehört auch der Farbstoff Melanin, der für die Färbung der Haut, der Haare und der Iris des Auges verantwortlich ist.
- ⑩ Was ist bei einer Schwangerschaft einer PKU-kranken Frau zu beachten? Begründen Sie.
- Erwachsene PKU-Kranke erhalten meist eine einfache Diät. Da ihr Gehirn ausgereift ist, verursacht ein etwas erhöhter Phenylalaninspiegel keine Schäden. Das überschüssige Phenylalanin gelangt über die Plazenta aber auch in den Blutkreislauf von Embryonen und Feten und kann dort unter Umständen nicht mit der nötigen Geschwindigkeit abgebaut werden (Kinder einer PKU-Kranken sind ja zumindest heterozygot Träger des genetischen Defekts). So können Schäden an den Nervenzellen der Ungeborenen entstehen. Schwangere PKU-kranken Frauen müssen also ähnlich wie PKU-kranken Kinder eine strengere Diät erhalten und regelmäßig auf einen überhöhten Phenylalaninspiegel im Blut untersucht werden.

Schülerbuch Seite 95

- ① Geben Sie die m-RNA an, in die der folgende DNA-Abschnitt transkribiert wird.
- 5'AACTCCGATCTATGGCTTGGAAGA 3'
3'TTGAGGCTAGATACCGAACCTTCT 5'
- Der codogene DNA-Strang verläuft von 3' nach 5'. Die m-RNA lautet demnach:
5'AACUCCGAUCUAUGGCUUGGAAGA 3'.
- ② Vergleichen Sie tabellarisch DNA und RNA hinsichtlich Bausteinen, Aufbau, Länge und Funktion.

	DNA	RNA
Bausteine	Desoxyribose, Phosphorsäure, vier organische Basen (Adenin, Thymin, Cytosin, Guanin)	Ribose, Phosphorsäure, vier organische Basen (Adenin, Uracil, Cytosin, Guanin)

Aufbau	doppelsträngig	einsträngig
Länge	lang	kurz (nur Information eines Gens)
Funktion	sichere Speicherung der Erbinformation	Transport der genetischen Information vom Zellkern zu den Ribosomen

- ③ Vergleichen Sie die verschiedenen Formen von RNA-Molekülen in Bezug auf ihre Funktion (vergl. Kasten).

	m-RNA	t-RNA	r-RNA
Funktion	Transport der genetischen Information vom Zellkern zu den Ribosomen	Transport von Aminosäuren zu den Ribosomen	Bestandteil der Ribosomen

- ④ Stellen Sie tabellarisch DNA-Replikation und Transkription gegenüber, indem Sie die biologische Bedeutung, den Zeitpunkt im Zellzyklus, die zugehörigen Vorlagen, die beteiligten Enzyme sowie die verwendeten Nucleotide auflisten.

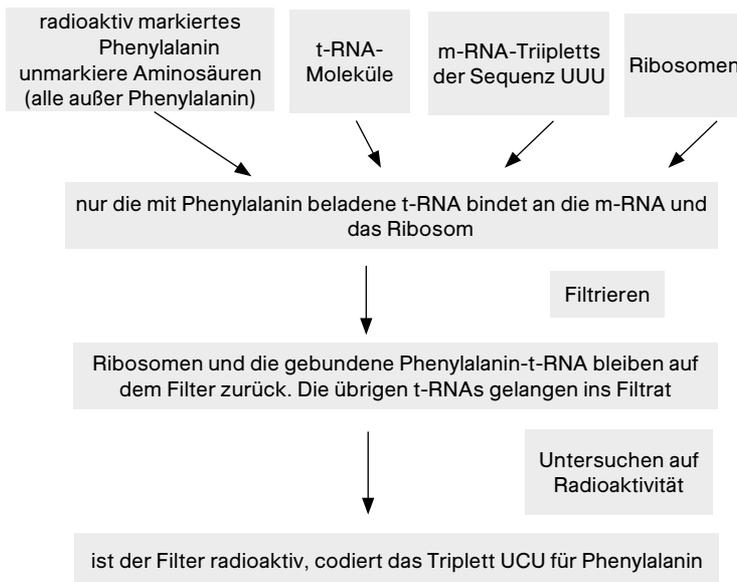
	DNA-Replikation	Transkription
Biologische Bedeutung	Kopieren von DNA vor der Zellteilung	Transport der genetischen Information vom Zellkern zu den Ribosomen
Zeitpunkt im Zellzyklus	Vor der Zellteilung (Synthesephase)	G1-Phase (Wachstumsphase) und G0-Phase (Dauerphase)
Zugehörige Vorlagen	Beide DNA-Einzelstränge	Codogener DNA-Strang
Verwendete Nucleotide	A-, T-, C-, G-Nucleotide	A-, U-, C-, G-Nucleotide

Schülerbuch Seite 96

- ① Suchen Sie das Startcodon und übersetzen Sie die folgende m-RNA in eine Aminosäurekette.
 5' UUAGAUGAGCGACGAACCCCUAAA-AUUUACCUAGUAGUAG 3'
 – m-RNA: 5' UUAG AUG AGC GAC GAA CCC CUA AAA UUU ACC UAG UAG UAG 3'
 Aminosäuresequenz: Met Ser Asp Glu Pro Leu Lys Phe Thr Stopp
- ② In welches Peptid wird folgender Abschnitt eines DNA-Strangs übersetzt?
 3' CTGGCTACTGACCCGCTTCTCTATC 5'
 – DNA: 3' CTGGC TAC TGA CCC GCT TCT TCT ATC 5'
 m-RNA: 5' GACCG AUG ACU GGG CGA AGA AGA UAG 3'
 Aminosäuresequenz: Met Thr Gly Arg Arg Arg Stopp

Schülerbuch Seite 97

- ① Skizzieren Sie den Versuchsaufbau von NIRENBERG und LEDERER, mit dem der genetische Code entschlüsselt wurde.



- ② Aufgrund der experimentellen Befunde lässt sich die Bedeutung der Triplets UUU und UCU erschließen. Geben Sie diese an.
 – UUU codiert für die Aminosäure Phenylalanin (Phe), UCU für die Aminosäure Serin (Ser).
- ③ Vor den Triplettsbindungstests wurden alle m-RNA-Moleküle der Herkunftszellen entfernt. Begründen Sie.
 – Codiert das untersuchte Basentriplett der m-RNA für die Aminosäure, die in diesem Ansatz radioaktiv markiert ist, bindet die mit dieser Aminosäure beladene t-RNA an die m-RNA und an das Ribosom. Beim Filtrieren werden das Ribosom und die daran gebundene mit der radioaktiv markierten Aminosäure beladene t-RNA auf dem Filter zurückgehalten,

da sie nicht durch dessen Poren passen. Das radioaktive Signal befindet sich dann auf dem Filter. Codiert das Basentriplett für eine andere Aminosäure, die im Ansatz nicht radioaktiv markiert war, bleibt die mit der markierten Aminosäure beladene t-RNA ungebunden und kann den Filter passieren. Die Radioaktivität ist dann im Filtrat nachweisbar.

m-RNA-Moleküle der Herkunftszellen könnten Codons enthalten, die für die radioaktiv markierte Aminosäure codieren. Dann würde die mit dieser Aminosäure beladene t-RNA an die m-RNA und an das Ribosom binden und auf dem Filter zurückgehalten werden. Die auf dem Filter detektierte Radioaktivität gäbe dann keinen Aufschluss über das Triplet, das für die markierte Aminosäure codiert, da nicht klar ist, ob die mit der markierten Aminosäure beladene t-RNA an ein m-RNA-Molekül der Herkunftszellen oder an die künstliche hergestellte m-RNA bekannter Sequenz gebunden wurde.

Wurde dagegen die m-RNA der Herkunftszellen entfernt, kann die mit der markierten Aminosäure beladene t-RNA nur an ein Basentriplett der eingesetzten kurzen m-RNA bekannter Sequenz gebunden haben. Die Lokalisation des radioaktiven Signals erlaubt dann Rückschlüsse auf den genetischen Code.

- ④ Verwendet man Poly-U, Poly-A, Poly-C bzw. Poly-G, erhält man die unten aufgeführten Peptide mit jeweils nur einer Aminosäureart. Damit ist die Bedeutung von vier Triplets geklärt. Geben Sie diese an.
 – In jeder der vier eingesetzten m-RNAs folgen immer die gleichen Triplets aufeinander, sodass sie in Proteine aus immer gleichen Aminosäuren übersetzt werden. Die vier auftretenden Triplets codieren folglich die folgenden Aminosäuren:
 UUU = Phenylalanin
 AAA = Lysin
 CCC = Prolin
 GGG = Glycin
- ⑤ Verwendet man RNA, in der zwei Nucleotide abwechselnd vorkommen, erhält man Peptide, in denen sich zwei Aminosäuren abwechseln.
 Erklären Sie dies. Kann man durch diese Versuche die Bedeutung weiterer Triplets eindeutig klären?
 – Wechseln sich in einer m-RNA zwei Nucleotide regelmäßig ab, ergeben sich je nach Translationsstart zwei verschiedene, sich abwechselnde Triplets. Bei Poly-AC sind folgende Triplettmuster möglich:
 ACA-CAC-ACA-CAC-... oder
 CAC-ACA-CAC-ACA-...
 Da sich mit Poly-AC ein Peptid ergibt, in dem sich Threonin und Histidin abwechseln, kann man folgern, dass eines der beiden Triplets ACA oder CAC die Aminosäure Histidin co-

diert, das andere Threonin. Eindeutig klären lässt sich die Bedeutung der Triplets mit diesen Versuchen nicht.

- ⑥ Verwendet man andere, regelmäßige Polynucleotide aus längeren Untereinheiten, erhält man im Gemisch verschiedene Peptide (s. unten).
Erklären Sie, weshalb dann jeweils mehrere verschiedene Peptide aufgebaut werden.
Klären Sie die Bedeutung weiterer Triplets.
- Je nach Start ergeben sich bei Poly-AAC drei verschiedene Tripletmuster:
AAC-AAC-AAC-AAC-...,
ACA-ACA-ACA-ACA-... oder
CAA-CAA-CAA-CAA-...
Zunächst lässt sich nicht eindeutig folgern, welches der drei Triplets AAC, ACA und CAA die Aminosäuren Asparagin, Threonin bzw. Glutamin codiert. Aus den Angaben zu Aufgabe 5 ist aber bekannt, dass das Triplett ACA die Aminosäuren Histidin oder Threonin codiert. Da hier nur Threonin auftritt, muss ACA für Threonin stehen. Daraus ergibt sich dann, dass CAC der Aminosäure Histidin entspricht (vgl. Aufgabe 5). Welches der beiden Triplets AAC und CAA die Aminosäuren Asparagin bzw. Glutamin codiert, bleibt zunächst unklar. Mit Poly-ACC ergeben sich die drei Tripletmuster:
ACC-ACC-ACC-ACC-...,
CCA-CCA-CCA-CCA-... oder
CAC-CAC-CAC-CAC-...
Da CAC der Aminosäure Histidin entspricht, müssen die Triplets ACC und CCA jeweils für eine der beiden Aminosäuren Threonin oder Prolin stehen.

- ⑦ Auch RNA-Moleküle mit vier regelmäßig wechselnden Nucleotiden wurden konstruiert. Welche Triplets lassen sich mithilfe des Produktes (s. Tabelle) klären? Begründen Sie, weshalb sich die Primärstruktur nach vier Aminosäuren wiederholt.
- Mit Poly-ACCC ergeben sich folgende vier Tripletmuster:
ACC-CAC-CCA-CCC-ACC-...,
CCC-ACC-CAC-CCA-CCC-...,
CCA-CCC-ACC-CAC-CCA-... oder
CAC-CCA-CCC-ACC-CAC-...
Die vier möglichen Triplets treten stets in der selben Reihenfolge auf, daher wird ein Peptid gebildet, in dem sich eine Sequenz aus vier Aminosäuren wiederholt. Da bekannt ist, dass das Triplett CCC für Prolin und das Triplett CAC für Histidin steht, müssen die Triplets ACC und CCA jeweils eine der beiden Aminosäuren Threonin oder Prolin codieren. Das Triplett CCA liegt zwischen den Triplets CAC und CCC, die in die Aminosäuren Histidin und Prolin übersetzt werden. Zwischen Histidin und Prolin liegt im Peptid die Aminosäure Prolin. Also steht das Triplett CCA ebenfalls für Prolin und ACC folglich für Threonin.

Schülerbuch Seite 100

- ① Das Codon AUG hat zwei verschiedene Bedeutungen, je nachdem, ob es sich am Anfang einer m-RNA befindet oder nicht. Begründen Sie.
- Am Anfang einer m-RNA kennzeichnet das Codon AUG als Startcodon den Beginn der Translation. Jedes neu synthetisierte Peptid beginnt daher mit der Aminosäure Methionin, die aber meist später abgetrennt wird. Steht das AUG nicht am Beginn der m-RNA codiert es lediglich für die Aminosäure Methionin.
- ② Ein Ausschnitt eines Peptids lautet:
... Ser - Val - Lys - Met - Ala ...
Geben Sie eine mögliche Sequenz der m-RNA und der codogenen DNA an.
- eine mögliche Lösung wäre:
m-RNA: 5' UCU GUG AAA AUG GCU 3'
codogene DNA: 3' AGA CAC TTT TAC CGA 5'

Schülerbuch Seite 102

- ① Erläutern Sie, weshalb die Proteinsynthese bei Eukaryoten mehr Zeit erfordert.
- Bei eukaryotischen Zellen erfolgt die Transkription im Zellkern, die Translation im Zellplasma. Der Ort der Transkription ist also, anders als bei den Prokaryoten, durch die Kernmembran vom Ort der Translation getrennt. Die Translation kann demnach bei Eukaryoten erst beginnen, wenn die Transkription beendet und die m-RNA durch die Kernporen in das Cytoplasma gelangt ist.

Schülerbuch Seite 103

- ① Ordnen Sie den in Abb. 1 mit Ziffern bezeichneten Wirkorten je einen Hemmstoff aus der Tabelle zu.
- 1: Actinomycin D; 2: Puromycin; 3: Tetracycline; 4: Streptomycin; 5: Chloramphenicol, Kirromycin; 6: Rifampicin
- ② Welche Stoffe aus der Tabelle kann man als Antibiotika einsetzen? Begründen Sie Ihre Auswahl.
- Als Antibiotika müssen die Stoffe für eukaryotische, d. h. insbesondere für menschliche Zellen, ungiftig sein. Amanitin, Cycloheximid und Diphtherietoxin kommen also mit Sicherheit nicht in Frage. Natürlich sind für eine medizinische Anwendung eines Stoffes als Antibiotikum noch erheblich mehr Kriterien wichtig, wie Verträglichkeit, Wirkungsdauer und Resistenzphänomene bei Bakterien.
- ③ Das wirksame Gift der Knollenblätterpilze ist Amanitin. Eine Knollenblätterpilzvergiftung wirkt oft deshalb tödlich, weil die Symptome wie Erbrechen, Durchfall und Leberschäden erst 8 bis 24 Stunden nach dem Verzehr auftreten. Begründen Sie das verzögerte Auftreten der Symptome.
- Das wirksame Gift der Knollenblätterpilze ist Amanitin. Eine Knollenblätterpilzvergiftung verläuft oft deshalb tödlich, weil die Symptome wie Erbrechen, Durchfall und Leberschäden erst 8 bis 24 Stunden nach

dem Verzehr auftreten. Begründen Sie das verzögerte Auftreten der Symptome.

- ④ Erklären Sie, weshalb Puromycin in Bakterien zur Bildung stark verkürzter und damit unbrauchbarer Proteine führt.
- *Puromycin wird vom Bakterienribosom anstelle einer beladenen t-RNA gebunden. Infolgedessen können keine weiteren Aminosäuren mehr angebaut werden. Damit bricht die Translation an dieser Stelle ab, das Peptid erreicht nicht die volle Länge.*
- ⑤ Begründen Sie, weshalb bereits ein Molekül Diphtherie-Toxin eine Zelle töten kann.
- *Diphtherietoxin wirkt als Enzym. Es bewirkt eine chemische Reaktion, die einen Translationsfaktor verändert und unbrauchbar macht. Aus dieser Reaktion geht das Enzym unverändert hervor und kann sofort eine weitere solche Reaktion bewirken. Nach und nach werden so alle Translationsfaktoren in der Zelle zerstört. Die Translation kann nicht mehr erfolgen, die Zelle stirbt.*
- ⑥ J. D. WATSON experimentierte mit Puromycin und fand heraus, dass es an einen Teil der Ribosomen in der Zelle gut, an den anderen praktisch nicht gebunden wird. Er schloss daraus auf das Vorhandensein der A- und P-Stelle der Ribosomen. Geben Sie die Stelle des Ribosoms und die Phase der Translation an, in der Puromycin gebunden wird.
- *Die A-Stelle der Ribosomen ist relativ gut zugänglich, da dort ja die beladenen t-RNAs gebunden werden. Diese Stelle steht natürlich auch für die Bindung von Puromycin zur Verfügung. Ist aber in dem Moment, in dem der Zelle Puromycin verabreicht wird, an die A-Stelle gerade eine t-RNA gebunden, so kann Puromycin dort nicht angreifen. Durch Puromycin werden also nur die Ribosomen vergiftet, bei denen die A-Stelle gerade unbesetzt ist. Eine zweite Bindungsstelle muss vorliegen, weil sich sonst die wachsende Polypeptidkette vom Ribosom lösen würde.*

Schülerbuch Seite 104

- ① Menschliche Protein hormone können von „unprogrammierten“ Bakterienzellen hergestellt werden. Erläutern Sie, welche Schwierigkeiten sich aufgrund der unterschiedlichen Genstruktur von Pro- und Eukaryoten ergeben.
- *Eukaryotische Gene sind gestückelt, sie enthalten Introns, prokaryotische hingegen nicht. Überträgt man also eukaryotische Gene auf Bakterien, können die Introns nicht entfernt werden, da Prokaryoten nicht über die entsprechenden Spleiß-Enzyme verfügen. Die Biosynthese des Protein hormones gelänge nicht. Um dieses Problem zu umgehen, schreibt man die zugehörige m-RNA, die nach dem Spleißen keine Introns mehr aufweist, mithilfe des Enzyms Reverse Transkriptase in c-DNA um und überträgt diese auf Bakterien.*

Regulation der Genaktivität

Schülerbuch Seite 111

- Benennen Sie die Zelltypen a bis g in Abb. 1. Erläutern Sie an ausgewählten Zelltypen den Zusammenhang von Struktur und Funktion.
 - a: Eizelle; b: Knorpelzellen; c: Knochenzelle; d: glatte Muskelzelle; e: Spermienzelle; f: Epithelzelle; g: Bindegewebszelle.
- Beschreiben Sie ein Experiment, mit dem man überprüfen könnte, ob Retinsäure die Flügel-differenzierung hervorruft (Abb. 2).
 - Retinsäure könnte in ein Gewebe des Embryos injiziert werden, aus dem normalerweise keine Flügel entstehen. Die in der Polarisierungszone vorhandene Retinsäure könnte chemisch so verändert werden, dass sie unwirksam wird.

Schülerbuch Seite 111 — Zettelkasten

- Erstellen Sie ein Flussdiagramm, das die Hierarchie der Genaktivierungen bei der Entwicklung einer Drosophilalarve veranschaulicht.
 - Bicoid-Gen → Transkription der Bicoid-m-RNA → Translation des Bicoid-Proteins → Konzentrationsgradient des Bicoid-Proteins → Aktivierung von drei Gruppen von Segmentierungsgenen → Genprodukte wirken als Transkriptionsfaktoren → Aktivierung von Genen in der Musterbildungskaskade (homeotische Gene)
- Mutationen im Bicoid-Gen wirken sich erst in der Nachfolgeneration aus. Begründen Sie.
 - Da die Bicoid-m-RNA von der Mutter erzeugt und in die befruchtete Eizelle eingeschleust wird, führen Mutationen im mütterlichen Bicoid-Gen zu Entwicklungsstörungen des Eies, also der folgenden Generation.

Schülerbuch Seite 112/113

- Beschreiben Sie, welche Strukturen Sie erkennen.
 - Deutlich zu sehen ist der Mehlkörper und der Embryo.
- Welcher Teil des Präparates lässt sich färben? Geben Sie seine biologische Funktion an.
 - Iodkaliumiodid-Lösung färbt den Mehlkörper blau-schwarz. Die Färbung ist ein Stärkenachweis. Stärke ist ein energiereicher Reservestoff. Durch Abbau dieses Energieträgers wird die für die Keimung notwendige Energie bereitgestellt.
- Berechnen Sie aus den Durchmessern der hellen Höfe die Kreisflächen. Übertragen Sie diese Werte in ein geeignetes Diagramm.
 - Berechnung der Kreisflächen ($A = \pi \cdot r^2$); Diagrammstellung
- Erklären Sie die Entstehung der hellen Höfe um die Gerstenkornhälften. Verdeutlichen Sie daran, dass die Kreisflächen geeigneter Vergleichswerte darstellen als die Durchmesser.

- Die hellen Höfe zeigen, dass weniger Stärke vorhanden ist. Die Stärke wurde durch α -Amylase zu Zucker umgebaut. Das Enzym entstammt dem Gerstenkorn. Das Enzym ist in den Agar diffundiert und hat sich allseitig ausgebreitet. Daher entstehen helle kreisförmige Höfe. Eine bestimmte abgegebene Menge des Enzyms führt zur Entfärbung einer bestimmten Fläche. Die doppelte Enzymmenge entfärbt etwa die doppelte Fläche, wobei der Kreisdurchmesser jedoch nur auf das etwa 1,4-fache wächst. Näherungsweise ist anzunehmen, dass die entfärbte Kreisfläche proportional zur abgegebenen Enzymmenge wächst.
- Beschreiben Sie die Ergebnisse Ihres Experiments. Erklären Sie die Wirkung von Gibberellinsäure auf die Gerstenkornhälften vom Typ A bzw. vom Typ B.
 - Typisches Ergebnis bei einer Untersuchung über drei Tage: Eine Entfärbung des Stärkeagars findet bei allen Gerstenkornhälften statt. Bei Gerstenkörnern, die nur mit Wasser behandelt wurden, geben die Hälften mit Embryo etwas mehr Enzym ab als die embryo-freien Hälften. Die Behandlung mit Gibberellinsäure steigert die Enzymabgabe. Embryo-freie Hälften bilden etwas mehr Enzym als die embryohaltigen Hälften.
 - Entwickeln Sie eine Hypothese zur Wirkung von Gibberellinsäure auf die Gene in den Zellen des Gerstenkorns.
 - Hypothese: Gibberellinsäure verstärkt die Aktivierung von Genen der α -Amylase. Je nachdem, ob für die Genregulation das Modell von Induktion oder Repression angenommen wird, könnte Gibberellinsäure (Effektor) ein Repressormolekül inaktivieren oder aktivieren.
 - Zeigen Sie experimentell, dass die Gibberellinsäure nicht direkt auf Stärkeagar einwirkt.
 - Kontrollexperiment: Etwas Gibberellinlösung auf den gefärbten Stärkeagar geben. Es tritt dadurch keine Entfärbung auf.
 - Vergleichen Sie die Pflanzenkeimlinge der drei Ansätze. Protokollieren Sie die Unterschiede in tabellarischer Form. Achten Sie dabei besonders auf die Färbung, die Länge der Keimspresse sowie die Größe der am Sprossende befindlichen Primärblätter. Vergleichen Sie die Festigkeit der Sprosse miteinander.
 - Ergebnisse der Keimungsversuche: Unter Lichteinfluss gekeimte Pflanzen sind am kürzesten und bilden grüne Primärblätter aus, mit festem Gewebe. Je geringer die Lichtintensität während der Keimung ist, desto länger, dünner und zarter sind die Keim sprossen. Bei dunkelgekeimten Pflanzen sind die Primärblätter kleiner, zarter und gelblich bleich (Etiolierung). Je mehr Licht den Pflanzen beim Keimen zur Verfügung steht, desto mehr Chlorophyll wird gebildet.
 - Messen Sie mithilfe eines Lineals die Länge der Sprosse der drei Ansätze. Berechnen

Sie jeweils die Mittelwerte und geben Sie die Unterschiede prozentual an.

- Messwerte für die Längenmessung; Angabe der prozentualen Abweichungen.
- ⑩ Erklären Sie schlüssig an der unterschiedlichen Färbung der im Hellen und im Dunkeln gekeimten Pflanzen, dass die Aktivität von Genen durch Licht beeinflusst wird.
- Das Chlorophyllmolekül wird nicht aus der Umgebung aufgenommen, sondern im Stoffwechsel der Pflanze gebildet. Für den Aufbau des komplizierten Moleküls sind mehrere Enzyme erforderlich.
Erklärungsmodell: Im Dunkeln wird kein Chlorophyll gebildet. Daraus folgt, dass ein Enzym oder mehrere Enzyme, die zur Chlorophyllbildung erforderlich sind, nicht in den Zellen vorliegen. Daher ist anzunehmen, dass die Biosynthese der entsprechenden Proteine nicht stattfindet.
Bei Belichtung bildet die Pflanze Chlorophyll. Alle zur Synthese notwendigen Enzyme liegen in den Zellen vor. Nun werden alle entsprechenden Proteine gebildet, im Gegensatz zur Dunkelkeimung. Daraus folgt, dass Licht Einfluss auf die Aktivität von Genen hat, die der Chlorophyllbildung dienen.
- ⑪ Halbieren Sie einen Salatkopf des Endiviansalates. Vergleichen Sie die Färbung und Festigkeit äußerer und innerer Blätter. Beschreiben und erklären Sie die Unterschiede.
- Im Innern des Salatkopfes sind die Blätter zart und gelblich. Die Entwicklung der Blätter verläuft im Innern unter Lichtabschluss und zeigt die Merkmale des Etiolements (vgl. Aufgabe 6). Die äußeren Blätter sind groß, grün und fest. Sie entwickeln sich im Licht und bilden Chlorophyll sowie vermehrt Festigungsgewebe aus.
- ⑫ Suchen Sie nach Stellen, an denen die Chromosomen verdickt sind.
Zählen Sie die verdickten Stellen an einem Chromosom.
- Das Präparat mit Riesenchromosomen durchmustern auf Verdickungsstellen (Puffs) an den Chromosomen. Zählen der Puffs eines Chromosoms.
- ⑬ Die verdickten Stellen werden als die Orte der Chromosomen interpretiert, an denen Gene aktiv sind.
Inwiefern unterstützt die Färbung der Chromosomen diese Deutung?
Geben Sie eine anschauliche Erklärung dafür, weshalb bei Riesenchromosomen aktive Gene mehr Raum beanspruchen als inaktive.
- Die Puffs erscheinen bei der Färbung mit Toluidinblau rötlich. Das ist ein Hinweis auf RNA-Gehalt dieser Bereiche. Bei der Transkription von DNA wird der Doppelstrang geöffnet, sodass sich RNA-Nucleotide anlagern können. Daher sind Stellen eines Chromosoms, an denen die Transkription abläuft, deutlich breiter als Bereiche, in denen nicht transkribiert wird. Werden an Riesenchromosomen gleichzeitig viele homologe Gene der gepaarten Chromatiden transkribiert, so tritt

eine lichtmikroskopisch sichtbare Veränderung der Chromosomenstruktur auf.

- ⑭ Welche Funktion könnten die in den Speicheldrüsen aktivierten Gene haben? Wieso ist das Auftreten von Riesenchromosomen in Speicheldrüsen biologisch sinnvoll? Begründen Sie jeweils Ihre Hypothesen.
- Die aktivierten Gene in den Chromosomen der Speicheldrüsen könnten der Bildung von Verdauungsenzymen dienen. Riesenchromosomen ermöglichen eine hohe Bildungsrate von Genprodukten, weil durch die vielfach vorliegende genetische Information viel mehr RNA gebildet werden kann, im Vergleich zu den Interphase-Chromosomen in Zellen anderer Gewebe, in denen die Chromosomen nur aus einer Chromatide bestehen.
Es ist günstig, wenn bei der Nahrungsaufnahme rasch eine größere Menge an Verdauungsenzymen gebildet wird. Die Existenz von Riesenchromosomen in Speicheldrüsen ist ein Merkmal, das als Angepasstheit der Drüsenzellen an ihre Funktion interpretierbar ist.
- ⑮ Riesenchromosomen sind wesentlich länger als „normale“ Chromosomen in der Metaphase der Kernteilung. Betrachten Sie Seite 84/85 und erklären Sie diesen Befund.
- Die große Zahl parallel liegender Chromatiden der Riesenchromosomen sind nicht so durch Schleifenbildung kondensiert wie Metamorphosechromosomen anderer Zellen, die nur aus zwei Chromatiden bestehen. Weil keine derartige Schleifenbildung vorliegt, sind die Chromosomen länger. Es ist anzunehmen, dass sich die Länge der DNA-Doppelstränge nicht von der Länge in den Chromosomen anderer Zellen unterscheidet.

Mutationen

Schülerbuch Seite 115

- ① In einem Gen wird am dritten Nucleotid nach dem Startcodon eine Base ausgetauscht. Erläutern Sie mit Hilfe der Codesonne an einem selbst gewählten Beispiel, welche verschiedenen Auswirkungen dies haben kann. Geben Sie jeweils die zu erwartenden Auswirkungen auf das durch dieses Gen codierte Enzym an.

	Original	G statt A	T statt A	C statt A
DNA	ACA	ACG	ACT	ACC
m-RNA	UGU	UGC	UGA	UGG
Aminosäure	Cys	Cys	Stopp	Trp
Folge		Stumme Mutation	Kettenabbruch	Austausch einer Aminosäure
Zu erwartende Auswirkung auf das Enzym		keine	Funktionsverlust	Eingeschränkte Funktion oder Funktionsverlust

- ② Ethidiumbromid ist ein in der Molekularbiologie häufig benutzter Farbstoff. Er hat die Eigenschaft, sich in die DNA einzulagern. Bei der Replikation wird ein Farbstoffmolekül, das zwischen zwei Basen liegt, wie eine zusätzliche Base „abgelesen“. Der Gebrauch von Ethidiumbromid unterliegt strengen Sicherheitsbestimmungen. Begründen Sie, weshalb dieser Farbstoff gesundheitsschädlich ist.
- Ethidiumbromid wird über die Haut resorbiert. Lagern sich Ethidiumbromidmoleküle in die DNA ein, werden sie bei der Replikation wie zusätzliche Basen abgelesen. Alle Tochterzellen tragen in ihrer DNA dann zusätzliche Basen (Insertion). Solche Rastermutation führen zu einer Verschiebung des Leserasters und somit zur Synthese von Proteinen mit veränderter Aminosäuresequenz. Sind Gene betroffen, die die Zellteilung kontrollieren, kann Krebs entstehen.
- ③ Durch eine Genmutation entsteht beim Menschen das Hämoglobin HbM mit veränderter β -Kette. Ausschnitte aus den Aminosäuresequenzen der β -Kette von Hb und HbM lauten ab Position 89:
- Hb: ... Ser - Glu - Leu - His - Cys - Asp ...
HbM: ... Ser - Glu - Leu - Tyr - Cys - Asp ...
- Leiten Sie mit Hilfe der Codesonne eine mögliche Basensequenz des codogenen DNA-Strangs ab, welcher den Ausschnitt aus der normalen β -Kette von Hb codiert.
 - Welche Abweichung der Nucleotidsequenz der DNA bewirkt die Veränderung der β -Kette von HbM?
- a) eine mögliche Lösung:
m-RNA: 5' ... UCU GAA UUA CAC UGU GAU ... 3'

codogene DNA: 3' ... AGA CTT AAT GTG ACA CTA ... 5'

b)

Aminosäure	His		Tyr	
m-RNA	CAC	CAU	UAC	UAU
DNA	GTG	GTA	ATG	ATA

Die vierte Aminosäure des Ausschnitts lautet bei Hb His, bei HbM dagegen Tyr. Wie die Tabelle zeigt, unterscheiden sich die Codons im ersten Nucleotid, im codogenen Strang wurde also im vierten Triplett des Ausschnitts die Base G durch A ausgetauscht.

Schülerbuch Seite 116

- ① Erklären Sie den Anstieg des Hautkrebsrisikos bei XP-Patienten wie auch bei Gesunden mit zunehmendem Alter.
- Im Allgemeinen ist mehr als eine Mutation nötig, um alle Veränderungen herbeizuführen, die eine Krebszelle charakterisieren. Je älter man wird, desto mehr Mutationen häufen sich an, desto höher wird die Wahrscheinlichkeit, dass einzelne Zellen alle Mutationen erfahren, die notwendig sind. Wenn wie bei XP-Patienten das körpereigene DNA-Reparatursystem nicht funktioniert, häufen sich Mutationen wesentlich schneller an. Dadurch ist die Krebsanfälligkeit deutlich höher als bei Gesunden.

Schülerbuch Seite 119

- ① Begründen Sie, weshalb Mutationen in Proto-Onkogenen dominant vererbt werden, während Mutationen in Tumorsuppressorgenen rezessiv vererbt werden, ein Effekt also nur dann auftritt, wenn beide Alle des Gens verändert sind.
- Es genügt die Anwesenheit eines einzigen Onkogens, um das Zellwachstum zu stimulieren. Wenn dagegen ein Tumor-Suppressorgen ausfällt, kann das andere die Tumorbildung dennoch verhindern.
- ② Erklären Sie, weshalb Krebs in manchen Familien gehäuft auftritt.
- Man geht davon aus, dass mehrere Mutationen erforderlich sind, um eine Zelle entarten zu lassen. Hat eine Person bereits ein mutiertes Gen geerbt, genügt möglicherweise eine weitere Mutation, um in Körperzellen Krebs auszulösen.

Schülerbuch Seite 120/121

- ① Geben Sie an, in welchen Phagenbestandteilen sich jeweils radioaktive ^{35}S - bzw. ^{32}P -Atome finden.
- Die Proteine der Phagenhüllen enthalten die Aminosäure Cystein mit ^{35}S , die Phosphatgruppen der Phagen-DNA enthalten ^{32}P .
- ② Beschreiben Sie die Versuchsdurchführung und das Ergebnis (s. Abb. 1). Erläutern Sie,

weshalb dieses Experiment beweist, dass die DNA der Träger der Erbinformation ist.

- In Versuchsreihe A werden Bakterien in einem Reagenzglas mit Phagen gemischt, die zuvor mit radioaktivem Schwefel markiert wurden. Nach 10 Minuten wird die Lösung zentrifugiert, wobei sich die Bakterien absetzen. Die Radioaktivität befindet sich im Überstand. In Versuchsreihe B wurden die Phagen mit radioaktivem Phosphor markiert. Die Radioaktivität befindet sich nach der Zentrifugation im Sediment. Die Proteinhüllen der Phagen mit dem radioaktivem Schwefel bleiben außerhalb der Bakterienzellen, die leeren Hüllen werden von den Bakterien abgelöst und befinden sich nach der Zentrifugation im Überstand. Der radioaktive Phosphor wurde mit der Phagen-DNA in die Bakterienzelle injiziert. Dies beweist, dass die genetische Information in der DNA enthalten ist und nicht im Protein.
- ③ Begründen Sie, weshalb der prozentuale Anteil von C nicht genauso groß ist wie der von G.
 - m-RNA-Moleküle sind einsträngig, deshalb liegt hier keine komplementäre Basenpaarung zwischen den Basen C und G bzw. A und T vor. Folglich treten die komplementären Basen hier auch nicht mit gleicher relativer Häufigkeit auf.
- ④ Erläutern Sie ausführlich, welche Aussagen man über die prozentuale Nucleotidzusammensetzung a) des codogenen DNA-Abschnitts und b) des DNA-Doppelstrang-Abschnitts, dessen Abschrift dieses m-RNA-Molekül ist, machen kann.
 - Da jeweils Adenin und Thymin bzw. Guanin und Cytosin miteinander komplementäre Basenpaarungen eingehen, enthält der zugehörige Abschnitt des codogenen DNA-Strangs 32 % Adenin, 28 % Thymin, 26 % Cytosin und 14 % Guanin. Der DNA-Doppelstrang-Abschnitt enthält demnach je 30 % Adenin und Thymin sowie je 20 % Guanin und Cytosin.
- ⑤ Begründen Sie, ob solche Aussagen auch für ein m-RNA-Molekül aus einer menschlichen Zelle möglich sind.
 - Da menschliche DNA im Gegensatz zu Prokaryoten-DNA Introns enthält, die gespleißt werden, kann man hier nicht von der Nucleotidzusammensetzung der m-RNA auf die der DNA schließen.
- ⑥ Erklären Sie, was man unter einem Antibiotikum versteht.
 - Antibiotika sind Substanzen, die das Wachstum bzw. die Vermehrung von Mikroorganismen hemmen.
- ⑦ Erläutern Sie die zellteilungs- und wachstumshemmende Wirkung der beiden oben genannten Antibiotika.
 - Mitomycin führt zu einer Quervernetzung der DNA und verhindert so ein Auftrennen des DNA-Doppelstrangs. Durch werden sowohl die Replikation als auch die Transkription unterbunden. Puromycin wird anstelle einer beladenen t-RNA vom Ribosom gebunden. Da es keine Carboxylgruppe besitzt, kann nach dem Einbau von Puromycin in die wachsende Peptidkette keine weitere Aminosäure mehr angehängt werden. Die Proteinsynthese bricht ab.
- ⑧ Geben Sie an, welche Bestandteile neben der m-RNA in einem zellfreien System enthalten sein müssen, damit eine Proteinsynthese erfolgen kann.
 - Das zellfreie System muss neben der m-RNA Ribosomen, t-RNA-Moleküle, Aminosäuren und ATP enthalten, sowie alle zu Proteinbiosynthese benötigten Enzyme.
- ⑨ Listen Sie die Codons von Leucin und Serin sowie der drei unter Einfluss von Streptomycin zusätzlich eingebauten Aminosäuren auf.
 - Leucin: CUC CUG CUA CUG UUA UUG
 - Serin: UCU UCC UCG UCA
 - Phenylalanin: UUU UUC
 - Prolin: CCC CCG CCU CCA
 - Histidin: CAC CAU
- ⑩ Werten Sie die Versuchsergebnisse aus und stellen Sie eine begründete Hypothese über den Wirkungsmechanismus des Streptomycins auf.
 - Bei einer m-RNA der Sequenz ...UCUCUCUCUCUC... ergeben sich abwechselnd die Codons UCU und CUC, die für Serin bzw. Leucin codieren. Unter dem Einfluss von Streptomycin wird die mittlere Base des Codons nicht mehr korrekt gepaart.
- ⑪ Beurteilen Sie, ob die in Abbildung 2 wiedergegebene Modellvorstellung die Wirkungsweise des Streptomycins hinreichend erklärt.
 - Anstelle von Leucin mit dem Codon UUU werden Prolin oder Histidin mit den Codons CCC bzw. CAC eingebaut, anstelle von Serin mit dem Codon UCU kann auch Phenylalanin mit dem Codon UUU eingebaut werden. Somit kann die gegebene Modellvorstellung die Wirkungsweise des Streptomycins hinreichend erklären.
- ⑫ Benennen Sie den molekulargenetischen Vorgang, der gerade in dieser Zelle abläuft, und erklären Sie seine Bedeutung für die Zelle.
 - In dieser Zelle findet die Replikation der DNA statt. Vor jeder mitotischen Zellteilung wird die DNA der Zelle kopiert und anschließend auf die beiden Tochterzellen verteilt.
- ⑬ Beschreiben und erklären Sie den Verlauf der drei Kurven.
 - Die Konzentration der DNA ist zunächst konstant, steigt dann relativ schnell auf die doppelte Konzentration an und bleibt dann wieder konstant. Die Aktivität der DNA-Polymerase steigt zunächst steil an, erreicht ein Maximum, wenn die DNA-Konzentration verdoppelt wurde und nimmt dann wieder ab. Die Anzahl der freien DNA-Nucleotide steigt zunächst parallel zur Aktivität der DNA-Polymerase steil an und fällt dann rasch wieder ab. Die DNA-Polymerase verknüpft die angelagerten DNA-Nucleotide zu einem durchgehenden Strang, dies erklärt den zeitlich verzögerten Anstieg der DNA-Konzentration

in der Zelle sowie die Abnahme der zuvor synthetisierten freien Nucleotide mit zunehmender Aktivität der DNA-Polymerase. Nach erfolgter Replikation geht die Aktivität der DNA-Polymerase wieder zurück.

- 14) Erklären Sie das Auftreten von Radioaktivität in der t-RNA-Fraktion.
- Die t-RNA-Moleküle werden vom Beladungsenzym mit der radioaktiv markierten Aminosäure Serin beladen.
- 15) Bei genauerer Untersuchung findet man in der Lösung mehrere verschiedene (!) radioaktive t-RNA-Moleküle. Erklären Sie, wie viele verschiedene t-RNA-Moleküle theoretisch zu erwarten sind. Begründen Sie.
- Der genetische Code ist redundant. Die Aminosäure Serin wird durch sechs verschiedene Codons verschlüsselt. Daher sind theoretisch auch sechs verschiedene t-RNA-Moleküle zu erwarten, deren Anticodons jeweils zu einem der sechs Codons komplementär sind.
- 16) Erklären Sie die unterschiedliche Verteilung der Radioaktivität zu den verschiedenen Zeitpunkten.
- Zunächst befindet sich die Radioaktivität in der t-RNA-Fraktion, da die entsprechenden t-RNA-Moleküle mit der radioaktivmarkierten Aminosäure Serin beladen werden. Die beladenen t-RNA-Moleküle transportieren die Aminosäuren zu den Ribosomen, wo Serin gebunden wird, sodass sich dann dort die meiste Radioaktivität befindet. Serin wird in die wachsenden Peptidketten eingebaut. Sobald sich die fertigen Peptide von den Ribosomen ablösen, befindet sich die meiste Radioaktivität in der Proteinfraktion.
- 17) Geben Sie die Aminosäuresequenz des entsprechenden Abschnitts der α -Kette an. Notieren Sie alle zur Bearbeitung notwendigen Zwischenschritte.
- *codogene DNA:* 3' ... TCA TTT ATG GCA ATT CGA CCT CGG AGC CAT CGT ... 5'
m-RNA: 5' ... AGU AAA UAC CGU UAA GCU GGA GCC UCG GUA GCA ... 3'
Aminosäuresequenz: Ser Lys Tyr Arg Stopp
- 18) Die Mutante „Hb Constant Spring“ besitzt aufgrund einer Mutation eine in der Länge veränderte α -Kette. Die Aminosäuresequenz lautet ab Position 138:
- ... Ser - Lys - Tyr - Arg - Gln - Ala - Gly - Ala - Ser - Val - Ala ...
- Erklären Sie, wie es zu der veränderten α -Kette der Mutante „Hb Constant Spring“ gekommen ist.
- *Aminosäuresequenz:* Ser - Lys - Tyr - Arg - Gln - Ala - Gly - Ala - Ser - Val - Ala ...
m-RNA: 5' ... AGU AAA UAC CGU CAA GCU GGA GCC UCG GUA GCA ... 3'
codogene DNA: 3' ... TCA TTT ATG GCA GTT CGA CCT CGG AGC CAT CGT ... 5'
Im Triplet 142 der codogenen DNA wurde die Base Adenin gegen Guanin ausgetauscht. Dies führt zum Wegfall des Stoppcodons und damit zu einer verlängerten α -Kette.

- 19) Bei einer anderen Mutante wurde das Gen für die α -Kette um ein Nucleotid verlängert: im Basentriplett 139 wurde zwischen die ersten beiden Thyminbasen die Base Guanin „eingeschoben“.

Erläutern Sie die Auswirkungen auf die α -Kette dieser Mutante.
 Fertigen Sie eine Skizze eines RNA-Nucleotids an beschriften Sie die Bestandteile.
 Geben Sie an, wann und wo dieses Enzym in der Zelle zum Einsatz kommen könnte.
 Das Schema zeigt den Weg von der DNA zum Protein, in diesem Fall dem Enzym RNA-Nuclease. Benennen Sie die mit Ziffern gekennzeichneten Strukturen.
 Erläutern Sie, welche Probleme sich bei der Fertigstellung dieses Enzyms ergeben.

- *codogene DNA:* 3' ... TCA TGT TAT GGC AAT TCG ACC TCG GAG CCA TCG T ... 5'
m-RNA: 5' ... AGU ACA AUA CCG UUA AGC UGG AGC CUC GGU AGC A ... 3'
Aminosäuresequenz: Ser Thr Ile Pro Leu Ser Trp Ser Leu Gly Ser ...
Infolge dieser Rastermutation verschiebt sich das Leseraster und eine ab Position 139 völlig veränderte α -Kette wird aufgebaut.
- 20) Fertigen Sie eine Skizze eines RNA-Nucleotids an beschriften Sie die Bestandteile.
- Ein RNA-Nucleotid besteht aus dem Zucker Ribose, Phosphorsäure und einer der vier Basen Adenin, Guanin, Cytosin oder Uracil.
- 21) Geben Sie an, wann und wo dieses Enzym in der Zelle zum Einsatz kommen könnte.
- Nach Abschluss der Translation, wenn ausreichend Protein vorliegt, wird die zugehörige m-RNA abgebaut.
- 22) Das Schema zeigt den Weg von der DNA zum Protein, in diesem Fall dem Enzym RNA-Nuclease. Benennen Sie die mit Ziffern gekennzeichneten Strukturen.

1	DNA
2	RNA-Polymerase
3	prä-m-RNA
4	Exon
5	Intron
6	Zellkern
7	m-RNA
8	Aminoacyl-t-RNA-Synthetase
9	beladene t-RNA
10	wachsende Polypeptidkette
11	kleine Ribosomen Untereinheit
12	große Ribosomen Untereinheit

- 23) Erläutern Sie, welche Probleme sich bei der Fertigstellung dieses Enzyms ergeben.
- Sobald das erste Enzymprotein fertiggestellt ist, kann theoretisch ein Abbau der zugehörigen m-RNA erfolgen. Möglicherweise ist die Translation weiterer Proteine zu diesem Zeitpunkt noch nicht abgeschlossen.

Angewandte Biologie

Grundlagen der Gentechnik

Schülerbuch Seite 124

- ① Erklären Sie, warum Insulin injiziert werden muss und nicht in Form von Tabletten verabreicht werden kann.
 - Da Insulin ein Protein ist, würde es durch die Verdauung zerstört und nicht in der benötigten Form in das Blut aufgenommen.
- ② Begründen Sie, unter welchen Voraussetzungen ein Gen nach der Übertragung in eine andere Zelle immer noch für dasselbe Produkt codiert.
 - Die grundlegende Voraussetzung ist die Universalität des genetischen Codes. Da alle Lebewesen denselben Code verwenden, erzeugt derselbe DNA-Abschnitt in unterschiedlichen Organismen das gleiche RNA-Transkript. Sofern das fremde Gen überhaupt abgelesen wird, sind weitere Voraussetzungen, dass dieselben Bereiche als Exons dienen und das Transkript beim Spleißen gleich behandelt wird.
- ③ Ein DNA-Abschnitt für Humaninsulin soll in Bakterienzellen eingebracht werden. Begründen Sie, welche der hier genannten Verfahren zur Isolierung der Fremd-DNA geeignet sind.
 - Da Bakterien wie *Escherichia coli* nach der Transkription kein Spleißen durchführen, ist ein Isolierungsverfahren vorzuziehen, das sicherstellt, dass der DNA-Abschnitt keine Introns enthält. Dies ist der Fall, wenn von der m-RNA ausgegangen wird, da diese keine Introns mehr enthält. Ebenso kann bei einer künstlichen Erzeugung des DNA-Abschnitts die richtige Aminosäuresequenz ermöglicht werden. Geeignet sind also die beiden letzten Isolierungsverfahren.

Schülerbuch Seite 127

- ① Geben Sie an, mit welchem Restriktionsenzym in Abb. 1 bei Beispiel 5 geschnitten wurde.
 - Es wurde mit *EcoR1* geschnitten.
- ② Erklären Sie, warum es wichtig ist, dass Plasmid und Fremd-DNA mit dem gleichen Restriktionsenzym geschnitten werden.
 - Damit die Enden der DNA-Abschnitte zusammenpassen, müssen diese mit demselben Restriktionsenzym geschnitten werden. Falls klebrige Enden vorhanden sind, ist die Zusammenlagerung leichter.
- ③ Erläutern Sie, wie anhand der Produkte der Markergene erkannt werden kann, ob das Fremdgen in das Plasmid in Abb. 2 erfolgreich eingefügt wurde.
 - Da die Schnittstelle im Marker-Gen 1 liegt, wird dieses Gen durch das Einfügen eines Fremd-Gens unwirksam. Fehlt also das Produkt von Marker 1 ist dies ein Hinweis darauf, dass das Fremd-Gen erfolgreich eingefügt

wurde. Es könnte aber auch sein, dass das Genprodukt von Marker 1 deshalb fehlt, weil das Plasmid nicht vorhanden ist. Marker 2 ist notwendig, um sicherzustellen, dass das Plasmid vorliegt und abgelesen wird. Wenn also Genprodukt von Marker 2 nachgewiesen werden kann, jedoch das Genprodukt von Marker 1 fehlt, kann davon ausgegangen werden, dass ein transgenes Plasmid vorliegt.

- ④ Stellen Sie in einer Tabelle Zielorganismen und geeignete Vektoren zusammen.

Zielorganismen	geeignete Vektoren
Bakterien	Plasmide (Transformation), Bakteriophagen, Elektroporation, Liposomen
Pflanzenzellen	<i>Agrobacterium tumefaciens</i> , particle gun, Elektroporation (bei Protoplasten), Liposomen (bei Protoplasten)
Tierzellen	Viren, Mikroinjektion, Elektroporation, Liposomen

Schülerbuch Seite 128

- ① Plasmide sind in der Gentechnik beliebte Genfähren, um fremde Gene in Bakterienzellen einzuschleusen. Nennen Sie für diesen Zweck vorteilhafte Eigenschaften von Plasmiden.
 - Plasmide können in Bakterienzellen gut vermehrt werden und lassen sich leicht isolieren. Sie sind groß genug, um fremde DNA-Abschnitte einzufügen und klein genug, um durch Transformation in Bakterienzellen aufgenommen zu werden.
- ② Gegner von gentechnisch veränderten Lebensmitteln weisen auf die Gefahr einer Transformation von DNA aus der Nahrung auf Bakterien der Darmflora hin. Befürworter argumentieren, dass Nucleinsäuren im Darm verdaut werden. Nehmen Sie Stellung.
 - Prinzipiell besteht immer die Möglichkeit, dass DNA-Abschnitte aus der Nahrung nicht vollständig verdaut werden und von Bakterien der Darmflora aufgenommen werden. Die Wahrscheinlichkeit ist allerdings nicht besonders hoch. Falls jedoch Antibiotikaresistenzgene durch Bakterien der Darmflora aufgenommen werden, sind negative Folgen denkbar.
- ③ Erklären Sie, warum die Konjugation die Entstehung von antibiotikaresistenten Bakterienstämmen fördert.
 - Damit können Plasmide unter Bakterienstämmen ausgetauscht werden. Da natürliche Plasmide oft Resistenzgene gegen Antibiotika enthalten, ist die Konjugation ein Vorgang, der die Entstehung von neuen antibiotikaresistenten Stämmen fördert. Es ist auch denk-

bar, dass ein Bakterium durch die Aufnahme von mehreren Plasmiden gegen unterschiedliche Antibiotika resistent wird.

- ④ Notieren Sie Maßnahmen und Regeln, um die Bildung und Verbreitung von antibiotikaresistenten Bakterien einzudämmen.
 - Antibiotika möglichst selten einsetzen, damit möglichst wenig resistente Stämme gebildet werden. Bei der Verwendung eines Antibiotikums ausreichend lange und hoch dosieren, damit die Bakterien sicher abgetötet werden.
- ⑤ Erklären Sie mithilfe der Abbildung das im Text beschriebene Versuchsergebnis.
 - Ein Bakteriophage befällt ein Bakterium eines lac^+ -Stamms. Dabei entstehen neue Bakteriophagen, die auch das Gen lac^+ enthalten. Bei der nachfolgenden Infektion von lac^- -Bakterien gelangt das lac^+ -Gen in die Zellen und wird in das Bakteriengenom integriert.
- ⑥ Grenzen Sie die Vorgänge Transformation, Konjugation und Transduktion gegeneinander ab, indem Sie in einer Tabelle Gemeinsamkeiten und Unterschiede zusammenstellen.

	Transformation	Konjugation	Transduktion
Gemeinsamkeiten	Übertragung von Erbinformation auf Prokaryoten (Bakterien)		
Unterschiede	Aufnahme von freier DNA (z. B. Plasmid)	Austausch von DNA zwischen zwei Bakterien	Übertragung von DNA zwischen Bakterien durch Bakteriophagen

- ⑦ Beschreiben Sie, welche Gene beim Influenzavirus der Pandemie von 1968 ursprünglich von Viren des Menschen bzw. Viren von Vögeln stammen.
 - Der Neuraminidase-Subtyp N2 muss von einem menschlichen Virus stammen und der Hämagglutinin-Subtyp H3 von einem Vogel-Virus.
- ⑧ Im Herbst und Winter sind viele Menschen mit Viren infiziert. Erklären Sie, warum zu dieser Jahreszeit das Risiko besonders hoch ist, dass sich ein Virus zu einer gefährlicheren Variante weiterentwickelt.
 - Die Wahrscheinlichkeit, dass eine bestimmte Zelle gleichzeitig von zwei verschiedenen Viren infiziert ist, steigt. Damit ist es eher möglich, dass durch Reassortment ein neuer Virus-Subtyp entsteht.
- ⑨ Beschreiben Sie, wie ein multiresistenter Bakterienstamm entstehen kann, der gegen mehrere Antibiotika unempfindlich ist.
 - Falls ein Bakterium, das gegen ein Antibiotikum resistent ist, durch Konjugation oder Transduktion Erbinformation mit einem Bakterium austauscht, das gegen ein anderes Bakterium resistent ist, kann es vorkommen,

dass ein Bakterium entsteht, das gegen beide Antibiotika resistent ist. Das Bakterium muss dazu beide Resistenzgene enthalten.

Schülerbuch Seite 131

- ① Begründen Sie, warum beim Blau-Weiß-Verfahren die Bakterien in den weißen Kolonien ein Plasmid mit Fremd-DNA enthalten müssen.
 - Da sie auf dem Medium mit Ampicillin wachsen, müssen sie ein Plasmid enthalten. Da sie weiße Kolonien bilden, muss das Galactosidase-Gen auf dem Plasmid unwirksam sein. Dies ist der Fall, wenn Fremd-DNA in die Schnittstelle im Galactosidase-Gen eingefügt worden ist.
- ② Erklären Sie, warum es für die Vermehrung der transgenen Bakterien vorteilhaft ist, wenn das Medium keine Lactose enthält.
 - Solange Lactose fehlt, werden die Strukturgene zum Lactoseabbau nicht unnötigerweise gebildet. Dies schont Ressourcen und ermöglicht ein schnelleres Wachstum der Bakterien.
- ③ Heute wird auch Proinsulin für Diabetiker pharmazeutisch hergestellt und wie aktives Humaninsulin ins Gewebe injiziert.
 - a) Skizzieren Sie den entsprechenden Plasmidvektor.
 - b) Geben Sie Vorteile dieser Produktionsweise an.
 - Der Plasmidvektor muss die A- und B-Kette des Insulingens direkt hintereinander enthalten. Für die Insulinproduktion ist nur die Kultur von einem Bakterienstamm notwendig. (Bei der ersten gentechnischen Herstellung von Insulin war es noch nicht möglich DNA-Abschnitte von solcher Größe in Plasmide zu integrieren.)

Schülerbuch Seite 133

- ① Vergleichen Sie die PCR mit der DNA-Replikation in Zellen.
 - In beiden Fällen handelt es sich um eine Vervielfältigung von DNA. Allerdings wird bei der Replikation das gesamte Genom einmal kopiert, während bei der PCR nur ein Abschnitt mehrfach kopiert wird.
- ② Zeigen Sie durch ein Kreuzungsschema, wie oft bei der Zucht mit heterozygoten Schweinen Nachkommen mit MHS auftreten.
 - gesundes Allel: A, verändertes Allel: a.

	A	a
A	AA	Aa
a	aA	aa (krank)

Bei der Zucht mit heterozygoten Tieren sind zu 25% kranke Nachkommen zu erwarten.

- ③ Bei der Entwicklung der PCR war die Methode noch sehr aufwändig, da Mullis noch keine hitzeresistente DNA-Polymerase hatte. Erläutern Sie, wie die PCR heute durchgeführt wird.

- tern Sie, wie er vorgegangen sein muss.
- Seine DNA-Polymerase wurde bei jedem Denaturierungsschritt durch die Hitze zerstört. Er musste also vor jedem Syntheseschritt neue DNA-Polymerase zugeben. Dieses Vorgehen war zwar langwierig und teuer, führte aber auch zum Erfolg.
- ④ Erklären Sie, welche Eigenschaften die Primer haben müssen, damit die gesamte Schweine-DNA in die PCR gegeben werden kann und dennoch nur der zu untersuchende DNA-Abschnitt vervielfältigt wird.
- Die Primer müssen zu Sequenzen vor und nach dem zu kopierenden Abschnitt komplementär sein, die sonst im Genom nicht vorkommen. Dies ist durch entsprechend lange Primer möglich. Je länger ein Primer ist, desto seltener kommt die komplementäre Sequenz im Genom vor.
- ⑤ Erläutern Sie das Testergebnis in Abb.4 und geben Sie an, welche Tiere zur Zucht geeignet sind.
- Das Gel zeigt für die Tiere A - F das Ergebnis des Restriktionsverdau mit Cfo I. Nur das gesunde Allel wird durch das Restriktionsenzym in zwei Abschnitte geschnitten. Die Abschnitte sind 293 und 186 Basenpaare lang. Ein gesundes Allel erzeugt zwei Banden bei 293 bp und bei 186 bp. Ein verändertes (krankes) Allel wird nicht geschnitten und bildet eine Bande bei 479 bp. Bei heterozygoten Tieren liegt ein normales und ein verändertes Allel vor und daher finden sich in diesen Fällen drei Banden.
- Ergebnis:
Kranke Tiere (rezessiv) sind A, C und D.
Gesunde Überträger (heterozygot) sind die Tiere B und F. Nur das gesunde Tier E ist homozygot und für die Weiterzucht geeignet.
- ⑥ Erläutern Sie, warum Farbstoffe, die sich an DNA anlagern, oft krebserregend sind.
- Durch die Anlagerung wird die Replikation gestört und es kommt vermehrt zu Mutationen (z. B. Rastermutationen). Je mehr Mutationen sich in einer Zelle ansammeln, desto höher ist das Risiko, dass daraus eine Krebszelle entsteht.

Schülerbuch Seite 135

- ① Geben Sie die entstehenden DNA-Fragmente im zweiten Ansatz von Abb. 1 an.
- Möglich sind die folgenden Fragmente:
GATG,
GATGTAATCG oder
GATGTAATCGA (falls kein ddGTP eingebaut wurde).
- ② Erklären Sie, warum beim modernen Sequenzierungsverfahren in Abb. 3 der Detektor nicht am Gel entlanggeführt werden muss.
- Die markierten Fragmente wandern durch das Gel und kommen nacheinander am Detektor vorbei.

Anwendung der Gentechnik

Schülerbuch Seite 137

- ① Erklären Sie, warum DNA-Bereiche, die für Proteine codieren, für den genetischen Fingerabdruck ungeeignet sind.
 - Proteine können ihre Funktion nur dann erfüllen, wenn ihre Struktur dazu geeignet ist. In Genen, die für Proteine codieren, sind daher wenig Mutationen möglich. Die DNA-Sequenzen in Genen sind sich sehr ähnlich und bieten kaum individuelle Unterschiede. Sie sind daher für den genetischen Fingerabdruck ungeeignet.
- ② Erklären Sie, warum die Zuverlässigkeit des genetischen Fingerabdrucks mit der Anzahl der untersuchten STRs steigt.
 - Je mehr STRs untersucht werden, umso unwahrscheinlicher ist es, dass jemand genau die gleiche Kombination von Wiederholungen in allen untersuchten STRs aufweist.
- ③ Gegen den Vorschlag den genetischen Fingerabdruck von allen Bürgern polizeilich zu erfassen wurde argumentiert, dass diese Informationen von Versicherungen oder Arbeitgebern missbraucht werden könnten. Nehmen Sie zu dieser Sorge mit Blick auf die untersuchten DNA-Abschnitte Stellung.
 - Diese Sorge ist unbegründet, solange für den genetischen Fingerabdruck lediglich STR-Sequenzen oder andere nicht-codierende DNA-Bereiche untersucht werden. Diese Sequenzen enthalten keine Informationen über Krankheiten oder Eigenschaften der betreffenden Person.
- ④ Begründen Sie mit der DNA-Analyse von Abb. 3, welcher Mann als Vater in Frage kommt.
 - Drei Banden, die hier bei der Tochter erkennbar sind, treten bei der Mutter nicht auf und müssen daher alle vom Vater stammen. Nur Vater 3 besitzt diese drei Banden und kommt daher als Vater in Frage.

Schülerbuch Seite 139

- ① Erläutern Sie, inwiefern die Antisense-Technik auch bei der Industriekartoffel eingesetzt wird.
 - Auch hier wurde das Gen umgekehrt in das Genom eingefügt, sodass eine komplementäre Antisense-RNA erzeugt wird.
- ② In das Genom der Anti-Matsch-Tomate wurde zusammen mit dem Antisense-Gen auch ein Resistenzgen gegen das Antibiotikum Kanamycin als Marker eingebaut. Diskutieren Sie die Möglichkeit, dass im Darm durch den Verzehr der Tomaten kanamycinresistente Bakterien entstehen.
 - Eine solche Transformation ist sehr unwahrscheinlich, da die DNA durch die Verdauung normalerweise zerstört wird. Allerdings kann die Möglichkeit nicht sicher ausgeschlossen werden.

- ③ Informieren Sie sich über das Für und Wider des Golden Rice.
 - Befürworter: Preiswerte Vitaminquelle, vor Ort produzierbar und leicht lagerfähig; Gegner: Herstellerfirma will alte Sorten verdrängen und später an der patentierten Sorte Geld verdienen, neben dem Gen für Beta Carotin sind noch viele weitere Gene eingefügt worden, deren Wirkung auf den Körper noch nicht sicher abgeschätzt werden kann.
- ④ Stellen Sie in einem Schema dar, warum transgene Industriekartoffeln keine Amylose herstellen.
 - Schema mit Antisense-RNA und Abbau von RNA durch RNA-Interferenz.
- ⑤ Die RNA-Interferenz wird auch Post-Transcriptional Gene Silencing (PTGS) genannt. Erläutern Sie, inwiefern durch die RNA-Interferenz nach der Transkription ein Gen unwirksam wird.
 - Die RNA-Interferenz stellt einen natürlichen Mechanismus dar, der verhindert, dass ein Genprodukt gebildet wird. Da dies nach der Transkription erfolgt und das Gen damit unwirksam ist, macht die Bezeichnung „post-transkriptionale Gen-Stillelegung“ Sinn.

Schülerbuch Seite 139 — Zettelkasten

- ① Geben Sie an, ob die folgenden Produkte unter die Verordnung fallen:
 - Tomatenketchup mit gentechnisch veränderten (gv) Tomaten,
 - Schokolade mit Sojalecithin aus gv-Soja,
 - Soßenwürze mit gv-Hefe,
 - Milch von Kühen, die mit gv-Soja gefüttert wurden;
 - Schweinefleisch von Tieren, die ohne gv-Futtermittel gemästet, aber mit gentechnisch hergestellten Medikamenten versorgt wurden.
- Lebensmittel, die unter die Verordnung fallen, sind nicht automatisch kennzeichnungspflichtig. Unter die Verordnung fallen die folgenden oben genannten Produkte:
 - Tomatenketchup mit gentechnisch veränderten (gv) Tomaten,
 - Schokolade mit Sojalecithin aus gv-Soja,
 - Soßenwürze mit gv-Hefe.
- ② Strittig ist, ob Zusatzstoffe, die von GVO hergestellt wurden und keine GVO enthalten unter die Verordnung fallen sollten. Notieren Sie Argumente die dafür und dagegen sprechen.
 - Pro: Verbraucher wollen nicht nur wissen, ob ein Lebensmittel GVO enthält, sondern auch, ob zu dessen Produktion GVO verwendet wurden.
Contra: Wenn ein Zusatzstoff keine DNA enthält, sind denkbare Risiken aufgrund von verändertem Erbmateriale ausgeschlossen.

Schülerbuch Seite 141

- ① Begründen Sie, warum neben dem Bt-Gen ein Antibiotikum-Resistenzgen in die Maiszelle eingeschleust wurde.
 - Das Antibiotikum-Resistenzgen diente als Marker, um auf einem Nährboden mit dem Antibiotikum die transgenen Zellen herauszufinden, bei denen die fremde DNA erfolgreich eingebaut wurde.
- ② Erklären Sie, warum der großflächige Anbau von Bt-Pflanzen die Bildung resistenter Schädlinge fördert.
 - Je größere Flächen mit Bt-Pflanzen angebaut werden, desto mehr Insekten kommen mit dem Wirkstoff Bt-Toxin in Kontakt. Die Wahrscheinlichkeit, dass sich darunter resistente Insekten befinden, die sich dann besser vermehren und verbreiten, steigt mit der Auswahl der betroffenen Insekten. Dabei ist es unerheblich, zu welcher Arten die Pflanzen gehören.
- ③ Mithilfe von *Agrobacterium tumefaciens* können Gene in Sojazellen eingeschleust werden. Beschreiben Sie die Vorgehensweise mit einem Flussdiagramm.
 - Isolierung des Fremd-Gens → Einfügen des Fremd-Gens in das Ti-Plasmid von *A. tumefaciens* → Infektion von Pflanzenzellen mit dem veränderten Bakterium → Selektion der transgenen Pflanzenzellen mit dem Fremdgen → Zucht von transgenen Pflanzen
- ④ Stellen Sie für die Roundup-Sojabohne und den Bt-Mais Vorteile und Risiken gegenüber.

	Vorteil	Nachteil
Roundup-Sojabohne	weniger Spritzmittel notwendig, gute Erträge	Resistenzbildungen bei Unkräutern sind zu erwarten, die transgene Pflanze enthält mehrere fremde Gene, deren Folgen nicht sicher abschätzbar sind
Bt-Mais	eher harmloser Wirkstoff erreicht vor allem nur Fraßfeinde	Resistenzbildungen durch Dauereinwirkung und großflächigen Anbau gefördert; Folgen auf andere Insekten und Bodenorganismen unklar

- ⑤ Erklären Sie, wie es möglich ist, dass die Summe der Prozentzahlen in Abb. 2 über 100% liegt.

- In manche Pflanzen wurden mehrere Gene mit unterschiedlichen Zuchtzielen gleichzeitig eingebaut.

Schülerbuch Seite 143

- ① Vergleichen Sie die beiden Gentherapien bezüglich ihrer Wirkung auf den Patient und dessen Nachkommen.
 - Keimbahntherapie: Dauerhafte Veränderung bei allen Zellen der Nachkommen des Patienten. Keine Heilung für den Patient. Somatische Gentherapie: Nur der Patient ist betroffen, da die Veränderung nicht an die Nachkommen weitergegeben werden. Nur wenige Zellen werden verändert. Oft nur vorübergehende Heilung, da Zellen mit Defekt wieder nachgebildet werden.
- ② Erklären Sie, warum ASHANTI nach der Gentherapie nur zum Teil das von ihr benötigte ADA herstellen konnte und immer noch auf Injektionen angewiesen war.
 - Vermutlich gelang die Veränderung bei zu wenigen Zellen, so dass die körpereigene Produktion des Enzyms nicht ausreichte.
- ③ Erläutern Sie, warum die Wirkung der somatischen Gentherapie oft nur kurzfristig ist.
 - Wenn die adulten Stammzellen im Gewebe nicht verändert wurden, bilden diese weiterhin Zellen mit dem Gendefekt. Nach einiger Zeit sind die veränderten Zellen wieder durch defekte Zellen ersetzt.
- ④ Erklären Sie, welche besonderen ethischen Probleme die Keimbahntherapie aufwirft.
 - Der Patient entscheidet über eine genetische Veränderung, die nicht ihn, sondern seine Nachkommen betreffen wird und dessen Folgen vielleicht nicht sicher abschätzbar sind.

Schülerbuch Seite 143 — Zettelkasten

- ① Formulieren Sie mit eigenen Worten, auf welche Schwierigkeiten bei der Gentherapie PROF. KAY hinweist.
 - Er weist darauf hin, dass das Zusammenwirken der Gene noch nicht in allen Details verstanden wird.
- ② Nehmen Sie zu dem Zitat von PROF. CAPLAN Stellung.
 - Er bagatellisiert die Auswirkungen der Keimbahntherapie durch den Vergleich mit Impfungen und Trinkwasseraufbereitung. Zum einen können die Auswirkungen einer Keimbahntherapie dramatischer sein und zum anderen verschweigt er dabei, dass die Betroffenen bei der Keimbahntherapie nicht zustimmen können, während dies bei Impfungen möglich ist.

Schülerbuch Seite 145

- ① Humangenetiker können das menschliche Genom auf etwa 800 Krankheiten testen. Begründen Sie, in welchen Fällen Sie eine

genetische Diagnose von Erbkrankheiten für sinnvoll halten.

- Hier sind unterschiedliche Stellungnahmen möglich. Viele Menschen sind der Ansicht, dass ein Gentest nur dann sinnvoll ist, wenn auch eine entsprechende Therapie zur Verfügung steht.
- ② Beschreiben Sie ein Verfahren, mit dem geprüft werden kann, ob die Fremd-DNA erfolgreich in CHO-Zellen integriert worden ist.
 - Ein Antibiotikum-Resistenzgen als Marker ist hier nicht möglich, da es sich um Säugerzellen handelt. Es ist daher ein Marker notwendig, dessen Genprodukt auf andere Weise nachgewiesen werden kann. Denkbar sind Gene, die für Farbstoffe codieren (z. B. grünfluoreszierendes Protein).
- ③ Geben Sie an, welche Vorteile die Gewinnung eines Wirkstoffs aus der Milch eines Tieres gegenüber der Herstellung mit CHO-Zellen bietet.
 - Der Wirkstoff kann permanent gewonnen werden, ohne Schaden für das Tier oder die Zellkultur. Eine Produktionssteigerung wäre durch Klone des gentechnisch veränderten Tieres denkbar.

Schülerbuch Seite 145 — Zettelkasten

- ① Erklären Sie, warum nach der Hybridisierung gespült werden muss.
 - Damit wird sichergestellt, dass nur die DNA-Fragmente zurückbleiben, die auch hybridisiert haben. Da die zu untersuchende DNA markiert wurde, wäre sonst in jedem Fall ein Signal zu registrieren.

Schülerbuch Seite 146/147

- ① Begründen Sie, warum die Supermaus keine Knockout-Maus darstellt.
 - Es wurde kein Gen ausgeschaltet, sondern eines hinzugefügt. Es wurde also keine Genfunktion ausgeschaltet, sondern verstärkt.
- ② Beschreiben Sie, wie durch das gezielte Ausschalten eines bestimmten Gens die Funktion des entsprechenden Genprodukts erforscht werden kann.
 - Das Fehlen des Genprodukts bewirkt verschiedene Symptome. Anhand der Symptome kann auf die Funktion des Genprodukts geschlossen werden.
- ③ Beschreiben Sie mögliche Anwendungen von Knockout-Mäusen in der Medizin.
 - Medizinische Grundlagenforschung (vgl. Aufg. 2); Erforschung von bestimmten Erbkrankheiten, indem eine Knock-out Maus mit entsprechendem Fehler im Genom als Modellorganismus dient.
- ④ Erklären Sie, warum der erfolgreiche Einbau eines Gens in das Genom nicht gleichbedeutend damit ist, dass das entsprechende Genprodukt auch produziert wird.
 - Erst, wenn das Gen auch unter einem aktiven Promotor steht, der tatsächlich abgelesen

wird, entsteht auch das zugehörige Genprodukt (Protein).

- ⑤ Erläutern Sie, wie man mit dem GFP-Gen experimentell nachweisen könnte, dass ein bestimmtes Gen nur in einer jungen Nervenzelle aktiv ist.
 - Es müsste gelingen, das GFP-Gen hinter demselben Promotor wie das zu untersuchende Gen einzufügen. Wenn die Nervenzelle dann grün fluoresziert, sind beide Gene aktiv.
- ⑥ Stellen Sie die Erstellung einer Genbibliothek in einer Schemazeichnung dar.
 - Wichtige Schritte: DNA mit Restriktionsenzymen in Fragmente zerschneiden; Einfügen der Fragmente in Bakterien; Kultivierung von Stämmen, die je ein Fragment in ihr Genom eingebaut haben.
- ⑦ Beschreiben Sie ein Verfahren, mit dem das virale DNA-Fragment aus einem Bakterium isoliert werden kann.
 - Herausschneiden des Fragments mit Restriktionsenzymen, Nachweis des viralen Fragments durch eine passende Gensonde.
- ⑧ Erklären Sie, wie verschiedene Zelltypen eines Organismus unterschiedliche Proteome ausbilden können, obwohl sie erbgleich sind und dieselben Gene enthalten.
 - In jeder Zelle eines Organismus liegt zwar dasselbe Erbmateriale vor, allerdings sind nie alle Gene aktiv bzw. werden unterschiedlich stark abgelesen. Dadurch unterscheiden sich die Zellen (räumlich und zeitlich) in ihrem Proteom.
- ⑨ Geben sie jeweils ein Beispiel dafür an, wie Proteine Gene beeinflussen und umgekehrt.
 - Repressor-Proteine können verhindern, dass Gene abgelesen werden (siehe Operon-Modell); der umgekehrte Fall ist trivial, das Gene für Proteine codieren und damit deren Eigenschaften beeinflussen.
- ⑩ Stellen Sie die Unterschiede bei Gelelektrophorese und Blotting-Verfahren für DNA und Proteine zusammen.

	DNA	Proteine
Gelelektrophorese	häufig Agarose-Gel	oft Polyacrylamid-Gel
Blotting	Southern-Blot	Western-Blot

Schülerbuch Seite 148/149

- ① In dem Gespräch wird den Kritikern und den Befürwortern der Gentechnik vorgeworfen zu übertreiben. Erläutern Sie jeweils die Argumentation dafür.
 - Kritiker übertreiben, da sie die Bedeutung der Gene überbewerten und zu Verschwörungstheorien neigen. Befürworter übertreiben, indem Sie werbewirksame Schlagzeilen über angebliche Forschungserfolge in die Welt setzen, um Ruhm und Forschungsgelder zu erlangen.

- ② Beschreiben Sie Fälle, in denen Sie eine Keimbahntherapie erlauben bzw. verbieten würden.
- Hier sind viele Fälle denkbar, die unterschiedlich bewertet werden können. Entscheidend ist eine sinnvolle Diskussion über folgende Problemfelder: staatliche Regelung – individuelle Freiheit; Interessen der Eltern – Interessen des Kindes.
- ③ Beschreiben Sie, welcher mögliche Widerspruch in der Rechtsprechung hier angesprochen wird.
- Während eine Abtreibung unter bestimmten Voraussetzungen nicht strafrechtlich verfolgt wird, steht die Manipulation von Embryonen unter Strafe. (Juristisch wird dies damit begründet, dass eine Schwangere durch ihren Embryo wesentlich stärker in ihrem Leben beeinflusst wird, als ein Forscher, der Embryonen für Forschungszwecke braucht.)
- ④ Belegen Sie, wie der Import von embryonalen Stammzellen verteidigt wird.
- Wer schon vorhandene Stammzelllinien verwendet, muss keine weiteren Embryonen zur Herstellung dieser Linien verbrauchen.
- ⑤ Erläutern Sie die Kritik, die der Cartoon in Abb. 1 ausdrückt.
- Bei gentechnischen Veränderungen stehen Vorteile für die wirtschaftliche Nutzung im Vordergrund, während Folgen für Ökosysteme und Umwelt nicht berücksichtigt werden.
- ⑥ Begründen Sie, warum für die Kennzeichnungspflicht ein Schwellenwert erforderlich ist.
- Da geringe Verunreinigungen in der Praxis kaum zu vermeiden sind, müssten dann so viele Produkte gekennzeichnet werden, dass die Kennzeichnung ihren Sinn verlieren würde.
- ⑦ Erläutern Sie, inwiefern die Regelungen die drei genannten Prinzipien erfüllen.
- Transparenz durch Kennzeichnung; Koexistenz durch Vorgabe von Mindestabständen und Heckenpflanzungen; Haftung durch den Verursacher.
- ⑧ Das erwähnte Gesetz wurde als „Gentechnikverhinderungsgesetz“ kritisiert. Nehmen Sie dazu Stellung.
- Da der Landwirt, der gentechnisch verändertes Saatgut ausbringen will, für die Folgen durch diesen Anbau haftet, werden die Risiken schlecht abschätzbar und der Anbau damit erschwert.
- ⑨ Teilen Sie die Rollen einzelnen Gruppen zu. Sammeln Sie in jeder Gruppe für Ihre Rolle Argumente und Gegenargumente.

	Argument	Gegenargument
Landwirt A	Verdienst; Anbau auf eigenem Land; Saatgut freigegeben	Auswirkungen auf Nachbarn; Risiken schlecht abzuschätzen
Landwirt B	Gefahr für Bio-Handel; Überproduktion	Anbau rechtlich möglich
Sprecherin	wenig Herbizide; unbegründete Ängste	Resistenzen zu erwarten
Bürgermeister	Grundwasser schonen; moderne Landwirtschaft muss möglich sein	gerade die moderne Landwirtschaft hat Grundwasser belastet
Bürgerinitiative	Resistenzen und neue Parasiten denkbar; Interessen der Konzerne stehen im Vordergrund	generelle Technikfeindlichkeit

- ⑩ Notieren Sie weitere Argumente, die in der Podiumsdiskussion vorgebracht werden könnten.
- Im Lauf der Diskussion könnte ein Kompromiss gesucht werden, der die Voraussetzungen und Regelungen für den Anbau benennt und die Verantwortlichkeiten klärt.
- ⑪ Bestimmen Sie in jeder Gruppe einen Sprecher und führen Sie die Podiumsdiskussion durch.
- Individuelle Lösung.

Reproduktionsbiologie

Schülerbuch Seite 154

- ① Zeichnen Sie den Stammbaum folgender Familien und berechnen Sie folgende Wahrscheinlichkeiten.
 - a) Das erste Kind eines phänotypisch gesunden Elternpaares leidet an einer autosomal-rezessiv vererbten Krankheit. Wie groß ist die Erkrankungs Wahrscheinlichkeit für das nächste Kind?
 - b) Ein Elternteil ist Überträger einer autosomal-rezessiv vererbten Krankheit, der andere homozygot gesund. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, dass ihr Kind erkrankt? Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, dass ihr Kind Überträger ist?
 - a) Die Eltern müssen heterozygote Träger der Mutation sein. Die Wahrscheinlichkeit, dass die Mutation in eine Keimzelle gelangt ist jeweils $\frac{1}{2}$. Für jede Zygote $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$, also 25%.
 - b) 0% für die Erkrankung, 50% für die Übertragung.
- ② Vergleichen Sie die Methoden hinsichtlich des Risikos für das Kind und der Zeit, die den Eltern für eine Entscheidung bleibt.
 - Das Risiko für eine Fehlgeburt ist bei der Amniozentese am geringsten (0,5%), dicht gefolgt von der Chorionzottenbiopsie (0,5 – 1%). Die Chorionzottenbiopsie kann allerdings schon einen Monat früher vorgenommen werden und lässt den Eltern mehr Zeit für eine Entscheidung.
- ③ Welchen Eltern würden Sie zu einer pränatalen Diagnostik raten?
 - Erhöhtes Alter der Schwangeren, Verdächtiger Ultraschallbefund oder auffälliges Ergebnis beim Triple-Test, familiäres Risiko für eine genetische Erkrankung oder Behinderung.
- ④ Der Triple-Test misst die Konzentration von drei Hormonen im Blut der Mutter (ab der 15. Schwangerschaftswoche). Bei genauer Kenntnis des Schwangerschaftsalters kann aus den Messwerten errechnet werden, ob ein erhöhtes Risiko besteht, dass das ungeborene Kind am Down-Syndrom oder an einer gestörten Entwicklung des Neuralrohres („offener Rücken“, Spina bifida) leidet. Es gibt jedoch viele falschpositive und einige falschnegative Ergebnisse. Diskutieren Sie Vor- und Nachteile des Tests.
 - Ein unauffälliges Testergebnis ist keine Garantie für ein gesundes Kind, sondern liefert nur eine Aussage über veränderte Wahrscheinlichkeiten für ein krankes Kind. Es kann eine Amniozentese also nicht vollständig ersetzen. Der Test liefert unauffällige Ergebnisse, z. B. wenn das Stadium der Schwangerschaft nicht genau bekannt ist (unter 15 Wochen). Ein auffälliges Testergebnis muss unbedingt durch eine Amniozentese bestätigt werden, es kann sonst die werdenden Eltern unnötig ängstigen.

- ⑤ PID ist in Deutschland verboten. Stellen Sie Argumente der Befürworter und Gegner gegenüber und bilden Sie sich eine eigene Meinung.
 - Pro: Warum ist es verboten, eine genetische Behinderung vor der Implantation des Keimes festzustellen, wenn die Abtreibung des implantierten Keimes noch Monate später aus gleichem Anlass erlaubt ist?
Contra: Auswahl von Embryonen gleicht einer „Qualitätskontrolle“ für ungeborene Kinder (Geschlechtswahl u. a.), menschliche Selektion wird möglich, Problematik von Designer-Babys, wo findet das Lebensrecht für Behinderte Berücksichtigung?

Schülerbuch Seite 155

- ① Das Embryonenschutzgesetz (ESchG) vom 13.12.1990 verbietet künstliche Veränderungen der Keimbahnzellen, § 8 lautet: „Keimbahnzellen im Sinne dieses Gesetzes sind alle Zellen, die in einer Zelllinie von der befruchteten Eizelle bis zu den Ei- und Samenzellen des aus ihr hervorgegangenen Menschen führen, ferner die Eizelle vom Einbringen oder Eindringen der Samenzelle an bis zu der mit der Kernverschmelzung abgeschlossenen Befruchtung.“ Bezieht sich dieses Gesetz auch auf Stammzellen und wenn ja, auf welche Sorte?
 - Es bezieht sich nur auf embryonale Stammzellen. Adulte Stammzellen fallen nicht unter den Schutz.

Schülerbuch Seite 156

- ① Recherchieren Sie z. B. im Internet, wie die In-vitro-Fertilisation in Deutschland rechtlich geregelt ist.
 - Das deutsche Embryonenschutzgesetz von 1990 verbietet die Gefrierkonservierung oder Weiterverwendung überzähliger Embryonen, Eizellspende und Leihmutterchaft. Strafbar macht sich auch, wer Erbinformationen einer menschlichen Keimzelle künstlich verändert, oder identische Kopien (Klone) schafft. Eizellen, in die soeben ein Spermium eingedrungen ist, dürfen aufbewahrt werden. Sie gelten nicht als Embryonen, da die Zellkerne von Spermium und Ei noch nicht miteinander verschmolzen sind.
- ② Bei einer In-vitro-Fertilisation ist es möglich, verschiedene genetische Merkmale festzustellen. Man spricht von Präimplantationsdiagnostik (PID). Welche Regelungen hat der Gesetzgeber erlassen, um eine Auswahl von Embryonen nach bestimmten Merkmalen (Embryonenselektion) zu verhindern?
 - In Deutschland wird die PID nicht angeboten. Strittig ist, ob sie mit dem Embryonenschutzgesetz vereinbar ist. Der Gesetzgeber denkt allerdings darüber nach, ob eine Regelung wie beim § 218, der die Abtreibung regelt, erlassen werden soll. Die PID wäre dann zwar illegal, bliebe aber straffrei.

Schülerbuch Seite 159

- ① Erstellen Sie für die Erkrankungen ALL, Multiple Sklerose, Alzheimer, Herzinfarkt, Diabetes mellitus eine Übersicht bezüglich
 - Ursachen
 - Symptomen
 - Möglichkeiten und Grenzen konventioneller Therapie
 - Prognose bei konventioneller Therapie
 - Möglichkeiten und Risiken bei Einsatz biomedizinischer Techniken.
- ② Zeigen Sie auf der Grundlage eigener Recherche mögliche Beziehungen zwischen
 - Stammzellenforschung
 - Präimplantationsdiagnostik
 - Klonen
 - Gentechnik auf.
- ③ Befürworter und Gegner biomedizinischer Techniken nehmen für sich in Anspruch, aus ethischen Beweggründen zu handeln. Vergleichen Sie deren Argumentation.
- ④ Prüfen Sie die Argumentation von Gegnern und Befürwortern anhand eines konkreten Beispiels auf Plausibilität und Anwendbarkeit. Wählen Sie dazu ein geeignetes Beispiel aus (siehe Aufgabe 1). Führen Sie mit Kursteilnehmern eine Diskussionsrunde durch. Dabei sollte je ein Schüler die Position eines Gegners, eines Befürworters und eines Betroffenen einnehmen.
 - *Grundlegende Informationen über die angesprochenen Krankheiten sollten sich Schüler zunächst aus Lehrbüchern oder aus Lexika beschaffen. Im Internet veröffentlichte Artikel sind oft fehlerhaft, wenn sie nicht aus wirklich seriösen Quellen stammen. Andere Veröffentlichungen sind so formuliert, dass sie nur den eigenen Interessen des Verfassers dienen. Aktuelle und zugleich zuverlässige sowie objektive Informationen erhält man erfahrungsgemäß auf den Internetseiten von Selbsthilfeeorganisationen von Betroffenen, z. B. www.dmsg.de, www.deutsche-alzheimer.de, www.alzheimerforum.de und von den großen Wissenschaftsorganisationen, z. B. www.dfg.de*

Schülerbuch Seite 160/161

- ① Einem Ansatz mit Plasmiden vom Typ pBR 322 werden die Restriktionsenzyme EcoR I, Pst I und Sal I zugegeben. Dabei werden nicht alle Plasmide von allen drei Restriktionsenzymen geschnitten. Berechnen Sie die Länge der möglichen Fragmente.
 - *Die genannten Enzyme schneiden an den Stellen 651, 3607 und 4359. Bei vollständigem Restriktionsverdau ergeben sich drei Abschnitte mit folgenden Längen: 653 bp, 2956 bp, 752 bp. Durch unvollständiges Schneiden sind auch längere Bruchstücke möglich: 1405 bp, 3609 bp, 3708 bp und 4361 bp (eine Schnittstelle, die das ringförmige Plasmid zu einem linearen Molekül aufschneidet).*

- ② Die Fragmente werden mit einer Gelelektrophorese aufgetrennt. Zeichnen Sie das Bandenmuster.
 - *Das Gel sollte alle in Aufgabe 1 aufgezählten Banden zeigen. (In der Praxis würde neben der linearen Bande für 4361 bp auch eine zusätzliche Bande für ungeschnittene ringförmige Plasmide entstehen.)*
- ③ Erklären Sie, warum das Restriktionsenzym Hind III für das Einschleusen von Fremd-DNA nicht geeignet ist.
 - *Die Schnittstelle sollte in einem Markergen liegen, damit das erfolgreiche Einschleusen durch das fehlende Genprodukt erkannt werden kann.*
- ④ Erläutern Sie, warum das Plasmid zur Genübertragung zwei verschiedene Resistenzgene enthalten muss, um erfolgreich transformierte Bakterien aufzufinden.
 - *Das Produkt des ersten Markergens zeigt das Vorhandensein des Plasmids an. Durch das fehlende Produkt des zweiten Markergens mit der Schnittstelle wird das erfolgreiche Einschleusen von Fremd-DNA angezeigt.*
- ⑤ Geben Sie an, welche Bestandteile in die Ansätze 1 bis 4 gegeben wurden.
 - *In jedem Ansatz befindet sich die zu sequenzierende DNA, alle vier Desoxy-nucleotide und je ein Typ markierter Dideoxynucleotide.*
- ⑥ Geben Sie die Polung während der Gelelektrophorese an.
 - *Die Laufrichtung geht vom Minus-Pol zum Plus-Pol.*
- ⑦ Erklären Sie, warum sich die DNA-Fragmente im Gel nach ihrer Länge sortieren.
 - *Je länger ein DNA-Molekül ist, desto langsamer kommt es im Gel voran. Zwar besitzen größere DNA-Moleküle mehr negativ geladene Phosphatgruppen, aber die Bremswirkung des Gels nimmt wesentlich stärker zu.*
- ⑧ Ermitteln Sie aus dem Gel die Basensequenz des untersuchten DNA-Abschnitts.
 - *Die gebildeten DNA-Stränge sind komplementär zum untersuchten DNA-Abschnitt. Sie haben die Basenfolge AGTCGTT-CAGTGATCTGGA. Der zu untersuchende Abschnitt lautet also TCAGCAAGTCAC-TAGACCT. (Hinweis: Bei der ersten Auflage wurden leider zwei Banden auf gleicher Höhe eingezeichnet.)*
- ⑨ Erklären Sie, warum von dem Impfstoff keine Infektionsgefahr ausgehen kann.
 - *Da der Impfstoff nur aus einem Oberflächenprotein des Virus besteht, kann er nicht infektiös sein. Gefährlich könnten lediglich allergische Reaktionen auf das Protein werden.*
- ⑩ Begründen Sie, warum die rekombinanten Hefen ungeschlechtlich vermehrt werden müssen, um den Impfstoff in größeren Mengen zu produzieren.
 - *Durch die ungeschlechtliche Vermehrung wird gewährleistet, dass viele erbgleiche Hefezellen entstehen, die alle den Impfstoff produzieren können.*

- ⑪ Begründen Sie, warum mit den Fibroblasten nur Hautgewebe und nicht etwa Muskelgewebe gebildet werden kann.
- *Fibroblasten sind adulte Stammzellen für Hautgewebe. Das bedeutet, dass sie sich zu verschiedenen Hautzellen differenzieren können, aber nicht zu Muskelzellen.*
- ⑫ Bewerten Sie die Verwendung von adulten Stammzellen unter ethischen Gesichtspunkten.
- *Die Verwendung von adulten Stammzellen ist ethisch unbedenklich, da Patienten deren Entnahme zustimmen können und daraus kein neuer Mensch entstehen kann.*
- ⑬ Beschreiben Sie die wichtigsten Schritte zur Erzeugung eines Bakterienstamms von *Escherichia coli*, der EPO produziert.
- *Gen für EPO mit einem bestimmten Restriktionsenzym ausschneiden; Plasmid mit demselben Restriktionsenzym schneiden; Gen für EPO in Plasmid einfügen; rekombinantes Plasmid in *E. coli* einschleusen; erfolgreich transformierte Bakterienzellen anhand von Markergenen herausfinden.*
- ⑭ Momentan wird rekombinantes EPO vor allem in CHO-Zellen von Säugetieren produziert. Begründen Sie, warum die Verwendung von Säugetierzellen bei der Produktion von EPO vorteilhaft ist.
- *Säugetierzellen sind im Gegensatz zu Bakterienzellen eukaryote Zellen und wie menschliche Zellen zum Spleißen befähigt. Würde man das Gen unverändert in Bakterienzellen einschleusen, würden Exons und Introns gleichbehandelt.*
- ⑮ Beschreiben Sie das abgebildete Nachweisverfahren für rekombinantes EPO im Urin.
- *Für den Nachweis werden Proteine im Urin durch ein Gel getrennt und auf eine Membran übertragen. Nach Zugabe von MAK, die spezifisch an rekombinantes EPO binden, kommt es zu einer Bindung an rekombinantes EPO auf der Membran. Nach einem Spülvorgang wird ein enzymgekoppelter Antikörper zugegeben, der an zurückgebliebene MAK bindet. Nach einem erneuten Spülvorgang wird ein Substrat zugegeben, das durch den enzymgekoppelten Antikörper in einen Farbstoff umgewandelt wird.*
- ⑯ Begründen Sie, warum mit diesem Verfahren schon sehr geringe Mengen an EPO nachweisbar sind.
- *Die Spezifität ergibt sich aus der Spezifität der MAK für rekombinantes EPO. Die hohe Empfindlichkeit folgt durch die Enzymreaktion, da schon geringe Mengen enzymgekoppelter Antikörper große Mengen Farbstoff bilden können.*
- ⑰ Notieren Sie Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen der Geschlechtsbestimmung bei Säugetieren und Vögeln.
- *Gemeinsamkeiten: Geschlechtsbestimmung durch Chromosomen
Unterschied: unterschiedliche Chromosomen ergeben beim Menschen ein Männchen und bei den Papageien ein Weibchen.*
- ⑱ Bestimmen Sie aus dem Bandenmuster des Gels das Geschlecht der untersuchten Vögel A und B.
- *Vogel A: Weibchen mit W- und Z-Chromosom;
Vogel B: Männchen mit zwei Z-Chromosomen.*
- ⑲ Erläutern Sie das Verfahren der Polymerase-Kettenreaktion (PCR).
- *Erläuterung des Verfahrens über die drei Schritte der PCR: Denaturierung der DNA-Stränge bei 90°C; Hybridisierung mit den Primern bei 50°C; Synthese der Doppelstränge bei 70°C; Ablauf mehrerer Zyklen.*
- ⑳ DNA aus dem Federkiel, die ursprünglich der PCR zugegeben wurde, enthält das gesamte Genom. Erklären Sie, warum diese DNA im Bandenmuster nicht störend wirkt.
- *Da die restliche DNA bei der PCR nicht vervielfältigt wurde, ist sie im Gel so gering konzentriert, dass sich keine Banden bilden.*
- ㉑ Belegen Sie, welche der folgenden Verfahren durch die zitierten Absätze des Embryonenschutzgesetzes verboten sind:
- Keimbahntherapie,
 - somatische Gentherapie,
 - künstliche Befruchtung,
 - therapeutisches Klonen.
- *Der Abschnitt 1.2 verbietet therapeutisches Klonen. Die anderen Verfahren sind durch die zitierten Abschnitte nicht verboten, sofern keine befruchteten Eizellen übrig bleiben, die nicht für eine Schwangerschaft vorgesehen sind.*

Immunbiologie

Grundlagen der Immunbiologie

Schülerbuch Seite 165

- ① Begründen Sie, warum Atemwegserkrankungen und Darminfektionen relativ häufig auftreten.
 - *Durch äußere Atmung und Nahrungsaufnahme gelangen besonders viele Mikroorganismen der Umwelt an die Schleimhäute der Atemwege und des Darmsystems. In den feuchten und warmen Schleimhäuten finden Mikroorganismen gute Lebensbedingungen vor. Aufgrund des Stoffaustausches über Schleimhäute sind diese auch eher durchlässig für Viren und Bakterien.*
- ② Beschreiben Sie jeweils die Folgen für unseren Körper, wenn unser Immunsystem eine der vier genannten Eigenschaften nicht hätte.
 - *Ohne Fremderkennung drohen einerseits Autoimmunerkrankungen und andererseits Infektionskrankheiten. Ohne Vielfalt blieben manche Erreger unerkannt. Ohne Spezifität wäre kein effektiver Materialeinsatz möglich. Ohne immunologisches Gedächtnis würden wir immer wieder an denselben Infektionskrankheiten leiden.*
- ③ Nützliche Darmbakterien werden vom Immunsystem toleriert, während Salmonellen abgewehrt werden. Geben Sie dafür eine mögliche Erklärung.
 - *Offensichtlich lösen die normalen Bakterien unserer Darmflora keine Immunreaktion aus. Denkbar ist, dass entsprechende Immunzellen nicht im Körper sind oder deren Aktivität unterdrückt wird.*
- ④ Nach einer Infektion schwellen oft die Lymphknoten an. Erklären Sie diese Beobachtung.
 - *In den Lymphknoten treffen Krankheitserreger besonders häufig auf Lymphocyten. Das Anschwellen des betroffenen Lymphknotens ist eine Folge der Vermehrung von passenden Lymphocyten und der spezifischen Abwehr.*

Schülerbuch Seite 166

- ① Beschreiben Sie mit einem Flussdiagramm, wie die Symptome einer Entzündung entstehen.
 - *Makrophagen phagozytieren Bakterien → geben Cytokine ab → Erweiterung von Blutgefäßen (Rötung); Mastzellen geben Histamin ab → erhöhte Durchlässigkeit der Kapillarwände → Blutplasma tritt vermehrt aus (Schwellung) → Druck auf Nervenenden (Schmerz).*
- ② Begründen Sie, warum die Entzündungsreaktion zur unspezifischen Abwehr gezählt wird.
 - *Weil die eingedrungenen Bakterien lediglich als fremd erkannt werden, zählt die Entzündungsreaktion zur unspezifischen Abwehr.*

Schülerbuch Seite 167

- ① Erläutern Sie, welche Strukturen und Prozesse für die Fremderkennung verantwortlich sind.
 - *Verantwortliche Strukturen für die Fremderkennung sind Rezeptoren in der Zellmembran, die an fremde Moleküle binden. Der zugrundeliegende Prozess für die Zell-Zell-Wechselwirkung ist das Schlüssel-Schloss-Prinzip*

Schülerbuch Seite 169 — Zettelkasen

- ① Begründen Sie, weshalb davon auszugehen ist, dass auf ein Bakterium viele verschiedene Antikörper passen.
 - *Auf der Bakterienoberfläche finden sich viele Makromoleküle, die eine Vielzahl von Epitopen für Antikörper darstellen.*
- ② Erläutern Sie, wie Schlangengift, das aus Eiweiß besteht, durch Antikörper bekämpft werden kann.
 - *Eiweißmoleküle sind große Moleküle, die mehrere Epitope bieten und deshalb durch Antikörper gebunden werden können. Das Gift wird dadurch unwirksam. Schlangenserum kann durch Immunisierung von Tieren gewonnen werden und enthält Antikörper gegen das Schlangengift.*

Schülerbuch Seite 171

- ① Erläutern Sie, warum man an Windpocken selten ein zweites Mal erkrankt.
 - *Nach der ersten Erkrankung ist der Körper immun gegen diese Kinderkrankheit. Das immunologische Gedächtnis wird durch langlebigen B- und T-Gedächtniszellen repräsentiert.*
- ② Erläutern Sie, die Bedeutung der T-Helferzellen bei der spezifischen Abwehr.
 - *T-Helferzellen sind sowohl für die Aktivierung von B-Zellen und als auch T-Zellen notwendig und damit für die Funktion der gesamten spezifischen Abwehr unerlässlich.*
- ③ Für die humorale und die zelluläre Immunreaktion muss das Antigen jeweils von zwei verschiedenen Zellen erkannt werden. Geben Sie mögliche Vorteile dieser doppelten Erkennung an.
 - *Unser Immunsystem ist eine gefährliche „Waffe“, die auch gegen den eigenen Körper vorgehen kann. Dies wird an verschiedenen Autoimmunerkrankungen deutlich. Durch die Notwendigkeit einer doppelten Erkennung von Antigenen ist ein versehentliches Aktivieren der spezifischen Abwehr weniger wahrscheinlich. Darüber hinaus wird dadurch Material und Energie gespart.*

Schülerbuch Seite 173

- ① Erklären Sie, warum T-Helferzellen nicht direkt an T-Killerzellen binden und diese aktivieren können.

- Da die CD4-Rezeptoren der T-Helferzellen nicht auf die MHC-I-Proteine der T-Killerzellen passen, ist ein direkter Kontakt nicht möglich.
- ② Malariaerreger vermehren sich unter anderem in Roten Blutkörperchen. Erklären Sie, warum sie dort kaum von der zellulären Immunabwehr erkannt werden.
 - Rote Blutkörperchen sind kernlos und besitzen keine MHC-Proteine, auf denen sie Antigenfragmente präsentieren könnten.
- ③ Nenne weitere Beispiele aus der Biologie für das Schlüssel-Schloss-Prinzip.
 - Enzym – Substrat, Transmitter – Rezeptor, Hormon – Rezeptor.

Schülerbuch Seite 174

- ① Vergleichen Sie die drei Theorien. Beschreiben Sie Gemeinsamkeiten und Unterschiede.
 - Die Seitenkettentheorie und die Theorie der klonalen Selektion sagen aus, dass die Antigen bildenden Rezeptoren bereits vor dem Antigenkontakt existieren. Nach der Instruktionstheorie entstehen spezifische Antikörper erst bei Antigenkontakt.
- ② Mit fortschreitender Kenntnis über den Aufbau von Proteinen und ihrer Raumstruktur wurde die Instruktionstheorie in der dargestellten Form aufgegeben. Geben Sie an, welcher Widerspruch in der Theorie erkannt wurde.
 - Die Instruktionstheorie geht von Polypeptidketten aus, die sich um das Antigen falten und so die zum Antigen komplementäre Raumstruktur erhalten. Die Raumstruktur von Proteinen ist jedoch durch die Aminosäuresequenz, also die Primärstruktur der Polypeptidkette fixiert. Daher ist eine Variation dieser Raumstruktur durch Faltung um ein Antigen auszuschließen.
- ③ Begründen Sie, welche Theorie zur Antikörperbildung durch das beschriebene Experiment widerlegt wird.
 - Das Experiment widerlegt die Seitenkettentheorie. Denn sonst hätten alle Lymphocyten radioaktives Antigen X gebunden. Dadurch wären alle Lymphocyten durch die Strahlung abgetötet worden. Danach wäre eine Antikörperbildung nicht mehr möglich gewesen.
- ④ Begründen Sie, weshalb das dargestellte Experiment nur dann gelingen kann, wenn die Mäuse, denen die Lymphocyten injiziert werden, einen Thymusdefekt besitzen.
 - Hätte die Maus keinen Thymusdefekt, könnte sie Antikörper gegen die injizierten Antigene bilden und die eingebrachten Lymphocyten abwehren. Da die Maus mit Thymusdefekt keine eigenen Lymphocyten besitzt, kann sie nur Antikörper produzieren, die von den injizierten Lymphocyten gebildet werden.

Schülerbuch Seite 175 — Zettelkasten

- ① Geben Sie an, was man unter einer Enzymkaskade versteht.

- Eine Enzymkaskade ist eine Abfolge von Enzymreaktionen, die sich nacheinander auslösen. Voraussetzung ist, dass das Produkt einer enzymatischen Reaktion selbst wieder als Enzym für eine weitere Reaktion dient. Da jedes Enzym viele Reaktionen auslösen kann, haben Enzymkaskaden normalerweise einen lawinenartigen Verstärkungseffekt.
- ② Erläutern Sie, warum das Komplementsystem sowohl zur spezifischen als auch zur unspezifischen Abwehr beiträgt.
 - Das Komplementsystem ist sowohl an der unspezifischen Abwehr als auch an der spezifischen Abwehr beteiligt. Beispielsweise erkennen Proteine des Komplementsystems bestimmte Moleküle von Bakterien als fremd und lösen eine Abwehrreaktion aus. Andererseits wird das Komplementsystem beim klassischen Weg durch Antikörper ausgelöst, die spezifisch an einen Krankheitserreger gebunden haben.

Schülerbuch Seite 177

- ① Beschreiben Sie den Vorgang der Abstoßung eines Hauttransplantats nach Abbildung 2.
 - Nach der Transplantation bilden sich neue Blutgefäße, die das transplantierte Gewebe mit Blut versorgen. Nach einigen Tagen kommt so das Transplantat verstärkt mit Leukocyten in Kontakt und wird durch die zelluläre Immunreaktion abgestoßen.
- ② Im Jahre 1907 gelang dem Wiener Arzt EDUARD ZIRM die erste erfolgreiche Transplantation einer Augenhornhaut. Erklären Sie, warum diese Transplantation ohne Verwendung von Immunsuppressiva gelingen konnte.
 - Die Hornhaut ist nicht durchblutet. Daher gelangen keine Leukocyten zum fremden Gewebe und die Abstoßung bleibt aus.
- ③ Schildern Sie die Auswirkungen auf die Organspende, wenn der Tod erst nach dem vollständigen Ausfall aller Organe festgestellt werden dürfte.
 - Damit wären die Organe stark geschädigt und für eine Transplantation kaum mehr verwertbar.

Schülerbuch Seite 177 — Zettelkasten

- ① Notieren Sie, mit welchen Argumenten die beiden Personen ihre Haltung zur Organspende begründen und nehmen Sie selbst Stellung zur Problematik der Organspende.
 - Herr Ketzler betont die Not der Patienten, die auf eine Organspende angewiesen sind. Er zweifelt nicht an der korrekten Feststellung des Todes. Herr Jörns zweifelt die Diagnose Hirntod an und geht statt dessen von einem längeren Sterbeprozess aus. Dieser Prozess soll nach seiner Ansicht nicht durch eine Organentnahme gestört werden.

Schülerbuch Seite 179

- ① Erklären Sie, warum beim Pricktest Histamin und Kochsalzlösung zum Vergleich notwendig sind.
 - Kochsalzlösung dient als Kontrolle, um zu prüfen, ob nicht der Stich allein schon Hautreizungen auslöst. Das Histamin hilft beim Abschätzen der Art und Stärke der Hautreaktion.
- ② Manche Menschen können wegen einer geringen Aktivität des Enzyms Laktase Milchzucker schlecht verdauen. Teilweise wird auch von „Milchallergie“ gesprochen. Begründen Sie, warum es sich hierbei nicht um eine Allergie handelt.
 - Wenn Laktose nicht schnell genug abgebaut wird, kann es zu Verdauungsproblemen kommen. Da die Beschwerden aber nicht Folge einer Immunreaktion sind, handelt es sich nicht um eine Allergie, sondern um eine Nahrungsmittelunverträglichkeit.

Schülerbuch Seite 181

- ① Notieren Sie Faktoren, die dazu führen, dass die HI-Viren nicht wirkungsvoll vom Immunsystem bekämpft werden können.
 - In den T-Helferzellen sind Viren nur über die zelluläre Immunreaktion zu bekämpfen. Für die Aktivierung von T-Killerzellen sind jedoch T-Helferzellen nötig. Durch die Zerstörung von T-Helferzellen ist das Immunsystem aber stark geschwächt.
- ② Reverse Transkriptase schreibt RNA in DNA um. Erklären Sie, warum ein Hemmstoff gegen dieses Enzym die Virenvermehrung eindämmt und gleichzeitig menschliche Zellen schont.
 - Das Enzym Reverse Transkriptase ist notwendig, um virale RNA in DNA umzuschreiben und ins Genom von Zellen zu integrieren. Durch die Hemmung dieses Enzyms kann der Neubefall von Zellen eingedämmt werden. Gesunde menschliche Zellen enthalten keine Reverse Transkriptase und werden daher durch den Hemmstoff auch nicht geschädigt.
- ③ Das Enzym Reverse Transkriptase arbeitet sehr ungenau. Erklären Sie, warum HI-Viren oft neue Varianten bilden.
 - Durch Schreibfehler bei der Reversen Transkription werden veränderte DNA-Stränge in das Genom eingebaut und so neue Varianten von HI-Viren gebildet.
- ④ Beschreiben Sie mit Hilfe der Abb. 3 den Unterschied zwischen einer HIV-Infektion und der Krankheit AIDS.
 - Eine HIV-Infektion liegt vor, wenn HI-Viren im Körper sind. Das Krankheitsbild AIDS ist durch eine geringe Zahl von T-Zellen und gleichzeitig eine hohe Viruslast gekennzeichnet. Opportunistische Infektionen sind dann häufig.
- ⑤ Geben Sie mögliche Gründe für die Zunahme der HIV-Infektionen in Deutschland an.
 - In den Medien spielt die AIDS-Prävention heute keine große Rolle. Deshalb denken

viele Menschen, dass die Gefahr einer HIV-Infektion gesunken sei. Zudem werden Fortschritte bei der AIDS-Therapie falsch verstanden. Manche Bürger sind der falschen Ansicht, dass AIDS inzwischen heilbar sei. Dabei kann lediglich der Verlauf unter oft starken Nebenwirkungen verzögert werden.

Schülerbuch Seite 182

- ① Erläutern Sie, wie bei der Herstellung von monoklonalen Antikörpern sichergestellt wird, dass nur ein Antikörpertyp entsteht.
 - Dadurch, dass alle Zellen des Klons aus einer Hybridomzelle hervorgehen, sind sie identisch und produzieren den gleichen Antikörpertyp.
- ② Begründen Sie, warum beim ELISA-Test zwei Auswaschvorgänge nötig sind.
 - Der erste Spülgang stellt sicher, dass keine anderen Antikörper im Gefäß zurückbleiben. Der zweite Waschvorgang ist notwendig, weil sonst enzymgebundene MAK im Gefäß auf jeden Fall eine Verfärbung hervorrufen würden.
- ③ Erklären Sie, warum der ELISA-Test hochspezifisch und sehr empfindlich ist.
 - Der Test ist hochspezifisch durch die Spezifität der Antikörper und sehr empfindlich, weil schon wenige Enzyme bei ausreichender Zeit eine sichtbare Verfärbung hervorrufen.

Schülerbuch Seite 183

- ① Stellen Sie in einem Flussdiagramm dar, wie nach einer Vireninfektion eine Autoimmunerkrankung entstehen kann.
 - Infektion mit Viren, deren Antigene körpereigenen Merkmalen ähneln → spezifische Abwehr mit Antikörpern und T-Killerzellen → Antikörper und T-Killerzellen greifen auch körpereigenes Gewebe an → Gewebeschädigungen führen zu einer Autoimmunerkrankung.
- ② Experimente an Mäusen haben gezeigt, dass verstärkt Autoimmunerkrankungen auftreten, wenn die T-Suppressorzellen entfernt werden. Erklären Sie dieses Ergebnis.
 - Ohne T-Suppressorzellen wird die Aktivität von T-Zellen nicht mehr gehemmt. Dadurch sind Autoimmunerkrankungen wahrscheinlicher.

Schülerbuch Seite 184/185

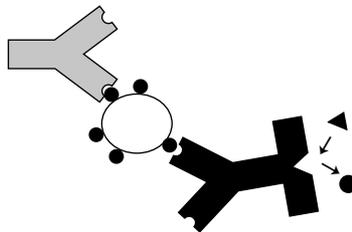
- ① Erklären Sie, warum praktisch nur Jungen von der Krankheit betroffen sind.
 - Die Krankheit ist selten und rezessiv. Bei Mädchen wird daher die Krankheit durch ein intaktes Gen auf dem zweiten X-Chromosom verhindert. Jungen haben jedoch nur ein X-Chromosom pro Zelle.
- ② Beschreiben Sie Folgen, die für die Betroffenen zu erwarten sind.
 - Die Erreger werden zwar phagozytiert, aber nicht verdaut. Dadurch tragen befallene Granulozyten sogar zur Ausbreitung im Körper

bei. Betroffene leiden an vielen chronischen Entzündungen, die sich schnell im Körper ausbreiten. Insbesondere pathogene Bakterien und Pilze breiten sich ohne ständige medikamentöse Behandlung weitgehend ungehindert im Körper der Betroffenen aus.

- ③ Erläutern Sie, warum Patienten mit Granulomatose oft schon im Kindesalter sterben.
 - Häufige Entzündungen und Infektionen schädigen Organe und schwächen den Körper. Oft kommt es schon im Kindesalter zu Komplikationen, die letztlich tödlich verlaufen.
- ④ Beschreiben Sie die Grafik mit Hilfe der Abwehr der parasitischen Würmer.
 - Makromoleküle an der Oberfläche der Würmer werden von B-Zellen und Makrophagen gebunden und als Antigenfragmente präsentiert. Die antigenpräsentierende Fresszelle gibt Interleukin ab und aktiviert damit die B-Zellen, welche daraufhin Antikörper vom Typ IgE produzieren. Letztere werden in die Zellmembran von Mastzellen eingebaut. Bindet das Antigen an zwei IgE-Antikörper einer Mastzelle, gibt diese Histamin ab. Das Interleukin von der antigenpräsentierenden Zelle regt währenddessen auch die Bildung von Fresszellen an. Diese werden durch Histamin angelockt.
- ⑤ Erklären Sie, warum das menschliche Immunsystem eingekapselte Würmer unter der Haut kaum abtöten kann.
 - Durch die Einkapselung sind sie für Zellen des Immunsystem schwer zu erreichen und werden daher kaum als fremd erkannt. (Es sind auch zusätzliche aktive Prozesse der Würmer zur Eindämmung des Immunsystems denkbar.)
- ⑥ Geben Sie eine mögliche Erklärung für das Phänomen, dass die Abwehrreaktion bei stärkerem Befall schwächer ausfällt.
 - Möglicherweise geben die Würmer einen Stoff ab, der, ähnlich wie das Cystatin von anderen Parasiten, die Funktion des Immunsystems dämpft.
- ⑦ Erklären Sie, warum die Mäuse die transplantierten Herzen nicht abgestoßen hatten.
 - Offensichtlich verhinderten die T-Suppressorzellen eine Abstoßungsreaktion. Insbesondere muss nach einer Transplantation die Aktivität von T-Killerzellen blockiert werden.
- ⑧ Planen Sie ein Kontrollexperiment an Mäusen, mit dem geprüft werden kann, ob die injizierte T-Suppressorzellen tatsächlich für den Erfolg der Transplantation verantwortlich waren.
 - Es müssen Herztransplantationen ohne gleichzeitige Gabe von T-Suppressorzellen erfolgen. (Die entsprechenden Mäuse entwickeln dann eine heftige Abstoßungsreaktion).
- ⑨ Experimente an Mäusen haben ergeben, dass eine Injektion zu vieler T-Suppressorzellen eine erhöhte Tumorbildung bewirken können. Erklären Sie dieses Ergebnis.
 - T-Suppressorzellen dämpfen die Wirkung von T-Killerzellen und natürlichen Killerzellen. Diese Zelltypen spielen eine entscheidende

Rolle bei der Erkennung und Beseitigung von Krebszellen. Krebserkrankungen werden wahrscheinlicher.

- ⑩ Begründen Sie, warum bei Xenotransplantationen normalerweise schnelle und heftige Abstoßungsreaktionen auftreten.
 - Organe von anderen Arten bieten viele verschiedene Antigene auf ihrer Oberfläche, die viele Lymphocyten aktivieren und eine besonders heftige Abstoßungsreaktion auslösen können.
- ⑪ Geben Sie an, welche Patienten von einer Transplantation der Inselzellen profitieren könnten.
 - Vor allem Diabetiker, deren Inselzellen kein Insulin mehr produzieren können (Diabetes Typ I).
- ⑫ Beschreiben Sie den Ablauf einer Abstoßungsreaktion in einem Flussdiagramm.
 - Zelluläre Immunantwort: Antigenfragmente werden durch Makrophagen präsentiert → T-Helferzellen werden durch antigenpräsentierende Makrophagen aktiviert → T-Helferzellen aktivieren nun T-Killerzellen → T-Killerzellen zerstören fremde Zellen des Transplantats.
- ⑬ Erläutern Sie, warum es auch ohne α -1-3-Galactose zu Abstoßungsreaktionen kommen kann.
 - Es gibt noch weitere Antigene auf dem Transplantat, die eine Abstoßungsreaktion auslösen können.
- ⑭ Zeichnen Sie, wie sich die beteiligten Strukturen bei einem positiven Nachweis zusammenlagern.
 - Komplex aus Träger, Antikörper, Rinderprotein und enzymgekoppeltem Antikörper:



- ⑮ Begründen Sie, warum der Test bei stark erhitzter Wurst nicht mehr aussagekräftig ist.
 - Bei hohen Temperaturen werden Proteine denaturiert und passen nicht mehr auf die Antigene.
- ⑯ Beschreiben und erklären Sie den Kurvenverlauf.
 - Diagramm 1: Die Farbstoffkonzentration steigt erst stark und dann immer langsamer und nähert sich einem Sättigungswert (Sättigungskurve). Das hängt damit zusammen, dass zunächst mehr Antigen die Ausbildung von mehr Komplexen mit enzymgekoppelten Antikörpern ermöglichen und dadurch mehr Farbstoff gebildet wird. Die Bildung des Farbstoffs wird aber schließlich durch die Konzentration der Vorstufe und der Menge an Antikörpern begrenzt, so dass eine weitere Zugabe von Antigenen kaum eine Steigerung bewirkt.

- ⑰ Begründen Sie, warum für dieses Diagramm die Messung der Farbstoffkonzentration immer nach der gleichen Zeit erfolgen muss.
- *Da der Farbstoff durch ein Enzym gebildet wird, würde bei ausreichender Wartezeit irgendwann immer alle Vorstufen in einen Farbstoff umgewandelt werden. Die Farbstoffkonzentration wäre dann immer maximal.*
- ⑱ Beschreiben Sie anhand der Abbildung die Vorgehensweise.
- *Entnahme von T-Suppressorzellen aus Patient*
 - *Entnahme von Leukocyten vom Organ-spender*
 - *Vermehrung von T-Suppressorzellen, die Spenderantigen erkennen im Labor*
 - *Transplantation und gleichzeitige Gabe von passenden T-Suppressorzellen*
- ⑲ Begründen Sie, warum mit dieser Methode das Immunsystem gezielt und nicht insgesamt gedämpft wird.
- *Die verabreichten T-Suppressorzellen blockieren vor allem Zellen des Immunsystems, die an der Abstoßung des Transplantats beteiligt sind. Andere Antigene müssten immer noch erfolgreich abgewehrt werden.*
- ⑳ Erklären Sie, warum die beschriebene Methode bei Organspenden nach einem plötzlichen Tod (Unfall) des Spenders nicht möglich ist.
- *Bei einer Organspende in Folge eines plötzlichen Todes ist keine Zeit für die Vermehrung passender T-Suppressorzellen im Labor.*

Neurobiologie

Nervenzellen — Bau und Funktion

Schülerbuch Seite 189

- ① Sinneszellen kann man als Signalwandler bezeichnen. Erläutern Sie diese Aussage.
 - *Unabhängig von der Qualität des einwirkenden Reizes erzeugen alle Sinneszellen elektrische Signale, wenn sie erregt werden.*
Beispiele für technische Signalwandler:
Mikrofon: Schall → elektrisches Signal
Fotозelle: Licht → elektrisches Signal
Thermoelement: Thermische Energie → elektrisches Signal.
Dehnmessstreifen: Dehnung → elektrisches Signal
- ② a) Erläutern Sie am Beispiel des jagen den Bären, über welche Sinnesorgane er Informationen aufnimmt, bis er den Fisch gefangen hat.
b) Beschreiben Sie an diesem Beispiel die Funktion afferenter und efferenter Nervenzellen.
 - *Der jagende Bär nimmt über die Augen Informationen über den Ort der Beute auf. Außerdem kann er die Beute auch durch den Geruchssinn wahrnehmen. Über den Tastsinn wird ihm vermittelt, ob er den Lachs gefangen hat.*
Efferente Nervenzellen leiten die Signale von den Sinnesorganen (bzw. den Sinneszellen) zum ZNS. Nach der Verarbeitung der Information leiten afferente Nervenzellen Signale zur Muskulatur.

Schülerbuch Seite 191

- ① Untersuchen Sie die Präparate unter dem Mikroskop. Geben Sie an, welche typischen Strukturen der Nervenzellen sichtbar sind. Welche Färbungen zeigen die verschiedenen sichtbaren Zellbestandteile?
Häufig kann man vereinzelte Zellkerne sehen. Geben Sie an, woher diese Zellkerne stammen könnten.
 - *In den Quetschpräparaten sieht man sehr viele Dendriten, teils Nervenfasern und je nach Intensität des Quetschvorgangs auch erhaltene Zellkörper der Nervenzellen. Je nach Zusammensetzung der Giemsa-Lösung (Azur-Eosin-Methylenblaulösung) kann die Färbung der Zellbestandteile variieren. Die Zellkerne bzw. die DNA zeigen rötliche Farbe, Cytoplasma und Zellmembranen erscheinen blau. Damit lässt sich auch die Körnigkeit des Plasmas der Neuronen erkennen, was von der Nissl-Substanz (Bereiche mit viel rauem ER) herrührt.*
Die vereinzelten Zellkerne stammen meist von Schwannschen Zellen.
- ② Erläutern Sie, weshalb es sinnvoll ist, mehrere Präparate anzufertigen.
 - *Das Herstellen von Quetschpräparaten ist eine schnelle, jedoch wenig schonende Prä-*

parationsmethode. Dabei werden viele Zellen stark beschädigt. Nur in Einzelfällen bleiben von Zellen die wesentlichen Strukturen erhalten. Daher ist es sinnvoll, in mehreren Präparaten nach strukturell gut erhaltenen Zellen zu suchen.

- ③ Geben Sie an, welche Darstellung die Fotos A, B und C jeweils zeigen. Begründen Sie Ihre Zuordnungen.
 - *Abbildung A zeigt längliche Strukturen. Hier handelt es sich um Längsschnitte von Nervenfasern.*
Abbildung B zeigt einen Querschnitt durch einen Nerv. Das ist vor allem an den vielen quer geschnittenen Nervenfasern erkennbar. Die Abbildung zeigt mehrere Bündel von Nervenfasern, die jeweils von einer Bindegewebshülle umgeben sind. Im rechten Teil des Fotos sind Blutgefäße zu sehen. Alle Strukturen sind von einer dicken Bindegewebshülle umgeben.
Abbildung C zeigt einzelne gefärbte Nervenzellen, die vielfältige Verzweigungen aufweisen und damit auf Hirngewebe hinweisen. Es handelt es sich um ein Präparat von Kleinhirngewebe mit Purkinjezellen. Charakteristisch sind der große Zellkörper und die stark verzweigten Dendriten, die überwiegend in einer Ebene liegen.
- ④ Fertigen Sie je eine Übersichtszeichnung der Schnitte an und beschriften Sie sicher erkennbare Strukturen.
 - *Schemazeichnungen*
- ⑤ Geben Sie an, welche typischen Strukturen des Nervengewebes am besten am Längsschnitt von Nerven erkennbar sind.
 - *Am Längsschnitt sind die Schwannschen Zellen und die Ranvier Schnürringe besonders gut zu sehen. Außerdem fällt das dünne Axon auf, das an den Schnürringen zwischen benachbarten Schwannschen Zellen sichtbar wird.*

Schülerbuch Seite 193

- ① Erläutern Sie den Versuchsaufbau zur Messung des Ruhepotentials. Geben Sie dazu die Funktion der einzelnen Geräte an.
 - *Das Ruhepotential einer Nervenzelle wird mithilfe einer Glasmikroelektrode gemessen. Sie ist so dünn, dass die Zelle beim Einstechen kaum geschädigt wird. In der physiologischen Lösung, in der die Nervenzelle liegt, befindet sich die Bezugselektrode. Auf sie werden die Potentialwerte bezogen. Die Elektroden sind an einen Messverstärker angeschlossen. Der Ausgang des Messverstärkers ist mit einem Oszilloskop verbunden, das die verstärkte Spannung anzeigt. (Zur Anzeige des Ruhepotentials würde auch Zeigerinstrument oder ein digitaler Spannungsmesser genügen, weil sich die Messgröße zeitlich nicht ändert.)*
- ② Erklären Sie das Entstehen einer elektrischen Spannung mithilfe des Modellversuchs mit einer Kaliumchloridlösung.
 - b) Erklären Sie, wie sich die Spannung

- zwischen den beiden Kammern verändert, wenn rechts Kaliumchloridlösung zugegeben wird.
- Im Modellversuch entsteht zwischen den beiden Bereichen eine elektrische Spannung. Entlang dem Konzentrationsgradienten können nur die kleineren Kaliumionen durch die selektiv permeable Membran in den rechten Bereich diffundieren. Die Membran ist für die größeren Chloridionen impermeabel. Dabei kommt es zu einer Ladungstrennung. In den rechten Bereich gelangen positive Kaliumionen. Dadurch entsteht eine Ladungstrennung. Der linke Bereich wird negativ durch überschüssige Chloridionen, der rechte positiv durch die Kaliumionen. Diese Überschussladungen behindern zunehmend die weitere Diffusion der Kaliumionen. Sie kommt zum Stillstand, bevor ein Konzentrationsausgleich erreicht ist. Es entsteht ein Gleichgewichtszustand, bei dem sich die entgegengerichteten Kräfte auf die Kaliumionen, hervorgerufen durch Konzentrationsgefälle und Ladungsunterschied, ausgleichen. Wird in den rechten Bereich Kaliumchloridlösung eingefüllt, so wird der Konzentrationsgradient der Kaliumionen geringer. Infolge werden Kaliumionen durch die elektrischen Kräfte in den linken Bereich befördert. Die Ladungsunterschiede zwischen den beiden Kammern werden geringer und die Spannung sinkt.

- ③ Erklären Sie, weshalb bei einer Nervenzelle im nicht erregten Zustand die Verteilung der Kaliumionen im Wesentlichen das Ruhepotential bestimmt.
- An der nicht erregten Zellmembran sind Ionenkanäle für Kaliumionen geöffnet. Für andere Ionen ist die Diffusion stark eingeschränkt. Daher bestimmt die Diffusion und die sich daraus ergebende Verteilung der Kaliumionen im Wesentlichen das Membranpotential der nicht erregten Nervenzelle.

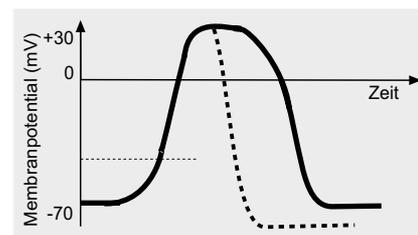
Schülerbuch Seite 194

- ① Erklären Sie, weshalb die Hemmung der ATP-Bildung einer Nervenzelle zum Abbau des Ruhepotentials führt.
- Der Ionentransport durch die Natrium-Kalium-Ionenpumpe erfordert Energie, die in Form von ATP zur Verfügung steht. Wird die ATP-Bildung gehemmt, kann die Ionenpumpe nicht mehr arbeiten und es kommt infolge der Leckströme zum Abbau der Ionengradienten zwischen dem intra- und extrazellulären Bereich. Infolgedessen vermindern sich die Ladungsunterschiede und der Betrag des Ruhepotentials nimmt ab.
- ② Ermitteln Sie den Faktor, um den die Permeabilität der Membran für Kaliumionen größer ist als für Natriumionen.
- Die relative Permeabilität für Kaliumionen ist 1, die von Natriumionen 0,45. Die Permeabilität für Kaliumionen ist um den Faktor $1 / 0,45 = 2,22$ größer als die für Natriumionen.

- ③ Erläutern Sie die Bedeutung der Natrium-Kalium-Ionenpumpe für die Nervenzelle.
- Die Natrium-Kalium-Ionenpumpe erhält die Konzentrationsgradienten der Ionen beiderseits der Zellmembran aufrecht, indem sie Leckströme durch die Zellmembran kompensiert.
- ④ Beschreiben Sie, woher die Energie in einer Zelle stammt, die zum Aufbau von ATP benötigt wird. Erläutern Sie die Aussage der beiden Grafiken auf der Randspalte. Begründen Sie, welche Grafik die Energieübertragung auf die Natrium-Kalium-Ionenpumpe zeigt.
- Die Energie zu Aufbau von ATP stammt aus dem Abbau von Nährstoffen. ATP entsteht bei der Zellatmung. Die obere Abbildung zeigt, dass beim Abbau von ATP zu ADP und Phosphat Energie frei wird. Die untere Abbildung zeigt den umgekehrten Vorgang. Zum Aufbau von ATP aus ADP und Phosphat muss Energie zugeführt werden. Die Natrium-Kalium-Ionenpumpe benötigt Energie. Die obere Abbildung mit dem ATP-Zerfall zeigt den Energie liefernden Vorgang.
- ⑤ Erklären Sie, wo die Energie verbleibt, die auf die Natrium-Kalium-Ionenpumpe übertragen wird.
- Die Energie, welche die Natrium-Kalium-Ionenpumpe aufnimmt, wird beim Pumpen auf den Ionengradient übertragen. Die Energie befindet sich nach dem Pumpvorgang als chemische Energie im Ionengradient.

Schülerbuch Seite 197

- ① Erläutern Sie, weshalb man bei der Depolarisation, die zur Bildung des Aktionspotentials führt, von einem sich selbst verstärkenden Vorgang spricht (s. Randspalte).
- Das Öffnen spannungsgesteuerter Natriumionenkanäle bei der Depolarisation der Zellmembran bewirkt durch den Natriumioneneinstrom eine weitere Depolarisierung und das Öffnen weiterer Natriumionenkanäle. Die anfängliche geringe Depolarisation verstärkt sich selbst.
- ② Zeichnen Sie den zeitlichen Verlauf des Aktionspotentials für den Fall, dass ein Großteil der K^+ -Ionenkanäle in der Axonmembran durch einen Giftstoff blockiert und damit undurchlässig ist.
- AP-Verlauf mit deutlich verzögerter Repolarisation, ohne Hyperpolarisation.



Schülerbuch Seite 199

- ① Erläutern Sie, was man unter dem Alles- oder Nichts-Gesetz versteht.
 - *Das Gesetz beschreibt, dass bei verschieden starker Reizung eines Neurons das Aktionspotential als Reizantwort nur vollständig oder überhaupt nicht auftritt. Es gibt kein abgestuftes Aktionspotential in Abhängigkeit der Reizstärke.*
- ② Erklären Sie, welche Bedingungen bei der Reizung eines Axons durch Spannungsimpulse erfüllt sein müssen, damit ein Aktionspotential entsteht.
 - *Die Reize müssen die Zellmembran des Neurons mindestens bis zum Schwellenwert depolarisieren, damit ein Aktionspotential ausgelöst wird.*

Schülerbuch Seite 201

- ① Erklären Sie, weshalb die Geschwindigkeiten bei saltatorischer Erregungsleitung meist höher sind als bei kontinuierlicher Leitung.
 - *Aktionspotentiale entstehen bei der saltatorischen Erregungsleitung nur an den Ranvier-Schnürringen der Nervenfasern. Die myelinisierten Abschnitte werden von der Erregung übersprungen. In den myelinisierten Bereichen findet die Fortleitung von Erregungen nicht durch Ladungsbewegungen (Ausgleichsströmchen), sondern im Wesentlichen durch Ausbreitung des elektrischen Felds statt. Das geschieht praktisch verzögerungsfrei (mit der Geschwindigkeit, mit der sich Licht in diesem Medium ausbreitet).*
- ② Stellen Sie die energetischen Vorteile der saltatorischen Erregungsleitung dar.
 - *Die saltatorische Erregungsleitung verläuft erheblich schneller als die kontinuierliche Erregungsleitung an gleich dicken Axonen. Daher sind bei gleicher Leitungsgeschwindigkeit myelinisierte Axone wesentlich dünner. Infolge benötigt ein Organismus zur Ausbildung myelinisierter Nervenfasern weniger Energie. An myelinisierten Nervenfasern entstehen nur an den Ranvier-Schnürringen Aktionspotentiale. Daher strömen bei der Weiterleitung von Aktionspotentialen geringere Ionenmengen durch die Axonmembran. Daher ist zur Aufrechterhaltung des Ionengradienten weniger Energie für die Tätigkeit der Natrium-Kalium-Ionenpumpe, erforderlich.*

Schülerbuch Seite 202

- ① Erklären Sie anhand der Abbildung 1 den Zusammenhang zwischen den Reizstärken, den Rezeptor- und Aktionspotentialen. Beschreiben Sie den Einfluss der Reizdauer auf die Erregungsstärke.
 - *Je stärker der Reiz, desto stärker fällt das Rezeptorpotential aus und desto höher ist die Frequenz der Aktionspotentiale. Mit*

zunehmender Reizdauer nehmen Rezeptorpotential und Frequenz der Aktionspotentiale ab; es kommt zur Adaption des Neurons an den Reiz.

Schülerbuch Seite 203

- ① Beschreiben Sie die Ergebnisse (Abb. 1) und erklären Sie sie auf Teilchenebene.
 - *Die Höhe des Membranpotentials ist abhängig vom Konzentrationsunterschied der Kaliumionen. Bei niedrigen extrazellulären Kaliumionenkonzentrationen ist die Membran stärker polarisiert als bei höheren Konzentrationen. Bei gleich bleibender intrazellulärer Konzentration ist der Unterschied dann am größten, wenn die extrazelluläre Konzentration nahe Null ist.*
- ② Zeichnen Sie ein typisches Aktionspotential und tragen Sie die Veränderungen durch die Verringerung der extrazellulären Na^+ -Ionenkonzentration ein.
 - *In Abbildung 2 sind die Veränderungen im Vergleich zum Aktionspotential unter normalen Bedingungen aufgetragen. Die Amplitude nimmt also bei Verringerung der extrazellulären Natriumionenkonzentration schrittweise um den Differenzwert ab*
- ③ Erklären Sie die Beobachtungen mithilfe der Ionen-theorie des Aktionspotentials.
 - *Nach Öffnung der spannungsabhängigen Natriumionenkanäle diffundieren Natriumionen in das Innere des Axons. Die Anzahl der diffundierenden Ionen ist umso größer, je größer der Konzentrationsunterschied der Natriumionen zwischen außen und innen ist.*
- ④ Was würde passieren, wenn die Na^+ -Ionen nicht durch Glucosemoleküle ersetzt werden würde?
 - *Die Zugabe von Glucose bei gleichzeitiger Verringerung der Natriumionenkonzentration soll Osmose verhindern. Es würde ohne diese Maßnahme zu einem Wassereinstrom in die Nervenzelle kommen, da die extrazelluläre Wasserkonzentration dann höher wäre als die intrazelluläre.*
- ⑤ Begründen Sie die Wirkung von Cyaniden auf Neurone.
 - *Wegen der Blockierung der Atmungskette wird kein ATP mehr zur Verfügung gestellt. Die Natrium-Kalium-Ionenpumpe arbeitet nicht mehr. Zunächst hat dies noch keine Auswirkungen auf das Ruhepotential und die Auslösbarkeit von Aktionspotentialen, da die Ionen intrazellulär und extrazellulär noch ungleich verteilt sind. Im Vergleich zu diesen Konzentrationsunterschieden genügen wenige Ionen, um eine Depolarisation, Umpolarisation und Repolarisation der Zellmembran zu bewirken. Werden die Konzentrationsunterschiede schließlich kleiner, wird der Betrag des Ruhepotentials ebenfalls kleiner.*
- ⑥ Berechnen Sie aus den dargestellten Messergebnissen die Leitungsgeschwindigkeit.
 - *Gegeben ist der Abstand der Orte, an denen je ein Stromstoß gesetzt wurde mit 27 cm =*

0,27 m. Die Zeitdifferenz lässt sich aus dem Bild des Oszilloskops entnehmen und berechnen: $8,4 \text{ ms} - 3,8 \text{ ms} = 4,6 \text{ ms} = 0,0046 \text{ s}$. Die Leitungsgeschwindigkeit beträgt dann $0,27 \text{ m} : 0,0046 \text{ s} = 58,8 \text{ m/s}$.

- ⑦ In der nebenstehenden Tabelle sind Beispiele für die mittlere Leitungsgeschwindigkeit unterschiedlicher Neurone angegeben. Leiten Sie aus den Daten die Faktoren ab, welche die Geschwindigkeit der Erregungsleitung beeinflussen und begründen Sie.
- *Faktor Myelinisierung: Axone mit Myelinscheiden haben wesentlich höhere Leitungsgeschwindigkeiten, wegen der saltatorischen Erregungsleitung.*
Faktor Faserdurchmesser: Axone mit größerem Querschnitt haben höhere Leitungsgeschwindigkeiten, weil der innere elektrische Widerstand in Längsrichtung des Axons kleiner ist.

Neuronale Vernetzung

Schülerbuch Seite 206

- ① Stellen Sie für die Synapsengifte eine Tabelle auf mit Wirkort und Wirkungen.

Synapsengift	Wirkort	Wirkungen
Botulinumtoxin	Endknöpfchen	Verhindert die Verschmelzung der transmitterhaltigen Vesikel mit der präsynaptischen Membran; infolge tritt Muskellähmung auf.
Gift der Schwarzen Witwe	Endknöpfchen der motorischen Endplatten	Gleichzeitige Entleerung aller synaptischen Bläschen der motorischen Endplatten; Folgen sind Schüttelfrost, Schmerzen und Atemnot
Coniin	postsynaptische Membran	Coniin verbindet sich mit den Rezeptoren für Acetylcholin ohne die Natriumionenkanäle zu öffnen; infolge tritt Muskellähmung auf.
Alkylphosphate	Hemmung des Enzym Acetylcholinesterase	Dauererregung der Skelettmuskulatur; Tod durch Atemlähmung

- ② Erläutern Sie, welche Vorgänge an der motorischen Endplatte zu Krämpfen und welche zu Lähmungen führen können.
- Vorgänge, die zu dauerhafter Besetzung der Rezeptoren an der postsynaptischen Membran führen und die Natriumionenkanäle öffnen, führen zu Dauererregungen und damit zu Krämpfen der Muskulatur. Vorgänge, die das Öffnen der Natriumionenkanäle in der postsynaptischen Membran verhindern, bewirken schlaffe Lähmungen
- ③ Botulinumtoxin ist eines der stärksten Gifte. Es lässt sich durch Kochen zerstören. Entwickeln Sie eine Hypothese zum chemischen Aufbau der Substanz und erklären Sie die beiden Befunde.

- Der Befund, dass Botulinumtoxin thermisch instabil ist, spricht für ein Protein oder einen funktionellen proteinogenen Bestandteil. Dass es eines der stärksten Gifte ist, lässt vermuten, dass es sich um ein Enzym handelt, das nicht unmittelbar in den Zellstoffwechsel eingreift, sondern das von ihm umgesetzte Substrat. Daher kann ein Molekül des Toxins viele toxisch wirksame Moleküle in der Zelle erzeugen, die letztlich die Verschmelzung der Vesikel in den Endknöpfchen mit der präsynaptischen Membran verhindern. (Information: Das Enzym spaltet verschiedene Proteine des Vesikelfusionsapparates. Das verhindert die Wechselwirkung der transmitterhaltigen Vesikel mit speziellen Molekülen der präsynaptischen Membran und die Exocytose des Transmitters.)

Schülerbuch Seite 207

- ① Begründen Sie, was sich aufgrund der Wirkung von Neostigmin über den genauen synaptischen Wirkort von Tubocurarin aussagen lässt. Nennen Sie einen weiteren Stoff, der vergleichbar wirkt.
- Der Text informiert darüber, dass Neostigmin die Wirkung von Tubocurarin kompensiert, indem das Enzym Acetylcholinesterase (reversibel) blockiert wird. Daraus folgt: Die Konzentration von Acetylcholin im synaptischen Spalt wird erhöht. Das bedeutet, dass Tubocurarin die Wirkung von Acetylcholin beeinträchtigt. Also könnte Tubocurarin den Transmitter Acetylcholin inaktivieren oder an die Acetylcholin-Rezeptoren an der postsynaptischen Membran besetzen. (Information: Tubocurarin besetzt Acetylcholin-Rezeptoren an der postsynaptischen Membran) Wird der enzymatische Abbau des Transmitters gehemmt, können bei der Erregungsübertragung an der postsynaptischen Membran dennoch genügend Ionenkanäle geöffnet werden, um eine ausreichende Depolarisation der Muskelfaser herbeizuführen und somit eine Kontraktion auszulösen. Vergleichbar wie Tubocurarin wirkt Coniin (Pseudoalkaloid) und Atropin (Alkaloid s. u.). Daneben gibt es mehrere nicht depolarisierend wirkende Muskelrelaxanzien wie Pancuronium und davon abgeleitete Substanzen (Steroide).
- ② Erläutern Sie, welche Bindungseigenschaften ein synaptischer Hemmstoff aufweisen muss, damit er therapeutisch einsetzbar ist.
- Zur therapeutischen Verwendung eignen sich nur solche Hemmstoffe, die sich reversibel mit den synaptischen Strukturen verbinden. Andernfalls käme es zu einer dauerhaften Vergiftung und Schädigung des Organismus.
- ③ Erläutern Sie, was gegen die Verwendung von Alkylphosphaten wie E605 oder Sarin spricht, um die Wirkung von Tubocurarin aufzuheben.

- Alkylphosphate verbinden sich irreversibel mit der Acetylcholinesterase und eignen sich daher nicht, um die vorübergehende Wirkung von Tubocurarin aufzuheben.
- ④ Erläutern Sie, weshalb häufig vor einer augenärztlichen Untersuchung Atropin auf das Auge getropft wird.
 - Atropin wird zur Pupillenerweiterung eingesetzt. Ins Auge geträufelt erreicht es durch Diffusion die Iris mit ihrer Muskulatur. Hier blockiert es die Signalübertragung an den Synapsen. Der Muskel erschlafft und die Pupille weitet sich, wodurch eine Untersuchung des Augenhintergrunds erleichtert wird. (Information: Atropin hemmt die Erregungsübertragung an den Synapsen des Parasympathicus. Daher überwiegt der Sympathikuseinfluss, was zur Vergrößerung der Pupille führt.)
- ⑤ Geben Sie eine Erklärung dafür, dass die Wirkung von Atropin nach einiger Zeit nachlässt und schließlich verschwindet.
 - Atropin besetzt Rezeptorstellen von Ionenkanälen in der postsynaptischen Membran reversibel. Daher lösen sich Atropinmoleküle auch immer wieder von besetzten Rezeptorstellen ab. Im Laufe der Zeit nimmt die Konzentration von Atropin im Organismus durch Abbau (Leber) und Ausscheidung (Niere) ab. Daher lässt die Wirkung mit der Zeit nach.
- ⑥ Begründen Sie, weshalb sich Atropin als Gegenmittel bei einer Vergiftung mit einem Acetylcholinesterase-Hemmstoff eignet. Erläutern Sie welche Vorgänge an einer Synapse ablaufen, wenn Gift und Gegengift zugleich vorhanden sind.
 - Bei einer Vergiftung mit einem Acetylcholinesterase-Hemmstoff werden die Transmittermoleküle nicht abgebaut. Die Natriumionenkanäle der postsynaptischen Membran bleiben geöffnet und es kommt zur Dauerdepolarisation. Atropin hat eine lindernde Wirkung, da es die Natriumkanäle besetzt und so den Einstrom von Natriumionen verringert.
- ⑦ Beschreiben Sie das Experiment und seine Ergebnisse.
 - Durch schonendes Abschnüren wird die Blutversorgung des linken Froschbeins unterbunden, ohne die motorischen Nerven zu schädigen. Anschließend wird Curare in den Bauchlymphsack injiziert. Werden mithilfe von Elektroden die motorischen Nerven, die die Beinmuskulatur versorgen, auf beiden Körperseiten elektrisch gereizt, so kontrahiert nur die Muskulatur des Beins, das von der Blutversorgung abgeschnitten ist. Wird dagegen die Muskulatur direkt gereizt, kontrahieren die Muskeln beider Beine.
- ⑧ Erklären Sie, welche Aussage das Experiment über Wirkort und Wirkungsweise von Curare ermöglicht.
 - Befund 1: Die elektrische Reizung des Nervs lässt den Muskel des linken Beins zucken. Daraus folgt: Auch bei Gegenwart von Curare leiten Nervenfasern Erregungen; Curare wirkt nicht auf die Nervenfasern.
 - Befund 2: Die elektrische Reizung des Muskels am rechten Bein bewirkt Muskelzuckung. Daraus folgt: Auch bei Gegenwart von Curare bleibt der Muskel erregbar. Curare wirkt nicht auf die Muskelfaser.
 - Zusammenfassung: Curare wirkt weder auf Nervenfasern, noch auf Muskelfasern. Folglich ist der Wirkort von Curare die neuromuskuläre Synapse.
- ⑨ Erläutern Sie den Zusammenhang zwischen der Bildung von Antikörpern, die sich gegen den Acetylcholinrezeptor richten und dem Auftreten der beschriebenen Symptome bei Myasthenia gravis.
 - Bei Myasthenia gravis ist die Erregungsübertragung zwischen Nerv und Muskel gestört. Das Immunsystem bildet Antikörper, die sich gegen die Acetylcholinrezeptoren richten und diese blockieren oder zerstören. Der freigesetzte Transmitter Acetylcholin kann daher nur an wenige Rezeptoren binden und nur wenige Natriumionenkanäle werden geöffnet. Die Depolarisation ist zu gering, um ein Muskelaktionspotential auszulösen; die Kontraktion der Muskelfaser unterbleibt.
- ⑩ Schlagen Sie auf der Grundlage der molekularen Ursache der Krankheit eine mögliche medikamentöse Behandlung vor und erläutern Sie Ihren Vorschlag.
 - Acetylcholinesterasehemmer, z. B. Neostigmin (s. o.), verlängern die Wirkungsdauer des freigesetzten Transmitters und ermöglichen so eine ausreichende Depolarisation. Denkbar ist auch der Einsatz von Anti-Antikörpern, also solchen Antikörpern, die sich gegen die schädigenden Antikörper richten.

Schülerbuch Seite 209

- ① Erläutern Sie den Unterschied zwischen erregenden und hemmenden Synapsen.
 - Erregende Synapsen bewirken eine Depolarisation der postsynaptischen Membran und können am postsynaptischen Neuron Aktionspotentiale auslösen. Dagegen bewirken hemmende Synapsen die Hyperpolarisation der postsynaptischen Membran. Das behindert die Entstehung von Aktionspotentialen.
- ② Im Nervensystem können Synapsen, bei denen Acetylcholin die Transmittersubstanz darstellt, sowohl hemmend als auch erregend wirken. Erklären Sie dieses Phänomen.
 - Je nachdem, ob ein Transmitterstoff an einen Natriumionenkanal oder einen Chloridionenkanal bindet, kommt es zur Depolarisation oder zur Hyperpolarisation des postsynaptischen Neurons.
- ③ Beschreiben und erklären Sie, wie sich die Schaubilder in Abb. 1 (linke Seite) ändern würden, wenn sich die erregende bzw. die hemmende Synapse näher am Axonhügel befinden würde.
 - Die erregende und die hemmende Synapse sind zugleich aktiv. Ihre Wirkungen am Axonhügel heben sich gegenseitig auf. Wegen der

passiven Übertragung der Signale von der Synapse zum Axonhügel klingt das Signal mit zunehmender Entfernung ab. Je nachdem, welche Synapse sich näher am Axonhügel befindet, überwiegt ihr Einfluss. Ist die erregende Synapse näher, dann tritt am Axonhügel eine Depolarisation auf, andernfalls eine Hyperpolarisation.

Die Signale an der postsynaptischen Membran werden nicht beeinflusst.

- ④ Erläutern Sie, was man unter räumlicher und zeitlicher Summation versteht. Begründen Sie, inwiefern sich die beiden Vorgänge an einem Neuron überlagern können.
- Räumliche Summation ist zu einem Zeitpunkt die additive Überlagerung postsynaptischer Potentiale, die an verschiedenen Synapsen an den Dendriten und dem Zellkörper eines Neurons erzeugt werden. Zeitliche Summation ist die Überlagerung postsynaptischer Potentiale, die zeitlich nacheinander von einer Synapse ausgelöst werden. Räumliche und zeitliche Summation treten zumeist gemeinsam auf, weil typischerweise ein postsynaptisches Neuron zugleich von vielen präsynaptischen Neuronen viele nacheinander eingehende Erregungen empfängt.

Typischerweise werden zur Untersuchung von Rückenmarksfunktionen an den Extremitäten Reflexe (Eigenreflexe) ausgelöst. Beispiele:

Arme: Bizepsreflex → Beugung Unterarm;
Trizepsreflex → Streckung Arm
Beine: Quadrizepsreflex → Streckung Unterschenkel; Gastrocnemiusreflex (Achillessehnenreflex) → Streckung des Sprunggelenks.

Zur Untersuchung von Hirnnerven werden Fremdre reflexe ausgelöst. Beispiele:

Drohreflex: Rasche Handbewegung in Augennähe zum Auge → Lidschluss (N. opticus)
Pupillenreflex: Beleuchtung des Auges → Verkleinerung der Pupille (N. oculomotorius, N. opticus)

Schluckreflex: Reizung des Zungengrundes → Schlucken (N. glossopharyngeus)

Als pathologisch ist die Verminderung oder das Ausbleiben von Reflexen (Hyporeflexie) sowie eine gesteigerte Reflexreaktion (Hyperreflexie) anzusehen.

Schülerbuch Seite 211

- ① Beschreiben Sie anhand Abb. 1, welche Strukturen zum Reflexbogen gehören.
- Der Reflexbogen wird von Muskelspindel, sensorischem Neuron, Synapsen im Rückenmark, motorischem Neuron und Quadrizepsmuskel gebildet.
- ② Erklären Sie mit Abb. 4, welche Signale im Nervensystem bei einem Reflex auftreten.
- In der Muskelspindel entsteht durch die Muskeldehnung ein Rezeptorpotential, das in der primären Sinneszelle Aktionspotentiale erzeugt. Diese führen an der Synapse zur Abgabe von Neurotransmitter. Am postsynaptischen motorischen Neuron entstehen postsynaptische Potentiale, die am Axonhügel des Neurons Aktionspotentiale auslösen. Erreichen sie die motorische Endplatte, so wird Acetylcholin abgegeben. Der Transmitter depolarisiert die Membran der Muskelfaser und ruft Muskelaktionspotentiale hervor, welche die Kontraktion der Muskelfaser bewirken.
- ③ Bei Verdacht auf Verletzungen des zentralen Nervensystems prüfen Ärzte ihre Patienten auf das Vorhandensein von Reflexen. Begründen Sie diese Untersuchungsmethode. Informieren Sie sich über Reflexe, die in solchen Verdachtsfällen geprüft werden.
- Die Reflexzentren, in denen die Erregungen der sensorischen Bahnen auf motorische Bahnen übertragen werden, befinden sich im zentralen Nervensystem. Je nach Vorhandensein oder Fehlen von Reflexen kann auf Verletzungen des zentralen Nervensystems geschlossen werden.

Reizaufnahme und Erregung

Schülerbuch Seite 213

- ① Beschreiben Sie, wie Zellen der Netzhaut durch Licht nacheinander erregt werden.
 - *Einfallendes Licht erregt zuerst Lichtsinneszellen, diese erregen Bipolarzellen und Horizontalzellen. Die Bipolarzellen erregen Ganglienzellen und Amakrinzellen.*
- ② Erklären Sie, weshalb man Details eines Gegenstands nur bei guter Beleuchtung erkennen kann.
 - *Im Bereich des Gelben Flecks ist das Auflösungsvermögen hoch. Hier ist praktisch jeder Lichtsinneszelle eine Ganglienzelle zugeordnet. In den äußeren Bereichen der Netzhaut bilden mehrere Lichtsinneszellen ein rezeptives Feld. Das Auflösungsvermögen ist geringer.*
Um einen Gegenstand möglichst scharf zu sehen, muss er auf den Gelben Fleck abgebildet werden. Weil sich hier nur Zapfen befinden, die eine deutliche geringere Lichtempfindlichkeit aufweisen als die Stäbchen in der Peripherie, kann man die Details des Gegenstands nur bei guter Beleuchtung sehen.

Schülerbuch Seite 215

- ① Erläutern Sie die Bedeutung von Rhodopsin.
 - *Rhodopsin ist der Sehfärbstoff der Stäbchen, der die Transduktion in den Sinneszellen ermöglicht. Die chemische Struktur von Rhodopsin (i. W. der Retinalanteil) ermöglicht die Wechselwirkung mit Licht. Dabei verändert das Molekül seine Raumgestalt und führt zur Erregung der Lichtsinneszelle.*
- ② Beschreiben Sie die Vorgänge, die in Stäbchen bei Belichtung ablaufen.
 - *Absorbiert Rhodopsin Licht, so geht der Retinalanteil von der gewinkelten 11-cis in die gestreckte all-trans-Form über. Dieses lichtaktivierte Rhodopsin diffundiert in der Membran der Scheibchen und setzt eine Kaskade in Gang. Trifft es auf Transducin, so wird dieses G-Protein aktiviert, das seinerseits das Enzym Phosphodiesterase aktiviert. Dieses Enzym katalysiert den Abbau von cGMP, das im unbelichteten Zustand der Zelle die Natriumionenkanäle geöffnet hält. Durch den Abbau von cGMP werden Natriumionenkanäle geschlossen, der Natriumionen-Einstrom vermindert, die Membran der Lichtsinneszelle hyperpolarisiert und die Transmitterabgabe an die Bipolarzellen vermindert. Das lichtaktivierte Rhodopsinmolekül zerfällt in all-trans-Retinal und Opsin.*
- ③ Zeigen Sie am Außensegment der Stäbchen den Zusammenhang zwischen Struktur und Funktion.
 - *Das Außensegment der Stäbchen dient der Lichtabsorption mithilfe des eingelagerten Sehfärbstoffs Rhodopsin. Die Lichtabsorption ist um so stärker, je mehr Farbstoff sich im*

Lichtweg befindet. Die lange, schlanke Form des Außensegments ist für die Lichtabsorption sehr geeignet, denn einfallendes Licht legt so einen sehr großen Weg in der Lichtsinneszelle zurück, da der Lichteinfall annähernd parallel zur Längsachse erfolgt. Im Lichtweg befinden sich die Membranscheibchen, die Rhodopsin enthalten. So legt das Licht einen sehr langen Weg durch die rhodopsinhaltigen Strukturen zurück, was die Lichtabsorption begünstigt.

Schülerbuch Seite 216

- ① Fixiert man längere Zeit weiße Haufenwolken und blickt man anschließend auf den blauen Teil des Himmels, so sieht man abgedunkelt wieder dieselben Wolkenformen. Erklären Sie.
 - *Beim Anblick der weißen Wolken kommt es auf der Netzhaut dort zu lokaler Helladaptation der Sehzellen, wo die sehr hellen weißen Wolken abgebildet werden. In den umgebenden Bereichen ist die Adaptation nicht so ausgeprägt, weil die Lichtintensität geringer ist. Schaut man anschließend auf den gleichmäßig blauen Teil des Himmels, werden die zuvor stark helladaptierten Lichtsinneszellen weniger stark erregt als die anderen. Die Folge ist das negative Nachbild, bei dem die zuvor sehr hell wahrgenommenen Wolkenformen nun dunkler erscheinen.*
- ② Die Randspaltenabbildung zeigt ein Modell zur Adaptation der Lichtsinneszellen. Die Füllhöhe der Flüssigkeit entspricht der Menge an Sehfärbstoff. Erläutern Sie, welchen Strukturen der Lichtsinneszellen die anderen Teile des Modells entsprechen. Erklären Sie damit Hell- und Dunkeladaptation.
 - *Modellanalogien*
 - *Oberes zylinderförmiges Gefäß – Außenglied der Lichtsinneszelle (z. B. Stäbchen)*
 - *Flüssigkeit im oberen Gefäß – Sehfärbstoff (Rhodopsin)*
 - *Flüssigkeit im unteren Gefäß – zerfallener Sehfärbstoff (Retinal, Opsin)*
 - *Pumpe – Enzyme zur Regeneration des Sehfärbstoffs*
 - *Regelbarer Abfluss – für diese Struktur gibt es keine natürliche Entsprechung; das zeigt den Modellcharakter der Darstellung*
 - *(Öffnen des Abflusses – Belichtung der Lichtsinneszelle)*

Dunkeladaptation:
Entspricht im Modell dem Ansteigen des Flüssigkeitsstandes im oberen Gefäß bei geschlossenem Abfluss, bzw. in der Lichtsinneszelle dem Ansammeln von Sehfärbstoff ohne Belichtung.

Helladaptation:
Entspricht im Modell dem Absinken des Flüssigkeitsstandes im oberen Gefäß bei geöffnetem Abfluss, bzw. in der Lichtsinneszelle der Abnahme von Sehfärbstoff ohne bei Belichtung.

Schülerbuch Seite 218

- ① Erläutern Sie anhand der Absorptionsspektren die unterschiedliche Wirkung von spektralreinem grünen oder gelbgrünen Licht auf das Farbsehsystem.
 - *Durch spektralreines grünes Licht (ca. 520 - 540 nm) werden die Grünrezeptoren sehr stark erregt und im Vergleich dazu die Rotrezeptoren etwa halb so stark. Die Blaurezeptoren werden nur wenig oder gar nicht erregt. Durch spektralreines gelbes Licht (ca. 570 - 590 nm) werden die Rotrezeptoren sehr stark erregt und im Vergleich dazu die Grünrezeptoren etwa halb so stark. Die Blaurezeptoren werden überhaupt nicht erregt.*

Schülerbuch Seite 219

- ① Um welchen Sinneszelltyp handelt es sich bei der Haarsinneszelle? Begründen Sie (s. Kasten S. 212).
 - *Die Haarsinneszelle gehört zu den sekundären Sinneszellen, weil sie kein Axon besitzt zur Fortleitung der Erregung über größere Strecken.*
- ② Ermitteln Sie anhand von Abb 1, welcher Einfluss den adäquaten Reiz darstellt. Geben Sie eine Erklärung für die Funktion der Proteinbrücken zwischen den Cilien.
 - *Der adäquate Reiz für die Haarsinneszelle ist das Abbiegen (Scheren) der Cilien. Die Proteinbrücken verbinden die Cilien miteinander. Beim Scheren üben benachbarte Cilien Kräfte aufeinander aus.
(Zusatzinformation: Über die Proteinbrücken, die sogenannten Tip-Links, werden vermutlich Ionenkanäle in den Cilien geöffnet. Durch diese Transduktionskanäle strömen Kalium- und Calciumionen in die Zelle und depolarisieren sie.)*
- ③ Untersuchen Sie anhand der Abb. 1 die Auswirkung von Reizen auf Rezeptor- und die Nervenzelle.
 - *Bei Scherung der Cilien in Richtung des Kinociliums entsteht ein Rezeptorpotential; die Membran der Haarsinneszelle wird depolarisiert. Dabei nimmt die Frequenz der Aktionspotentiale in der nachfolgenden Nervenzelle zu.
Bei Scherung der Cilien in Gegenrichtung, also weg vom Kinocilium, entsteht ein Rezeptorpotential mit umgekehrtem Vorzeichen; die Membran der Haarsinneszelle wird hyperpolarisiert und die Frequenz der Aktionspotentiale in der nachfolgenden Nervenzelle nimmt ab.*
- ④ Suchen Sie die Zeitabschnitte, in denen die Haarsinneszelle nicht gereizt wird und beschreiben Sie für diese Situation die Bedeutung des Begriffs „Ruhefrequenz“ für den Erregungszustand der Nervenzelle. Entwickeln Sie eine Hypothese zur Entstehung der Ruhefrequenz.
 - *Es gibt drei Zeitintervalle, in denen kein Reiz auf die Haarsinneszelle einwirkt. Auch in diesen Zeitintervallen treten Aktionspotenti-*

ale an der Nervenzelle auf. Die Frequenz, mit der die Aktionspotentiale auftreten, wird als Ruhfrequenz bezeichnet, weil sie auch ohne Reizung der Haarsinneszelle in der Nervenzelle auftreten. Die Frequenz beträgt etwa 10 AP/s, also 10 Hertz.

Vermutlich erregt die Haarsinneszelle auch ohne Reizeinwirkung die Nervenzelle über ihre Synapse. Dafür spricht der Befund, dass die Scherung der Cilien vom Kinocilium weg die Membran der Haarsinneszelle hyperpolarisiert wird und die Frequenz der Aktionspotentiale in der Nervenzelle abnimmt.

- ⑤ Entwickeln Sie in Anlehnung an die Erregungsbildung an der Muskelspindel (s. S. 202) eine Hypothese, wie durch Verbiegen der Cilien ein Rezeptorpotential entstehen kann.
 - *Vergleichbar wie bei der Muskelspindel ist zu vermuten, dass es in der Zellmembran der Haarsinneszelle mechanisch zu öffnende Ionenkanäle gibt. Je nach Scherungsrichtung werden sie geöffnet oder geschlossen. Dadurch wird das Membranpotential verändert und die Transmitterabgabe an die Nervenzelle gesteigert oder vermindert. (Siehe auch Zusatzinformation zu Aufgabe 2)*
- ⑥ Ordnen Sie die Diagramme A – D den entsprechenden Messstellen zu. Begründen Sie Ihre Zuordnung.
 - *Die Diagramme C und D gehören zur Messstelle 1. Sie zeigen ein vergleichsweise langsam sich zeitlich veränderndes Membranpotential bei Reizeinwirkung. Es handelt sich um Rezeptorpotentiale, die an den Riechgeißeln der Riechsinneszellen abgeleitet werden. Die Diagramme A und B gehören zur Messstelle 2. Sie zeigen ein Aktionspotentiale, die am Axon der Riechsinneszellen (primäre Sinneszelle mit Leitungsfunktion) abgeleitet werden.*
- ⑦ Vergleichen Sie den strukturellen Aufbau der beiden Duftstoffmoleküle sowie die Wirkung der Duftstoffe auf die Sinneszellen und die Erregungsbildung in den beteiligten Neuronen. Entwickeln Sie eine Hypothese, welche die Wirkungsunterschiede erklärt.
 - *Die Duftstoffe unterscheiden sich in der Lage der von OH- und CHO-Gruppe am Ringsystem voneinander. Der erste Stoff reizt die Riechsinneszelle schwächer als der zweite Stoff, wie der Vergleich der Rezeptorpotentiale und der Frequenzen der ausgelösten Aktionspotentiale zeigt.
Für die Wirkungsunterschiede gibt es unterschiedliche Erklärungsmodelle.
Zwei Beispiele:
Erklärungsmodell 1: Der erste Duftstoff hat eine geringere Bindungsaffinität zum Rezeptormolekül. Daher besetzen vom ersten Duftstoff weniger Moleküle die Rezeptormoleküle der Zelle als vom zweiten Duftstoff. Entsprechend wird die Zelle durch zweiten Duftstoff stärker erregt.
Erklärungsmodelle 2: Es gibt verschiedene Rezeptormoleküle für jeden der beiden Duftstoffe. Vom dem Typ, der sich mit dem ersten Duftstoff verbindet, gibt es weniger als*

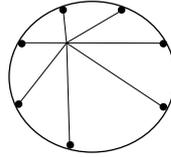
- vom zweiten Typ. Daher wird die Zelle durch zweiten Duftstoff stärker gereizt.
- ⑧ Erläutern Sie, was sich anhand der Diagramme vermuten lässt, wie das Tier die beiden Duftstoffe im Vergleich wahrnimmt.
- Es ist zu vermuten, dass bei stärkerer Reizung auch zu intensiverer Wahrnehmung führt. Allerdings kann das anhand von Messungen an den Sinneszellen nicht belegt werden, weil die Wahrnehmung im Gehirn stattfindet. Unklar ist, ob unterschiedliche Reizqualitäten wahrgenommen werden. Das ist von verschiedenen Faktoren abhängig, u. a. davon, ob es einen, zwei oder mehrere verschiedene molekulare Rezeptoren für die Duftstoffe gibt und mit welcher Häufigkeit sie in den Riechzellen auftreten.
- ⑨ Für Menschen sind viele Gase geruchlos, darunter auch das sehr gefährliche Kohlenstoffmonoxid (CO). Entwickeln Sie eine Hypothese die erklärt, dass bestimmte Gase nicht wahrnehmbar sind.
- Damit ein gasförmiger Stoff wahrgenommen werden kann, muss er Riechsinneszellen reizen. Dazu muss es an der Zellmembran einen molekularen Rezeptor geben, mit dem sich die Moleküle des gasförmigen Stoffs verbinden können und er muss dabei den Rezeptor so verändern, dass die Transduktion ausgelöst wird. Vermutlich existiert in den Riechsinneszellen des Menschen kein Rezeptor für Kohlenstoffmonoxid.
- ⑩ Beschreiben Sie den Verlauf des Membranpotentials und die Empfindung, die dabei auftritt.
- Bei Beginn der Belichtung wird die Sehzelle stark hyperpolarisiert. Im Laufe der Zeit nimmt die Hyperpolarisierung ab. Mit Beginn des Lichtreizes kommt es zur Lichtwahrnehmung. Im Laufe der Zeit nimmt die wahrgenommene Intensität ab.
- ⑪ Erläutern Sie, welche Vorgänge bei Belichtung in der Lichtsinneszelle ablaufen, die das Membranpotential verändern.
- Bei Belichtung der Lichtsinneszelle absorbiert der Sehfärbstoff Licht. Der Retinalanteil geht von der gewinkelten 11-cis in die gestreckte all-trans-Form über. Der nun lichtaktivierte Sehfärbstoff diffundiert in der Membran der Scheibchen und setzt eine Kaskade in Gang. Trifft der lichtaktivierte Sehfärbstoff auf Transducin, so wird dieses G-Protein aktiviert, das seinerseits das Enzym Phosphodiesterase aktiviert. Dieses Enzym katalysiert den Abbau von cGMP, das im unbelichteten Zustand der Zelle die Natriumionenkanäle geöffnet hält. Durch den Abbau von cGMP werden Natriumionenkanäle geschlossen, der Natriumioneneinstrom vermindert und die Membran der Lichtsinneszelle hyperpolarisiert.
- ⑫ Erklären Sie, welche Vorgänge dazu führen, dass sich hier während der konstanten Belichtung das Membranpotential des Zapfens verändert.
- Nach einer Dunkelphase, in der sich in der Sehzelle Sehfärbstoff angesammelt hat, zerfällt bei konstant gleichmäßiger Belichtung anfänglich viel Sehfärbstoff. Es kommt zu einer starken Reizung mit starker Hyperpolarisation der Sehzelle. In dieser Phase zerfällt mehr Sehfärbstoff als zugleich wieder aufgebaut werden kann. In der Zelle sinkt der Gehalt an Sehfärbstoff und auch seine Zerfallsrate. Die Reizung wird schwächer und die Hyperpolarisation nimmt etwas ab. Die Sehzelle adaptiert an die Lichtintensität. Der Vorgang endet, wenn Zerfallsrate des Sehfärbstoffs so weit gesunken ist, dass sie gleich groß ist wie die Rate der Neubildung.

Schülerbuch Seite 220

- ① Protokollieren Sie Ihre Ergebnisse. Geben Sie an in welchem Winkelbereich die Farben Rot, Grün und Blau erkennbar sind.
- Zu erwartende Ergebnisse:
Gas Gesichtsfeld ist im nasalen Bereich kleiner als im temporalen. Es ist für die Hell-Dunkel-Wahrnehmung größer als für die Farbwahrnehmung. Bezogen auf die Sehachse beginnt das Sehfeld bei etwa 85 Grad. Von der temporalen Seite kommend erkennt man typischerweise zuerst die Farbe Blau (ca. 70 Grad), dann Rot (ca. 50 Grad) und kurz danach Grün. Das gilt für spektral-reine Farben. Bei Verwendung von farbigen Objekten (Kärtchen o. ä.), die verschiedene Lichtwellenlängen streuen, entstehen durch die subtraktive Farbmischung Mischfarben, die auch zu abweichenden Resultaten führen können.
- ② Erklären Sie diese Erscheinung.
- Licht, das von der abgebildeten Maus kommt, fällt auf den blinden Fleck. Die ist die Durchtrittsstelle des Sehnervs durch die Netzhaut. Hier befinden sich keine Lichtsinneszellen. Deshalb ist die Maus nicht zu sehen.
- ③ Fixieren Sie erneut einäugig mit Ihrem rechten Auge. Wiederholen Sie den Vorgang und achten Sie auf das Gitter. Wie erklären Sie sich die Tatsache, dass der Gesichtsfeldausfall im täglichen Leben nicht bemerkt wird?
- Das Gitter wird vollständig ohne Unterbrechung durch einen Fleck im Gesichtsfeld gesehen. Die fehlende Information wird vom Gehirn ergänzt. Unter normalen Bedingungen beim beidäugigen Sehen kann auch das andere Auge die fehlende Information liefern.
- ④ Zeichnen Sie die Form des Gesichtsfeldausfalls auf, indem Sie den Kopf mit der linken Hand abstützen und damit den Abstand des rechten Auges zum Tisch konstant halten. Fixieren Sie rechtsäugig bei geschlossenem linkem Auge ein Kreuz. Setzen Sie die Spitze eines Stiftes in den Gesichtsfeldausfall und ziehen Sie Striche in alle Richtungen, bis Sie die Spitze gerade wieder sehen können. Markieren Sie so die Grenzpunkte des Gesichtsfeldausfalls und verbinden Sie diese zu einer Fläche.

+

Fixationspunkt



Grenzpunkte

- ⑤ Beschreiben und erklären Sie Ihre Wahrnehmung.
 - *Blickt man auf das Kreuz auf dem weißen Blatt, so ist ein negatives Nachbild zu sehen. Durch längeres Fixieren der Abbildung werden einzelne Bereiche der Netzhaut in unterschiedliche Adaptationszustände versetzt. Blickt man dann auf eine gleichmäßig helle Fläche, so bewirkt dieser einheitliche Reiz bei den dunkeladaptierten Netzhautstellen eine stärkere Erregung als an den helladaptierten Stellen. Daher nimmt man die dunklen Bereiche des Bildes heller wahr und umgekehrt. So entsteht vorübergehend das negative Nachbild. Wenn alle Netzhautstellen wieder den gleichen Adaptationszustand erreicht haben, verschwindet das Nachbild.*
- ⑥ Untersuchen Sie, wie sich weiße und schwarze Bildschirmstellen voneinander unterscheiden. Ermitteln Sie die Unterschiede zwischen roten, grünen und blauen Stellen.
 - *An den weißen Bildschirmstellen sieht man bei der Betrachtung mit einer Lupe (10x) rote, grüne und blaue Farbpunkte (CRT-Monitor), bzw. Farbstreifen (TFT-Monitor). Es handelt sich um die Grundfarben für die additive Farbmischung. An den schwarzen Stellen ist der Monitor völlig dunkel. Bei CRT-Monitoren können diese Bereiche auch sehr schwach leuchtende Farbpunkte zeigen. An roten, grünen und blauen Bildschirmstellen leuchten die Punkte bzw. Streifen in der jeweiligen Grundfarbe sehr hell. Je nach Farbtönung sieht man teilweise auch die anderen Lichter schwach leuchten.*
- ⑦ Geben Sie an, was Sie für gelbe Stellen erwarten und prüfen Sie Ihre Vermutung.
 - *Gelb ist eine Mischfarbe aus Rot und Grün. Wie zu vermuten ist, leuchten an diesen Stellen die roten und grünen Punkte bzw. Streifen sehr stark. Je nach Farbtönung leuchtet Blau kaum bzw. gar nicht.*
- ⑧ Standardmäßig können Computerbildschirme $2^{16} = 65\,536$ verschiedene Farben darstellen. Erläutern Sie, wie diese Vielfalt realisiert wird.
 - *Die Darstellung der großen Anzahl der Farbtöne mit nur drei Grundfarben ist dadurch möglich, dass die Intensität jeder der Grundfarben variiert werden kann. So sind viele verschiedene Kombinationen mit unterschiedlichen Intensitäten der Grundfarben möglich.*

Nervensystem und Wahrnehmung

Schülerbuch Seite 223

- ① Beschreiben Sie wesentliche Funktionen des Rückenmarks.
 - *Leitungsfunktion des Rückenmarks: Sensorische (afferente) Bahnen transportieren Informationen aus der Peripherie zum Gehirn, efferente Bahnen leiten Informationen zu den Effektoren des Körpers (Muskulatur, Drüsen).*
 - *Umschaltfunktion des Rückenmarks: Im Rückenmark werden eingehende sensorische Signale auf motorische Bahnen umgeschaltet; das ermöglicht Reflexe (Eigenreflexe).*
- ② Erläutern Sie an ausgewählten Beispielen von Abbildung 2, dass Sympathicus und Parasympathicus antagonistisch arbeiten.
 - *Die Abbildung 2 zeigt verschiedene Organe, die von beiden antagonistisch wirkenden Teilsystemen innerviert sind. Beispiele:*

Parasympathicus	Sympathicus
<i>Inaktiviert das Herz</i>	<i>Aktiviert das Herz</i>
<i>Entspannung des Schließmuskels der Harnblase</i>	<i>Kontraktion des Schließmuskels der Harnblase</i>
<i>Kontraktion der Muskulatur der Bronchien (Verkleinerung des Querschnitts)</i>	<i>Entspannung der Muskulatur der Bronchien (Vergrößerung des Querschnitts)</i>
<i>Darmpéristaltik wird angeregt</i>	<i>Darmpéristaltik wird gehemmt</i>
<i>Aktivierung von Drüsen (z. B. Speicheldrüsen)</i>	<i>Inaktivierung von Drüsen (z. B. Speicheldrüsen)</i>
<i>Inaktivierung der Iris-muskulatur (Pupillenverkleinerung)</i>	<i>Aktivierung der Iris-muskulatur (Pupillenvergrößerung)</i>

Schülerbuch Seite 225

- ① Nennen Sie die Strukturen, die an der Regulation der Sauerstoffkonzentration im Blut beteiligt sind. Ordnen Sie den einzelnen Elementen des Regelkreisschemas die jeweiligen Strukturen zu.

Nennen Sie Einflüsse, die als Störgrößen wirken und den Sauerstoffgehalt im Blut beeinflussen können.

 - *Regelglied: Nachhirn*
 - *Messglied: Rezeptorzellen im Glomerus caroticum*
 - *Stellglieder: Lunge, Zwerchfell- und Zwischenrippenmuskulatur (außerdem Herz, Muskulatur der Bronchien u. a.)*

Störgrößen: z. B. intensive Muskelarbeit, geringe Sauerstoffkonzentration in der Atemluft (schlecht gelüftete Räume, große Höhe), Behinderung der Gasdifffusion im Lungenepithel durch Erkrankung oder Rückstände von Tabakrauch.

- ② Abb. 3 zeigt das Ergebnis der Untersuchung des Atmungsverhaltens einer Ente. Gemessen wurde die Atmungsaktivität in Abhängigkeit der Sauerstoffkonzentration im Blut. Erläutern Sie das Diagramm. Erklären Sie, inwiefern die Kurven belegen, dass an der Regulation der Atmung zwei Gase beteiligt sind.
 - *Das Diagramm zeigt das ausgeatmete Gasvolumen in Abhängigkeit der arteriellen Sauerstoffkonzentration bei einer Ente. Die zwei verschiedenen Kurven stehen für verschiedene Kohlenstoffdioxidkonzentration im Blut. Beide Kurven geben wieder, dass die Atmungsaktivität mit zunehmender Sauerstoffkonzentration abnimmt. Das zeigt, dass die Atmungsaktivität von der Sauerstoffkonzentration bestimmt ist. Beim Vergleich der beiden Kurven erkennt man, dass stets bei gleicher Sauerstoffkonzentration die Atmungsaktivität bei höherer Kohlenstoffdioxidkonzentration größer ist. Das zeigt, dass die Atmungsaktivität auch von der Kohlenstoffdioxidkonzentration bestimmt wird und an der Regulation beide Atemgase beteiligt sind.*
- ③ a) Nennen Sie Stellglieder im Regelkreis für die Körpertemperatur und erläutern Sie ihre Wirkungsweise.

b) Erläutern Sie, welche Veränderung im Temperaturregelkreis zum Auftreten von Fieber bewirkt.

 - *Stellglieder für die Körpertemperatur: Zur Bildung thermischer Energie und damit Temperaturerhöhung tragen alle Zellen durch ihren Energieumsatz bei. Bei fast allen Stoffwechselreaktionen wird thermische Energie freigesetzt. So beträgt bei der Zellatmung der Anteil der thermisch freigesetzten Energie nahezu 60 Prozent. Vor allem bei körperlicher Aktivität hat die Muskulatur daran großen Anteil an der Bildung thermischer Energie im Organismus.*
 - *Zur Abgabe thermischer Energie an die Umgebung und damit zur Temperaturverminderung tragen verschiedene Organe bei. Ein großer Teil der thermischen Energie wird über die Haut abgegeben. Über die Intensität der Hautdurchblutung kann dieser Vorgang beeinflusst werden. Insofern gehören auch Blutgefäße der Haut zu den Stellgliedern. Durch die Absonderung von Schweiß aus Schweißdrüsen wird der Abgabe thermischer Energie durch Verdunstung verstärkt. Auch über die Lunge wird thermische Energie abgegeben. Die ausgeatmete Luft hat meist höhere Temperatur als die eingeatmete*

und enthält außerdem mehr Wasserdampf. Er stammt aus der Wasserverdunstung an den Schleimhäuten des Atmungstrakts.

Grundsätzlich kommen drei Vorgänge in Betracht:

- Veränderung des Sollwerts für die Körpertemperatur
- Nicht durch Veränderung des Sollwerts bedingte vermehrte Bildung thermischer Energie
- Verminderung der Abgabe thermischer Energie

Typischerweise führt v. a. der erste Faktor zu Fieber.

Schülerbuch Seite 229

- ① Ordnen Sie die Untersuchungsverfahren danach, ob sich damit Strukturen oder Funktionen aufklären lassen.
- Methoden zur strukturellen Gehirnuntersuchung
 - Anatomische Präparation, histologische Untersuchung
 - Magnetresonanztomographie (MRT)

Methoden zur funktionellen Gehirnuntersuchung

- Korrelation von Funktionsausfällen mit auffälligen anatomischen oder histologischen Befunden
 - Positronen-Elektronen-Tomographie (PET)
 - funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT)
 - Elektroencephalogramm (EEG)
- ② Vergleichen Sie die PET-Bilder in Abb. 2 mit Abb. 4. Geben Sie an, welche Hirnrindengebiete jeweils aktiv sind.
- Linkes Bild (Worte hören):
Aktivität im Bereich des linken Schläfenlappens. Vergleich mit Abbildung 4 zeigt, dass hier ein sensorisches Feld für das Hören liegt.
 - Mittleres Bild (Worte sehen):
Aktivität im hinteren unteren Bereich des linken Schläfenlappens (Assoziationsfeld) und im Hinterhauptslappen (primäres sensorisches Sehfeld).
 - Rechtes Bild (Worte sehen):
Starke Aktivität etwa in der Mitte des linken Scheitellappens. Hier befinden sich motorische Felder.
- Siehe dazu auch Seite 232.

Schülerbuch Seite 232

- ① Erläutern Sie neurobiologisch die folgenden Befunde.
- a) Das Sprachverständnis ist bei Schädigung des Broca-Areals nicht beeinträchtigt.
 - b) Schädigung des Assoziationsfelds beeinträchtigt das Verstehen gesprochener und gehörter Worte.

- Bei einer Schädigung des Broca-Areals wird zwar das Sprechen beeinträchtigt, jedoch nicht das Sprachverständnis. Diesem dient das Wernicke-Areal.

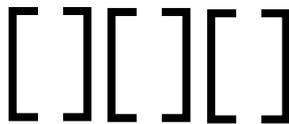
Im Assoziationsfeld wird beim Hören Lauten eine Bedeutung zugeordnet. Dies geschieht sowohl beim Hören, als auch wenn man selbst redet. Auch der Redner kontrolliert sich über das Hören eigener Worte.

- ② Um einen schwierigen Text zu verstehen wird empfohlen, ihn laut zu lesen. Erklären Sie die neurobiologische Grundlage dieser Empfehlung.
- Das Wernicke-Areal vermittelt Sprachverständnis. In dieses Areal gelangen sowohl optische als auch akustische Informationen. Beim lauten Lesen gelangen so die gleichen Informationen zugleich auf verschiedenen Kanälen ins Gehirn. Dadurch wird die Analyse der Testaussage verbessert.

Schülerbuch Seite 235

- ① Welche der beiden waagerechten Strecken ist jeweils länger? Überprüfen Sie Ihre Vermutungen durch Nachmessen.
- Die beiden waagerechten Strecken sind jeweils gleich lang.
- ② Versuchen Sie die Beurteilungsfehler zu erklären. Berücksichtigen Sie dabei die räumliche Interpretation der Figuren durch unser Gehirn.
- oben: Diese geometrisch optische Täuschung ist durch eine dreidimensionale Deutung der Zeichnung zu erklären. Die beiden zusammenlaufenden Linien vermitteln dem Betrachter den Eindruck räumlicher Tiefe (Eisenbahnschienen). Die obere Linie scheint durch den räumlichen Eindruck weiter entfernt zu liegen und wird daher unbewusst vergrößert bei der Wahrnehmung. Um als gleich groß wahrgenommen zu werden, müsste das Netzhautbild der oberen Linie deutlich kleiner sein als das der unteren Linie.
 - unten: Auch die Müller-Lyer'sche Täuschung beruht auf einer räumlichen Interpretation durch das Gehirn. Bedingt durch Erfahrungen im dreidimensionalen Raum werden weiter entfernte Gegenstände unbewusst vergrößert bei der Wahrnehmung. Die untere Linie erscheint so deutlich länger, da sie als (entfernte) Innenkante z. B. eines Quaders gedeutet wird, im Gegensatz zur (näheren) Außenkante oben.
- ③ Welcher Täuschung unterliegt der Betrachter dieser Figuren?
- Die beiden Figuren scheinen höher zu sein als breit, was aber nicht der Fall ist.
- ④ Schlagen Sie eine Erklärung für diese fehlerhafte Wahrnehmung vor.
- Diese beiden horizontal-vertikal-Täuschungen entstehen durch eine Höhenüberschätzung. An eine Augenbewegung von rechts nach links gewöhnt, neigt man dazu, vertikale Linien überzubewerten

- ⑤ Betrachten Sie die oben stehende Abbildung und beschreiben Sie Ihre Wahrnehmung.
- Man kann nicht angeben, wie viele Beine dieser Elefant besitzt.
- ⑥ Suchen Sie nach einer möglichen Erklärung.
- Durch entsprechende Schraffur entsteht ein dreidimensionaler Eindruck, dem man sich nicht widersetzen kann.
- ⑦ Erläutern Sie, weshalb in den obigen Darstellungen zum einen ein Dreieck, zum anderen eine gewellte Linie zu erkennen sind, obwohl diese in Wirklichkeit gar nicht existieren.
- Das Gehirn ergänzt nur die angedeuteten geometrische Strukturen zu vollständigen und sinnvollen Gebilden. So lässt uns unsere Wahrnehmung Figuren und Linien erkennen, die nicht vorhanden sind. Das Dreieck, dessen Spitze nach oben weist, erscheint durch die schwarzen Kreissegmente heller und über dem zweiten gelegen.
- ⑧ Welche Rückschlüsse lassen die oben stehenden Darstellungen auf den Wahrnehmungsvorgang im Gehirn zu?
- Die im Gehirn ankommenden Informationen werden mit den dort gespeicherten Informationen verglichen. Aus beiden wird, soweit möglich, ein sinnvoller Gesamteindruck erzeugt.
- ⑨ Entwerfen Sie nach diesem Prinzip eine eigene Darstellung und testen Sie ihre Wirkung an anderen Kursteilnehmern.
- siehe Abbildung:



- ⑩ Vergleichen Sie die Grautöne in den Teilabbildungen miteinander.
- Das kleine Quadrat besitzt in allen Teilabbildungen denselben Grauton. Vor einem schwarzen Hintergrund wirkt es jedoch deutlich heller als vor einem hellgrauen Hintergrund.
- ⑪ Welche Folgerung können Sie aus dieser Betrachtung für die Helligkeitsmessung des Gehirns ziehen?
- Die Helligkeitsmessung des Gehirns erfolgt relativ. Wie hell oder dunkel eine Fläche empfunden wird, ist stark vom Kontrast des jeweiligen Umfelds abhängig. Helligkeitsunterschiede benachbarter Flächen werden durch die seitliche Hemmung der Sehzellen verstärkt.
- ⑫ Betrachten Sie die beiden Abbildungen jeweils eine Minute lang und notieren Sie Ihre Wahrnehmungen.
- Es handelt sich um zweideutige Darstellungen. oben: Zwei Gesichter bzw. Vase unten: Gesicht mit Stirn in Falten, nach unten gezogenen Mundwinkeln und Doktorhut bzw. freundliches Gesicht mit Kappe.
- ⑬ Drehen Sie nun das Buch um 180° und betrachten Sie das erste Bild erneut. Was nehmen Sie wahr?

- Durch die Drehung des Buchs um 180 Grad wird die zweite Interpretationsmöglichkeit der Figur deutlicher.
- ⑭ Welche Feststellung können Sie machen, wenn Sie Ihre Eindrücke mit denen vergleichen, die andere Kursteilnehmer gemacht haben?
- Es kann vorkommen, dass einzelne Kursteilnehmer nur jeweils eine Darstellung in den zweideutigen Figuren erkennen und auf die andere mögliche Sichtweise erst hingewiesen werden müssen.

Schülerbuch Seite 237

- ① Erklären Sie anhand von Abbildung 1 die schmerzstillende Wirkung von Opiaten.
- Opiate behindern die Weiterleitung von Erregungen, die von Schmerzfasern kommen. An Endknöpfchen von Synapsen behindern sie den Einstrom von Calciumionen und damit die Freisetzung von Transmitterstoffen. Dadurch wird die Schmerzschwelle erhöht, weil eine Weiterleitung der Erregung erst bei viel stärkerem Schmerzreiz auftreten kann.
- ② Erläutern Sie, wodurch Drogen Wahrnehmung und Gefühle verändern.
- Opiatrezeptoren befinden sich außer im Rückenmark auch im Gehirn, u. a. im Thalamus. Hier ist „das Tor zur Hirnrinde“ (s. Seite 227), wo Wahrnehmung stattfindet. Werden im Thalamus Synapsen durch Opiate beeinflusst, so verändert dies Gefühle, die ebenfalls von diesem Teil des Zwischenhirns bestimmt werden.
- ③ Das antagonistisch wirkende Medikament Naloxon wird im Organismus rascher abgebaut als Opiate. Erläutern Sie, weshalb ein Patient, der nach einer Heroinüberdosis Naloxon erhält, für längere Zeit klinisch überwacht werden muss.
- Wenn die Wirkung von Naloxon nachlässt, aber noch immer Opiate vorhanden sind, weil sie langsamer abgebaut werden, so können nach einiger Zeit wieder die gleichen Symptome auftreten wie vor der Gabe von Naloxon. Es droht erneut der Atemstillstand. Weil es so zu einer Remorphinisierung kommen kann, müssen die Patienten einige Zeit überwacht werden.
- ④ Nennen Sie ein Synapsengift das vergleichbar wirkt wie Naloxon.
- Vergleichbar wirkt z. B. Curare, das jedoch nur an neuromuskulären Synapsen wirksam ist.

Schülerbuch Seite 239

- ① Erläutern Sie, welche Sehstörungen bei einer Maculadegeneration zu erwarten sind. Begründen Sie, was dafür spricht, dass Retinitis pigmentosa eine genetisch bedingte Krankheit ist.
- Bei der Maculadegeneration kommt es zu einer Verminderung der Sehschärfe, weil die Lichtsinneszellen im Gelben Fleck absterben.

ben. Hier ist die Sehschärfe am größten, da jede Lichtsinneszelle mit einer Ganglienzelle verbunden ist. In den Randbereichen der Netzhaut existieren rezeptive Felder, in denen die Erregungen mehrerer Lichtsinneszellen zu einer Ganglienzelle geleitet werden, wodurch das räumliche Auflösungsvermögen verringert ist.

Bei der Krankheit Retinitis pigmentosa treten veränderte Enzyme auf. Veränderte oder funktionsunfähige Enzyme können als Folge von Mutationen entstehen. Daher ist anzunehmen, dass die Krankheit genetisch bedingt ist und ihre Anlagen vererbt werden können.

- ② Erklären Sie, welche Strukturen des Sehsystems funktionsfähig sein müssen, damit Retinaimplantate Erblindeten eine Hilfe sein können.
 - Retinaimplantate lassen sich nur anwenden, wenn die Ganglienzellen in der Netzhaut, der Sehnerv und die für den Sehvorgang erforderlichen Strukturen des Gehirns nicht geschädigt sind.
- ③ Die Abb. 2 zeigt die Lage des subretinalen und des epiretinalen Netzhautimplantats. Erklären Sie, welche Zellen der Netzhaut jeweils gereizt werden.
 - Das epiretinale Implantat reizt die Nervenfasern der Ganglienzellen in der Netzhaut. Das subretinale Implantat reizt die Bipolarzellen und möglicherweise auch die Ganglienzellen, wenn bei der Implantation möglicherweise Lichtsinneszellen verdrängt werden.
- ④ Vergleichen Sie die Eigenschaften des subretinalen Mikrochips mit denen der Netzhaut. Bewerten Sie die zu erwartende Sehleistung mit dem Chip im Vergleich zur normalen Sehleistung.
 - Das Implantat sind nur ein schwacher Ersatz für die normal funktionierende Netzhaut. Es liefert nur etwa 1500 Bildpunkte im Vergleich zu etwa 1 Million Bildpunkte der Netzhaut. Das ergibt sich auch daraus, dass der Chip eine viel kleinere Fläche hat als die etwa 10 Quadratzentimeter große Netzhaut.
- ⑤ Erläutern Sie, wieso an der Kopfoberfläche elektrische Signale entstehen können.
 - Aktive Neuronen bilden Aktionspotentiale. Diese Impulse können auch an der Oberfläche von Nervenzellen registriert werden (extrazelluläre Ableitung des Aktionspotentials, s. Zettelkasten Seite 201). Bei gleichzeitiger Aktivität vieler Neuronen durchdringen diese Signale auch weitere Gewebeschichten und sind dann stark abgeschwächt an der Schädeloberfläche registrierbar.
- ⑥ Erklären Sie, weshalb ein vollständig gelähmter Mensch das BCI bedienen kann.
 - Das BCI wird nicht mechanisch bedient, sondern mithilfe der EEG-Signale die an der Schädeloberfläche ableitbar sind.
- ⑦ Erläutern Sie auf der Grundlage der Großhirnorganisation (siehe S. 229), weshalb die Vorstellung von Bewegungen besonders geeignet ist, das BCI gezielt zu steuern.

- An der Oberfläche des Großhirns liegen motorische Felder, in denen die Neuronen die Aktivierung der Muskulatur der verschiedenen Körperbereiche ermöglichen. Die den verschiedenen Körperbereichen zugeordneten motorischen Felder unterscheiden sich in ihrer Lage an der Hirnoberfläche. Soll mit einem bestimmten Körperteil eine Bewegung ausgeführt werden, so werden die zugehörigen Neuronen an einer bestimmten Stelle aktiviert und es entstehen lokal elektrische Signale. Diese räumliche Zuordnung von neuronalen Signalen und beabsichtigter Bewegung ermöglicht eine eindeutige Zuordnung von Signalorten zu den Funktionen des BCI. (Elektrische Signale, die nahe an der Schädeldecke entstehen, liefern starke EEG-Signale, weil sie weniger gedämpft werden wie Signale aus tieferen Hirnbereichen.)

Schülerbuch Seite 241

- ① Lassen Sie sich 4 verschiedene Zahlen im Zahlenraum bis 1 000 in zufälliger Folge nennen und geben Sie diese Zahlen geordnet von klein nach groß wieder. Welcher Gedächtnisteil wird genutzt? Erläutern Sie an diesem Beispiel, wie hierbei neue Informationen mit bestehenden Informationen verknüpft werden.
 - Es wird das Arbeitsgedächtnis genutzt. Beim Ordnen der Zahlen von klein nach groß kommt es zur Zusammenarbeit mit dem Langzeitgedächtnis, in dem Informationen über die Reihung von Zahlen gespeichert sind. Bei der Bearbeitung der Aufgabe werden die gehörten und im Arbeitsgedächtnis befindlichen Informationen mit den Informationen über Zahlengrößen aus dem Langzeitgedächtnis verglichen, damit die Zahlen in die gewünschte Reihenfolge sortiert werden können.

Schülerbuch Seite 243

- ① Beschreiben Sie, welche synaptischen Veränderungen die Informationsspeicherung ermöglichen.
 - Der Informationsspeicherung ermöglicht die Verstärkung bestehender synaptischer Verbindungen zwischen Neuronen oder die Ausbildung neuer Synapsen.
- ② Vergleichen Sie in Abbildung 3, welche Teile des Gehirns beim Wahrnehmen und Erinnern aktiv sind.
 - Bei der Wahrnehmung von Bildern treten ausgedehnte Aktivitäten der primären und sekundären sensorischen Sehfelder in beiden Hemisphären auf (siehe auch Seiten 231, 232). Beim Erinnern ist nur in der linken Hemisphäre ein kleiner Bereich aktiv. Er liegt an der gleichen Stelle, die auch beim Wahrnehmen aktiv ist. Bei der Wahrnehmung von Klängen treten in beiden Hemisphären einigermaßen symmetrisch verteilt an jeweils zwei Stellen Aktivitäten auf. An der Farbwiedergabe ist

erkennbar, dass im dem Bereich mit der größeren Ausdehnung die Aktivität nicht überall gleich intensiv ist.

Beim Erinnern sind nur in der linken Hemisphäre an zwei Orten Aktivitäten registrierbar. Sie befinden sich an der gleichen Stelle, die auch beim Wahrnehmen aktiv werden, jedoch sind sie kleiner.

- ③ Erklären Sie, soweit möglich, die Bedeutung der unten aufgeführten Lerntipps.
- Nicht alle bekannten Regeln lassen sich schlüssig erklären. Hier Erklärungsmöglichkeiten zu einigen Lerntipps:
 - Interesse an der Sache verbessert die Lernleistung.
Die Bereitschaft, sich mit einer Sache zu beschäftigen, verbessert den Speichervorgang. Möglicherweise werden dabei mehr Hinweisreize abgespeichert als bei geringem Interesse am Lerngegenstand.
 - Neues immer wieder mit Bekanntem verknüpfen.
Das verbessert die Speicherung. Bekanntes stellt Hinweisreize dar, mit deren Hilfe Erinnern besser gelingt.
 - Lernstoff portionieren und auf verschiedene Tage verteilen.
Für dauerhaftes Lernen werden im Laufe der Zeit neue synaptische Verknüpfungen angelegt. Dieser Vorgang unterliegt vermutlich gewissen Einschränkungen und kann nicht beliebig intensiviert werden.
 - Gelerntes mehrfach wiederholen.
Mehrfaches Abrufen der gespeicherten Information verbessert die Speicherung.
 - Regelmäßig Lernpausen einlegen
Für dauerhaftes Lernen werden im Laufe der Zeit neue synaptische Verknüpfungen angelegt. Möglicherweise wirken Lernpausen unterstützend für die Ausbildung der dieser Verknüpfungen und wirken daher konsolidierend beim Gedächtnisprozess.
 - Das Gehirn verarbeitet Erfahrungen im Schlaf und bei körperlicher Aktivität. Nach dem Lernen keine Tätigkeiten beginnen, welche die Aufmerksamkeit umlenken (z. B. Computerspielen, aufregende Filme anschauen u. ä.), sondern Sport treiben oder ausruhen.
Emotional stark beanspruchende Aktivitäten führen zur Extinktion. Möglicherweise kommt es nicht zur Konsolidierung frisch gelernter Sachverhalte, indem die Ausbildung zugehöriger synaptischer Verknüpfungen unterbleibt, möglicherweise zugunsten der Ausbildung anderer Verknüpfungen.

Schülerbuch Seite 244/245

- ① Ordnen Sie den Versuchen die jeweiligen Messergebnisse zu und begründen Sie Ihre Zuordnung.

Ver-such	Dia-gramm	Begründung
a	3	Das Axon wird gereizt. Es wird intrazellulär gemessen. Das Schaubild zeigt ein (monophasisches) Aktionspotential.
b	4	Das Axon wird nicht gereizt. Es wird intrazellulär gemessen. Das Schaubild zeigt das zeitlich konstante Ruhepotential.
c	1	Das Axon wird gereizt. Es wird extrazellulär gemessen. Das Schaubild zeigt ein (biphasisches) Aktionspotential.
d	2	Das Axon wird nicht gereizt. Die Glasmikroelektrode befindet sich im umgebenden Medium. Das Schaubild zeigt keine Werte. Es findet keine Messung statt.

- ② Erklären Sie, wie sich das Messergebnis bei Versuch b ändert, wenn in das Axon ein Stoff injiziert wird, der den Aufbau von ATP hemmt und über längere Zeit gemessen wird.
- Wird ein Hemmstoff für die ATP-Bildung verabreicht, steht nach kurzer Zeit kein ATP mehr für die Natrium-Kalium-Ionenpumpe zur Verfügung. Weil die Zellmembran für Ionen nicht ideal selektiv permeabel ist, kommt zur Verminderung der Konzentrationsunterschiede der intra- und extrazellulär ungleich verteilten Ionen. Die Polarisierung der Membran nimmt ab und das Ruhepotential wird langsam abgebaut.
- ③ Vergleichen Sie Bernsteins Annahmen und Folgerungen zu den elektrischen Phänomenen an nicht erregten Nervenzellen mit den heutigen Vorstellungen.
- Die Annahme, dass ...
 - Nerven- und Muskelfasern von einer semipermeablen Membran umgeben sind, ist zutreffend.
 - die Membran im Ruhezustand ausschließlich für positive Kaliumionen durchlässig ist, ist nicht ganz zutreffend. Zwar ist die Permeabilität für Kaliumionen am größten, doch ist im nicht erregten Zustand die Zellmembran auch Natrium- und Chloridionen etwas permeabel.
 - intrazellulär negativ geladene Phosphationen vorhanden sind, welche die Zellmembran nicht durchdringen können, ist teilweise zutreffend. In der Zelle sind Phosphationen vorhanden. Sie treten beispielsweise bei der ATP-Spaltung

auf und werden auch zum Aufbau von Nukleinsäuren benötigt. Da sie in der Zelle vorkommen, müssen sie auch durch die Zellmembran aufgenommen werden können. Es ist daher zu vermuten, dass es für diese Ionen einen selektiven Weg durch die Zellmembran gibt.

- Allerdings sind die Phosphationen nicht die Ionen, welche die negative Überschussladung des Zellinneren im Vergleich zum umgebenden Medium bewirken. Diese negativen Überschussladungen sind an Proteinanionen gebunden, die aufgrund ihrer Größe nicht durch Kanalproteine der Membran hindurch treten können.
- ④ Die Abbildung 2 zeigt drei Diagramme A, B und C. Begründen Sie, welches Diagramm den Verlauf des Aktionspotentials wiedergibt, der zu Bernsteins Theorie passt. Beschreiben Sie die wesentlichen Unterschiede zwischen dem tatsächlichen Verlauf des Aktionspotentials und dem Verlauf nach Bernsteins Theorie. Geben Sie an, wodurch diese Unterschiede zustande kommen. Erläutern Sie, welche zusätzlichen Erkenntnisse erforderlich waren, um von der Bernsteinschen Membrantheorie ausgehend die heute anerkannte Ionentheorie der Erregung zu entwickeln.
- Das Schaubild C zeigt den Verlauf des Aktionspotentials, der nach Bernsteins Theorie zu erwarten wäre. Nach dieser Theorie wird die Zellmembran bei Erregung vorübergehend unselektiv durchlässig für alle Ionen. Das hätte zur Folge, dass keine Ionengradienten mehr bestehen und damit auch keine Spannung mehr zwischen dem intra- und extrazellulären Raum besteht. Tatsächlich bewirkt die selektive Veränderung der Ionenpermeabilität beim Auftreten eines Aktionspotentials (Diagramm B) durch starken Natriumioneneinstrom die Umpolarisation der Zellmembran. Beim Abklingen des Aktionspotentials kommt es zur Hyperpolarisation durch starken Kaliumionenausstrom. Beide Phänomene lassen sich mit der Theorie von Bernstein nicht erklären.
- ⑤ Bernstein prüfte seine Theorie zum Membranpotential an nicht erregten Muskelfasern, indem er die extrazelluläre Kaliumionenkonzentration erhöhte. Erläutern Sie, welche Änderung des Membranpotentials aufgrund seiner Theorie zu erwarten ist und welcher Effekt im Experiment auftritt.
- Nach Bernsteins Theorie ist zu erwarten, dass bei Zunahme der extrazellulären Kaliumionenkonzentration sich das Membranpotential verändert. Je höher die extrazelluläre Kaliumionenkonzentration ist, desto weniger müsste die Membran polarisiert sein, weil Kaliumionen ins Zellinnere diffundieren und hier die negative Überschussladung kompensieren.

Tatsächlich nimmt der Betrag des Membranpotentials mit zunehmender Konzentration extrazellulärer Kaliumionen ab (siehe auch Seite 203).

- ⑥ Erläutern Sie die Bedeutung von Natriumionenkanälen, deren Öffnung gesteuert werden kann.
- Die Natriumionenkanäle im Axon sind spannungsgesteuert. Wird die Zellmembran an einer Stelle depolarisiert, so öffnen sie sich vorübergehend und bewirken den Einstrom von Natriumionen. Es entsteht ein Aktionspotential. Dadurch werden auch Nachbarbereiche depolarisiert, wo sich nun ebenfalls Natriumionenkanäle öffnen usw. Auf diese Weise ermöglichen spannungsgesteuerte Natriumionenkanäle die aktive Ausbreitung des Aktionspotentials längs des Axons.
- ⑦ Erklären Sie die verschiedenen dargestellten Öffnungsmechanismen. Geben Sie für jeden Fall ein Beispiel an.
- Die Abbildung zeigt drei verschiedene steuerbare Membrankanäle.
 - a) Transmittergesteuerter Kanal. Beispiel: Natriumionenkanal oder Chloridionenkanal in der postsynaptischen Membran.
 - b) Spannungsgesteuerter Kanal. Beispiel: Natriumionenkanal oder Kaliumionenkanal in der Axonmembran.
 - c) Mechanisch gesteuerter Kanal. Beispiel: Natriumionenkanal in der Membran von Muskelspindeln.
- ⑧ Zeichnen Sie ein Regelkreisschema für die Regulation der Körpertemperatur beim Menschen und ordnen Sie den Gliedern des Regelkreises die beteiligten Strukturen zu.
- Informationen siehe auch Zettelkasten S. 225
 Führungsglied: Hypothalamus
 Regelglied: Temperaturrezeptoren im Hypothalamus
 Messglieder: Temperaturrezeptoren in Hypothalamus (Rückenmark und Haut)
 Stellglieder (siehe auch S. 225 Aufgabe 3): Haut, Schweißdrüsen, Lunge, Muskulatur
 Regelgröße: Körperkerntemperatur
 Stellgröße(n): Aktivität der Neuronen, die Stellglieder innervieren
 Sollwert: 37°C
 Istwert: Momentane Körperkerntemperatur
- ⑨ Im Gehirn von Kaninchen wurden verschiedene Neuronentypen entdeckt, deren Aktivität von der Hypothalamustemperatur abhängt. Beschreiben Sie, was die beiden Schaubilder A und B darüber aussagen. Entwickeln Sie Hypothesen, welche Körperaktivitäten durch die beiden Neuronentypen gesteuert werden könnten.
- Beide Schaubilder zeigen die Frequenz von Aktionspotentialen in Abhängigkeit der Neuronentemperatur in Hypothalamus. Schaubild A zeigt eine konstante, niedrige Frequenz in Abhängigkeit der Temperatur bis 38,5°C. Bei weiter zunehmender Temperatur

nimmt die Frequenz linear zu. Schaubild B zeigt eine konstante, hohe Frequenz in Abhängigkeit der Temperatur bis 38,5°C. Bei weiter zunehmender Temperatur nimmt die Frequenz linear ab.

Hypothesen:

Schaubild A zeigt Aktivität von Neuronen, die auf Stellglieder wirken, die den Körper kühlen. Zum Beispiel könnte die Atemfrequenz damit gesteuert werden. Bei intensiverer und rascherer Atmung gibt der Körper vermehrt thermische Energie an die Umgebung ab.

Schaubild B zeigt Aktivität von Neuronen, die auf Stellglieder wirken, die den Körper erwärmen. Zum Beispiel könnte die Skelettmuskulatur gesteuert werden. Stärkere Muskelaktivität (z. B. Zittern) hat eine vermehrte Bildung thermischer Energie zu Folge.

- ⑩ Die Abbildung C zeigt den Verlauf von Körperkerntemperatur und Ohrtemperatur eines Kaninchens, das sich bei einer Umgebungstemperatur von 10°C in einem Laufrad bewegt. Beschreiben Sie das Schaubild. Erläutern Sie die biologische Bedeutung des dargestellten Zusammenhangs. Geben Sie eine Erklärung für den Verlauf der Kurve oberhalb einer Körperkerntemperatur von 40,5°C.
- Das Schaubild zeigt, dass anfänglich die Ohrtemperatur des Kaninchens deutlich geringer ist als die Körperkerntemperatur. Ab ca. 39,5°C steigt die Ohrtemperatur plötzlich stark an und bleibt bei weiterem Anstieg der Körperkerntemperatur praktisch konstant. Das Kaninchen bildet beim Laufen viel thermische Energie, die an die Umgebung abgegeben werden muss, damit die Kerntemperatur des Körpers nicht zu sehr ansteigt. Erreichen sie den Wert von ca. 39,5°C, so werden Blutgefäße im Ohr geöffnet. Das führt die zu einer verstärkten Durchblutung des Ohrs und die Ohrtemperatur steigt steil an. Nun wird vermehrt thermische Energie an die Umgebung abgegeben, weil die Temperaturdifferenz zur Umgebung höher ist. Oberhalb von 40,5°C Körperkerntemperatur bleibt die Ohrtemperatur einigermaßen konstant bei etwa 35°C. Das lässt vermuten, dass die Gefäße im Ohr bereits bei 39,5°C Körperkerntemperatur vollständig geöffnet werden und bereits ihre maximale Weite annehmen. Das Ohr ist ein Stellglied (von mehreren) im Regelkreis der Körpertemperatur, das vereinfacht modellhaft betrachtet zwei verschiedene Zustände annehmen kann.

⑪ Benennen Sie die Strukturen I, II, III und IV.

- I: Netzhaut
- II: Sehnerv
- III: Sehnervkreuzung
- IV: Primäres Sehfeld (Großhirn)

⑫ Ordnen Sie die Gesichtsfeldausfälle der drei Patienten den Veränderungen an den Stellen a bis c zu. Begründen Sie Ihre Zuordnungen.

Ge-sichtsfeld-ausfall	Ort der Schä-digung	Begründung
1	c	Vollständiger Ausfall der linken Gesichtsfeldhälfte. Die Signalleitung mit Informationen über die linke Gesichtsfeldhälfte von linkem und rechtem Auge zum Gehirn ist unterbrochen. Nach der Sehnervkreuzung leiten die Nervenfasern nur noch Signale aus einer Gesichtsfeldhälfte. Da Licht aus der linken Hälfte des Gesichtsfelds jeweils auf die rechten Hälften der Netzhaut beider Augen gelangt, ist die Stelle der Schädigung nach der Sehnervkreuzung zu suchen, im rechten Teil des Gehirns.
2	a	Vollständiger Ausfall des rechten Auges, vollständiges Gesichtsfeld mit dem linken Auge wahrnehmbar. Es ist die Signalleitung vom linken Auge zum Gehirn unterbrochen, zwischen dem linken Auge und Sehnervkreuzung.
3	b	Ausfall der linken Gesichtsfeldhälfte auf dem linken Auge und der rechten Gesichtsfeldhälfte auf dem rechten Auge. Betroffen sind die Leitungswege, deren Signale bei der Sehnervkreuzung normalerweise in die jeweils andere Hälfte des Gehirns gelangen. Die Schädigung liegt also im Bereich der Sehnervkreuzung.

- ⑬ Beschreiben Sie eine wesentliche Funktion der Sehnervüberkreuzung.
- Die Sehnervkreuzung bewirkt, dass Signale von beiden Augen, die zu einer Gesichtsfeldhälfte gehören, in jeweils eine Hälfte des Großhirns gelangen.
- ⑭ Im Zwischenhirn befindet sich eine Umschaltstelle, in der die Signale der Sehnerven verarbeitet und weitergeleitet werden. Benennen

- Sie die Umschaltstelle und geben Sie deren Funktion an.
- *Die Umschaltstelle liegt im Thalamus. Der Thalamus hat Filterfunktion und bestimmt, welche der visuellen Informationen zum Großhirn weitergeleitet werden und fokussiert so die Aufmerksamkeit auf bestimmte Teile des Gesichtsfelds. Der Thalamus ist „das Tor zur Hirnrinde“ (s. Seite 227).*
- 15) Vergleichen Sie das Schaubild 1 mit den Erregungen, die an Synapse A eintreffen. Erklären Sie den Unterschied.
- *Schaubild 1, Synapse A aktiv:
Die Frequenz der Aktionspotentiale im präsynaptischen Neuron ist größer als im postsynaptischen Neuron. Ein einzelnes präsynaptisches Aktionspotential erzeugt ein so schwaches EPSP, das kein postsynaptisches Aktionspotential auslösen kann. Erst infolge zeitlicher Summation kurz nacheinander entstehender EPSP kann ein postsynaptisches Aktionspotential entstehen.*
- 16) Erläutern Sie, das Zustandekommen der Messergebnisse, der Schaubildern 2, 3 und 4.
- *Schaubild 2, Synapse B aktiv:
Obwohl Synapse B aktiv ist, entsteht kein postsynaptisches Aktionspotential. Das EPSP von Synapse B reicht nicht aus, um ein postsynaptisches Aktionspotential auszulösen. Synapse B ist weiter vom Axonhügel entfernt als Synapse A. Da postsynaptische Erregungen nur passiv unter Abschwächung bis zum Axonhügel geleitet werden, wird hier die Membran nicht bis zur Auslöseschwelle depolarisiert.
(Alternativ könnte es sich bei Synapse B auch um eine hemmende Synapse handeln, was jedoch nach Analyse von Schaubild 3 auszuschließen ist.)*
 - *Schaubild 3, Synapse A und B aktiv:
Beide Synapsen erzeugen postsynaptische Aktionspotentiale, deren Frequenz höher ist als die der postsynaptischen Aktionspotentiale in Schaubild 1.
Beide Synapsen sind erregende Synapsen. Neben zeitlicher Summation der EPSP findet auch räumliche Summation der EPSP statt. Die postsynaptischen Erregungen, die von zwei Orten ausgehen, überlagern sich am Axonhügel und depolarisieren die Membran stärker als bei alleiniger Aktivität von Synapse A. Infolge ist die Frequenz der weitergeleiteten Aktionspotentiale höher.*
 - *Schaubild 4, Synapse A, B und C aktiv:
Obwohl alle drei Synapsen aktiv sind, entsteht kein postsynaptisches Aktionspotential. Die Synapsen A und B wirken erregend und könnten bei gemeinsamer Aktivität Aktionspotentiale hervorrufen. Das bedeutet, dass Synapse C eine hemmende Synapse ist. Ihre Aktivität führt zu IPSP, die den EPSP der Synapsen A und B entgegen wirken. Am Axonhügel wird die Membran nicht mehr bis zur Auslöseschwelle depolarisiert; es entsteht kein Aktionspotential.*

Evolution

Ökosysteme und Biodiversität

Schülerbuch Seite 249

- ① Abb. 3 zeigt die europäische und die japanische Kohlmeise. Beschreiben Sie Möglichkeiten, wie man entscheiden kann, ob die Kohlmeisen einer gemeinsamen Art angehören.
- *Männliche und weibliche Tiere beider Arten werden gemeinsam gehalten. Wenn japanische und europäische Kohlmeisen gemeinsam fruchtbare Nachkommen erzeugen, gehören sie zu einer gemeinsamen Art. (Biologischer Artbegriff)*
- ② Liger sind Nachkommen von Tiger und Löwe, die sich im Zoo kreuzen lassen. Begründen Sie, warum man Tiger und Löwen dennoch als verschiedene Arten betrachtet.
- *Löwe und Tiger haben so viele unterschiedliche Merkmale z. B. Fellfärbung, Fellmusterung u. Lebensweise, so dass sie aus diesem Grund zu zwei verschiedenen Arten gezählt werden. (Morphologischer Artbegriff)*
- ③ Einzeller, wie z. B. die Amöben, pflanzen sich durch Zellteilung fort. Begründen Sie anhand der Artdefinitionen, warum es sich bei allen Nachkommen um die gleiche Art handelt.
- *Biologischer Artbegriff: Alle Nachkommen sind genetisch identische Klone. Somit können sie sich gegebenenfalls auch untereinander kreuzen. Morphologischer Artbegriff: Da alle Nachkommen identische Klone sind, stimmen sie in wichtigen Merkmale überein.*

Schülerbuch Seite 251

- ① Beschreiben Sie die Variabilität der Falter.
- *Bei gleicher Färbung unterscheiden sich die Falter in der Musterung der Flügel.*
- ② Begründen Sie, aufgrund welcher Merkmale die Falter zur selben Art gehören.
- *Die Falter stammen alle aus dem gleichen Gelege. Es sind Geschwister, die alle von der selben Mutter abstammen. Daher gehören alle abgebildeten Falter, wie deren Mutter Falter der Art Brauner Bär an.*
- ③ Nennen Sie Klimazonen mit relativ geringer Artenzahl und formulieren sie eine Begründung.
- *Wüstenregionen oder arktische/antarktische Regionen sind Zonen mit extremen und daher lebensfeindlichen Bedingungen. Es gibt dort, abhängig von der Jahreszeit, nur wenige Pflanzen, die an die extremen abiotischen Bedingungen angepasst sind. Da die Pflanzen als Nahrungsgrundlage für die Tiere notwendig sind, ist es wenigen Organismen gelungen, in extremen Klimazonen Fuß zu fassen.*

(Landlebende Wirbeltiere wie Eisbär oder Pinguin nutzen in Polarregionen das Meer als Nahrungsquelle.

- ④ Entwickeln Sie einen Weg, um zu einer geschätzten Anzahl von Arten auf ihrem Schulgelände, einer Wiese oder in ihrem Garten zu kommen. Führen Sie entsprechende Untersuchungen durch.
- *Vorgehensweise wie S. 250 unter Vegetationsaufnahme beschrieben. Mithilfe von Bestimmungsbüchern alle Tiere und Pflanzen in der Aufnahmefläche erfassen und in eine Liste eintragen. Durchführung der Untersuchung.*
- ⑤ Nennen Sie die Namen der für die Welternährung entscheidenden Nutzpflanzen.
- *Reis, Hirse, Weizen, Gerste, Roggen, Mais, Soja, Kartoffel, Zuckerrüben, usw.*
- ⑥ Recherchieren Sie die drei wichtigsten Nahrungsmittelpflanzen und beschreiben Sie die Probleme, wenn die Ernährung der Menschen nur auf diesen drei Pflanzen beruhen würde.
- *Reis, Kartoffeln, Weizen Problem von riesigen Monokulturen, Verlust der genetischen Vielfalt, extrem anfällig gegen Schädlinge. Würde die Ernährung ausschließlich auf diesen drei Nutzpflanzen beruhen, so wäre das keine ausgewogene Ernährungsweise.*
- ⑦ Die Bilder zeigen folgende Pflanzen: Hirse, Kamille, Hanf. Ordnen Sie die Namen den Bildern a) bis c) zu.
- *A: Hanf*
 - *B: Hirse*
 - *C: Kamille*
- ⑧ Ordnen Sie den Pflanzenarten folgende Nutzungskategorien zu: Nahrung, Bausstoff, Kosmetika, Arznei und Droge.
- *Hanf: Droge, Heilmittel, Baustoff (Seile)*
 - *Hirse: Nahrung*
 - *Kamille: Arznei, Kosmetika*
- ⑨ Suchen Sie in Ihrer Hausapotheke alle Medikamente, die aus Lebewesen hergestellt wurden. Stellen Sie Name, Wirkung und Herkunft in einer Tabelle zusammen.
- *Beispiele: Kammilosan, Umckaloabo, Salviathymol, Ringelblumensalbe usw.*

Arznei	Wirkung	Herkunft
Kammilosan	Entzündungshemmend, krampflösend	Kamille, Europa, Nordamerika, Australien
Salviathymol	Schmerzlindern (Hals) Magen-Darm-Beschwerden	Salbei Verbreitung weltweit
Umckaloabo	Antiviral und antibakteriell	Pelargonium Südafrika
Ringelblumensalbe	Entzündungshemmend, fördert die Wundheilung	

- ⑩ Entwerfen Sie ein Informationsblatt über Möglichkeiten des Artenschutzes im Urlaub. Gehen Sie dabei von einer beliebigen Urlaubsregion (Karibik, Mittelmeer) aus oder von bestimmten Lebewesen (Reptilien, Elefanten, Gorillas, Orchideen).
- *Infoblatt als Flyer, Poster oder Flugblatt*

Schülerbuch Seite 253

- ① Erklären Sie, inwiefern das Aktualitätsprinzip heutige Klimamodelle, Frühwarnsysteme oder die Vorhersage ökologischer Folgen erst möglich macht.
- *Klimamodelle, Frühwarnsysteme oder die Vorhersage ökologischer Folgen sind nur möglich, wenn wir davon ausgehen, dass die Gesetze, nach denen die Veränderungen in der Natur erfolgen werden, die gleichen sind, die auch heute gelten (Aktualitätsprinzip). Um zu vernünftigen Aussagen für Vorhersagen oder auch Erklärungen in Bezug auf die Vergangenheit zu kommen, müssen wir die Gesetze kennen, nach denen die Veränderungen abgelaufen sind bzw. ablaufen werden.*
- ② Prüfen Sie die auf Seite 252 als Nr. 2. genannte Hypothese. Beschreiben Sie, welche Befunde diese Hypothese stützen würden.
- *Hypothese 2: Die Arten gelangten zufällig auf verschiedene Inseln des Archipels. Während sie auf den Kontinenten ausgestorben sind, haben sie auf Galapagos überlebt. Es ist nicht besonders wahrscheinlich, dass mehrere ähnliche (nahe verwandte) Arten auf die Inseln verschlagen wurden und alle auf dem Festland ausgestorben sind. Wenn die Hypothese zuträfe, dann sollten die auf dem Kontinent ausgestorbenen Finken noch als Fossilien zu finden sein.*
- ③ Erklären Sie, warum man üblicherweise keine Experimente zur Evolution machen kann.
- *Der Zeitraum, in dem die Evolution abläuft, ist für menschliches Ermessen so riesig, dass wir die Ergebnisse von Experimenten üblicherweise nicht beobachten könnten.*
- ④ Beschreiben Sie die Schnabelform der abgebildeten Finkenarten und geben Sie an, auf welche Nahrung sie angepasst sind.
- *Kleiner Grundfink: Schnabel kurz, spitz, Basis dick, weiche Samen, Insekten
Kaktus Grundfink: Schnabel spitz, Samen und Nektar
Vampirfink: kräftiger spitziger Schnabel, Blut anderer Vögel
Spechtfink: rel. langer Schnabel, spitz, an der Basis nicht besonders breit, Schnabel ist an die Verwendung von Kakteenstacheln, mit denen kleine Insekten aus Rindenspalte der Bäume herausgepickt werden können, angepasst.*

Schülerbuch Seite 255

- ① Stellen Sie die grundlegenden Aussagen von Darwins Selektionstheorie in einem Flussdiagramm dar.

Unterscheiden Sie dabei Beobachtungen von Folgerungen

Beobachtung 1

Lebewesen erzeugen sehr viel mehr Nachkommen als nötig wären, um den Bestand zu erhalten

Beobachtung 2

In der Regel ist die Anzahl der Individuen in einer Population, von saisonalen Schwankungen abgesehen, konstant

Beobachtung 3

In Ökosystemen sind die Ressourcen, z. B. das Nahrungsangebot, begrenzt. Entsprechendes gilt für die Zahl der Schlafplätze und Nistmöglichkeiten

Folgerung 1

Die Überproduktion von Nachkommen führt zwischen den Individuen einer Art zur Konkurrenz. Es kommt zu einem heftigen Wettbewerb um Nahrung, Lebensraum, oder Geschlechtspartner. Die meisten Nachkommen sterben. Nur ein kleiner Bruchteil erreicht das geschlechtsreife Alter und kann sich fortpflanzen.

Beobachtung 5a

Die Individuen einer Population unterscheiden sie sich mehr oder weniger im Körperbau, in der Lebensweise und im Verhalten.

Beobachtung 5b

Die Unterschiede zwischen den artgleichen Organismen werden über Generationen hinweg vererbt.

Folgerung 2

Die Überlebenschancen im Wettbewerb um Umweltressourcen sind nicht zufällig. Sie hängen von den individuell unterschiedlichen Merkmalen ab, die durch Erbanlagen bestimmt werden. Räuber die z. B. schneller und kräftiger als ihre Artgenossen sind, machen öfter Beute und ihr Fortpflanzungserfolg ist größer, da sie ihre Nachkommen besser ernähren und beschützen können.

Lebewesen, die besser angepasst sind, haben größere Überlebenschancen und hinterlassen mehr Nachkommen als ihre weniger gut angepassten Artgenossen. Darwin nannte das „*survival of the fittest*“.

Der Auswahlprozess, der den besser angepassten Organismen größere Überlebenschancen garantiert, heißt *Selektion*.

Folgerung 3

Die Selektion führt im Verlauf vieler Generationen zu einer sich ständig verbessernden Anpasstheit der Lebewesen an ihre Umwelt. Ändern sich die Umweltbedingungen oder werden unbewohnte Lebensräume besiedelt, wie z. B. neu entstandene Vulkaninseln, so können neue Tier- und Pflanzenarten entstehen.

- ② Erklären Sie Darwins Beobachtung, dass fossile Formen, je älter sie sind sich umso stärker von den rezenten unterscheiden.
- *Je mehr Zeit vergangen ist, desto länger konnten die Selektion bei sich ändernden Umweltbedingungen auf die Organismen einwirken, wodurch neue Tiergruppen entstanden, die sich umso stärker von ihren Vorfahren unterscheiden, je älter diese sind.*

Schülerbuch Seite 256

- ① Ordnen Sie die Zitate im Kasten dem Beispiel der Evolution der Giraffen zu.
 - Zitat zuordnen
- ② Analysieren Sie die Aussage in LAMARCKS zweitem Gesetz. Formulieren Sie dieses Gesetz unter Verwendung der Fachbegriffe der Genetik und nehmen Sie dazu Stellung.
 - LAMARCKS zweites Gesetz besagt, dass Eigenschaften, die im Verlauf des Lebens durch Gebrauch erworben oder durch Nichtgebrauch verloren gingen, an die Nachkommen vererbt werden. Das würde bedeuten, dass die Informationen über Phänotypen, die durch Umwelteinflüsse entstanden sind, zur DNA gelangt und dort in einer Änderung der Basensequenz fixiert würde. Der Weg von der DNA zum Protein und der vom Protein(Enzym) zum Phän liefert in umgekehrter Richtung ab.
- ③ Erklären Sie mithilfe der LAMARCKSchen Theorie, dass viele Höhlentiere, wie die Grottenolme, funktionslose Augen haben.
 - In der absoluten Dunkelheit von Höhlen sind die Augen der Grottenolme funktionslos. Durch den ständigen, lebenslangen Nichtgebrauch verkümmern die Organe und verlieren ihre Funktion. Dieser Funktionsverlust wird auf die Nachkommen vererbt.

Schülerbuch Seite 257

- ① Erläutern Sie die Entstehung der Giraffenhälse aus Vorfahren mit kurzen Hälsen im Sinne DARWINs und vergleichen Sie mit der Erklärung LAMARCKs.
 - Laut LAMARCK bestand ein Bedürfnis an, hochgelegene Blätter der Bäume zu gelangen. Dadurch wurden die Hälsen der Tiere länger und dieses neu erworbene Merkmal wurde dann an die Nachkommen vererbt.
Laut DARWIN:
 - Es gab Konkurrenz um Nahrung unter den vielen Nachkommen.
 - Unter den Nachkommen gab es einige, die etwas längere Hälsen hatten.
 - Diese konnten an etwas höher gelegene Blätter gelangen.
 - Sie hatten einen Nahrungsvorteil und wurden von der Selektion bevorzugt. (kurzhalsige Formen hatten nicht genügend Nahrung und starben)
 - Langhalsige Tiere hatten einen größeren Fortpflanzungserfolg und vererbten die längeren Hälsen an die Nachkommen. Unter denen wurden wieder die langhalsigen bevorzugt usw.
 - Nach vielen Generationen sind die heutigen Giraffen entstanden.
- ② Erläutern Sie die Entstehung der typischen Beine und des Schwanzes beim Känguru im Sinne von LAMARCK.
 - Es bestand ein Bedürfnis zur zweibeinigen Fortbewegungsweise. Durch den stärkeren

Gebrauch der Hinterbeine entwickelten sich die Sprungbeine und der Schwanz als Stütze beim Stehen und um beim zweibeinigen Springen das Gewicht des Tieres auszubalancieren. Diese Merkmale wurden vererbt und zum heutigen Känguru weiterentwickelt.

- ③ Schildern Sie die evolutive Entstehung der Spechtzunge im Sinne LAMARCKs und im Sinne DARWINs. Gehen Sie dabei von hypothetischen Vorfahren aus, die keine spezialisierte Zunge besaßen.
 - Lamarckistische Erklärung für die Entstehung der Spechtzunge: Die Spechte haben das Bedürfnis, ihre Nahrung aus der Borke herauszuholen. Sie gebrauchen dazu regelmäßig ihre Zunge, die dadurch allmählich gestärkt wird. Tritt diese erworbene Anpassung bei beiden Geschlechtern der Spechte auf, wird sie an die Nachkommen vererbt.
Darwinistische Erklärung für die Entstehung der Spechtzunge: Die Nachkommen der Spechte variieren hinsichtlich der Länge ihrer Zunge. Sie konkurrieren untereinander um Nahrung. Spechte mit längerer Zunge können sich auch Nahrung erschließen, die tiefer in der Borke sitzt. Sie haben damit einen Selektionsvorteil gegenüber den Spechten mit kürzerer Zunge. Damit erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, dass sie ihr Erbgut an die nächste Generation weitergeben können.
- ④ Stellen Sie sich vor, GEORGES CUVIER (s. S. 258), JEAN BAPTISTE LAMARCK und CHARLES DARWIN hätten sich auf einem fiktiven wissenschaftlichen Kongress getroffen. Sie diskutieren über das Vorkommen flügelloser Insekten der Kergueleninseln. Führen Sie ein erfundenes Streitgespräch mit verteilten Rollen über die Entstehung dieser Insekten.
 - Fiktives Streitgespräch zwischen einem Vertreter der Konstanz der Arten (CUVIER) und Vertretern von zwei verschiedenen Evolutionstheorien (LAMARCK und DARWIN).

Schülerbuch Seite 259

- ① Erläutern Sie, inwiefern die Ergebnisse der Genetik bedeutsam waren für die Weiterentwicklung der darwinschen Evolutionstheorie.
 - Im 19. Jhd. war bis zur Wiederentdeckung der Mendel'schen Gesetze unklar, auf welche Weise die Merkmale vererbt werden. Mit den Gesetzen der Genetik konnte erst erklärt werden, auf welche Weise die beobachtete Vielfalt entstanden ist.

Schülerbuch Seite 261

- ① Machen Sie am Beispiel der Formulierung der Abstammungshypothese die induktive Vorgehensweise deutlich.
 - Aufgrund der Ähnlichkeit von bestimmten heutigen Organismen mit fossilen Funden (z. B. Fische) wird geschlossen, dass sich alle heute lebenden Organismen auf gemeinsame Vorfahren zurückführen lassen.

Das ist ein induktiver Schluss, da eine Aussage über einzelne Beispiele auf das Allgemeine übertragen werden.

- ② Nehmen Sie Stellung zur Aussage eines Fernsehjournalisten: „Wo der Beweis fehlt, da beginnt die Theorie“.
- Hier liegt ein umgangssprachliches Verständnis von Theorie im Sinne eines unbewiesenen Aussagegebäudes vor. Naturwissenschaftliche Theorien sind nicht beweisbar. Ihre Hypothesen werden durch Naturbeobachtung und Experiment geprüft. Sie gelten solange als richtig solange sie der Überprüfung standhalten, d. h. solange sie nicht widerlegt wurde.
- ③ Im Mittelalter gab es einen Streit unter philosophischen Gelehrten wie viele Engel auf den Kopf einer Stecknadel passen. Erklären Sie warum dieses Problem mit naturwissenschaftlichen Methoden nicht geklärt werden kann.
- Naturwissenschaftliche Aussagen beruhen auf Naturbeobachtungen und Experimenten. Engel sind der Beobachtung nicht zugänglich. Es ist sinnlos, Hypothesen zu bilden, da diese nicht überprüft werden können. (Oder: Überprüfbare Aussagen über die Eigenschaften von Engeln sind nicht möglich) Daher ist der genannte Streit der naturwissenschaftlichen Methode nicht zugänglich.

Schülerbuch Seite 263

- ① Fassen Sie die Positionen der Theologen, der Kreationisten, des Intelligent-Design und der Naturwissenschaftler zur Frage „Schöpfung oder Evolution?“ zusammen.
- Kreationisten:
Ausgangspunkt der Aussagen ist das Wort Gottes, so wie es in der Bibel geschrieben steht. Es ist in wörtlichem Sinne wahr und alle Beobachtungen und wissenschaftliche Aussagen werden im Lichte dieser Wahrheit interpretiert und gewertet.

Intelligent Design:

Grundsätzlich wird die Evolution als Tatsache akzeptiert. Die Ursache wird in der Kraft des Schöpfers gesehen, der in der Schöpfungswoche Grundtypen geschaffen hat. Aus denen haben sich dann durch die Evolution die verschiedenen Arten entwickelt.

Theologen:

Die naturwissenschaftlichen und die theologischen Zugänge zur Wirklichkeit sind nicht miteinander vergleichbar. Naturwissenschaftler machen Aussagen über die Welt. Religionen machen Aussagen über den Sinn, der sich dem Menschen dadurch offenbart, dass sein Schöpfer mit ihm in ein einzigartiges persönliches Verhältnis tritt.

Naturwissenschaftler:

Sie befassen sich nicht mit der Frage nach einem transzendenten Schöpfer, da sie mit

naturwissenschaftlichen Methoden nicht erfassbar ist.

Die Hypothesen zu einem Schöpfergott sind nicht überprüfbar. Daher können Fragen nach dem Schöpfer nicht mit naturwissenschaftlichen Methoden beantwortet werden. Sie sind sinnlos. Naturwissenschaftler beschäftigen sich mit Aussagen (Hypothesen) über Lebensprozesse, die überprüfbar sind.

- ② Erklären Sie die verschiedenen zitierten Positionen in Zusammenhang mit den Grundannahmen, auf die sie sich stützen.
- Biblische Aussagen:
Erschaffung und Ende der Welt durch die Schöpfermacht Gottes

Theologische Aussagen:

Grundlage: Bei biblischen Aussagen, im Vergleich zu naturwissenschaftlichen Aussagen, handelt es sich um verschiedene Zugänge zur Wirklichkeit. (s. Aufg. 1)

Kreationistische Aussagen:

Die biblischen Aussagen sind im wörtlichen Sinne wahr. Daher ist die Erde ca. 6 000 Jahre alt.

Intelligent Design:

Grundlage: Grundtypen sind durch Schöpfung entstanden. Innerhalb dieser Grundtypen können neue Arten entstehen und Evolution ist möglich.

Naturwissenschaftler:

Grundlage sind die Naturgesetze, mit deren Hilfe sich die Lebensprozesse wie zum Beispiel die Evolution beschreiben und erklären lassen.

- ③ Ordnen Sie die Zitate auf dieser Seite den Aussagen von MONTAGU zu und begründen Sie ihre Zuordnung.
- „Sicherheit ohne Beweise“:
Das geoffenbarte Wort Gottes ist die göttliche sichere Wahrheit (siehe Scheurer, Whitcomb). Somit braucht es keinen Beweis.

„Beweise ohne Sicherheit“

Die Evolutionstheorie ist durch zahlreiche Befunde belegt und ihre Hypothesen sind sehr gut abgesichert. Dennoch liegt es in der Art der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung, dass eine Theorie nur so lange als richtig gilt, bis sie widerlegt ist. Daher gibt es keine Sicherheit.

- ④ Interpretieren Sie die Karikatur von Darwin.
- Das Bild zeigt einen Affenkörper mit dem Kopf Darwins. Ein Mischwesen aus Mensch und Affe soll die aus Darwins Theorie als skandalös empfundene Schlussfolgerung karikieren, wie absurd die Annahme einer Abstammung des Menschen von affenähnlichen Vorfahren sei.
- ⑤ Erklären Sie, was NEUKAM mit „God of gaps“ meint.
- Gott als Lückenbüßer („God of gaps“) bedeutet, dass sein Wirken immer dann als Erklärung herangezogen wird, wenn es noch keine wissenschaftlichen Erklärung für bestimmte Phänomene gibt.

- ⑥ Vergleichen Sie die naturwissenschaftliche Methode der Theoriebildung (s. S. 260 f.) mit der Vorgehensweise, mit der die Kreationisten ihre Aussagen gewinnen.
- *Ausgangspunkt der Aussagen ist das Wort Gottes, so wie es in der Bibel geschrieben steht. Es ist in wörtlichem Sinne wahr und alle Beobachtungen und wissenschaftliche Aussagen werden im Lichte dieser Wahrheit interpretiert und gewertet. Die biblischen Aussagen liefern das Gedankengebäude und es werden Daten und Begriffe gesucht, die dazu passen.*

Die naturwissenschaftliche Methode beruht auf der Bildung von Hypothesen, die durch Naturbeobachtungen und/oder Experimente formuliert wurden. Die Hypothesen werden ständig durch weitere Beobachtungen und Experimente überprüft. Sind sie in Einklang mit der Hypothese, so wird diese gestützt. Sind sie im Widerspruch, so muss die Hypothese (und damit die Theorie) verworfen werden.

Bei der naturwissenschaftlichen Methode werden die Theorien an die Wirklichkeit angepasst. Kreationisten passen ihre Aussagen über die Wirklichkeit an ihre wörtliche Auslegung der Bibeltexte an.

Mechanismen der Evolution

Schülerbuch Seite 265

- ① Erläutern Sie, warum sich bei der Meiose die Tochterzellen genetisch voneinander unterscheiden, bei der Mitose dagegen nicht.
- *Bei der Mitose werden identische Kopien, (die sich auch genetisch nicht unterscheiden) der Zellen hergestellt. Bei der Meiose kommt es zur Rekombination der Gene (s. S. 13).*
- ② Untersuchen Sie mithilfe des genetischen Codes, welche Basentriplets beim Hämoglobin A die 6. Aminosäure in der DNA codieren können.
- *Glutaminsäure, Glu: m-RNA: GAG oder GAA
DNA: CTC oder CTT*
- ③ Ermitteln Sie, welche und wie viele verschiedene Punktmutationen zu Sichelzellanämie führen können.
- *Valin, Val: m-RNA: GUG; GUA; GUC; GUU
DNA: CAC; CAT; CAG; CAA*
*Um von CTC zu CAC zu kommen ist eine Punktmutation erforderlich
Um von CTT zu CAT zu kommen ist eine Punktmutation erforderlich*

Schülerbuch Seite 267

- ① In den vergangenen 30 Jahren hat man in den Industriegebieten Englands den Umweltschutz weiter vorangetrieben. Die Luft ist viel sauberer geworden. Beschreiben Sie, welche Beobachtungen bei den Populationen der Birkenspanner zu erwarten sind. Unterscheiden Sie dabei zwei Fälle:
- a) KETTELWELL wird widerlegt.
 - b) KETTELWELL wird bestätigt.
- Erläutern Sie die Folgen für die Selektionstheorie, wenn a) oder b) zuträfe.
- *Es wäre denkbar dass sich die Merkmalsverteilung nicht verändert. Kettlewells Hypothese wäre widerlegt. Zu erwarten ist, dass wieder vermehrt helle Formen der Birkenspanner in der Population auftreten. Dementsprechend nimmt der Anteil der dunklen Formen in der Population ab. Träfe a) zu, so wäre die Selektionstheorie widerlegt. Trifft b) zu, was tatsächlich der Fall ist, so tritt kein Widerspruch zur Selektionstheorie auf. Sie wird durch die Beobachtung gestützt.*

Schülerbuch Seite 268

- ① Erläutern Sie die möglichen Folgen für die Verbreitung der Ackerschmalwand, wenn die Durchschnittstemperatur in Europa um 4 K ansteigt.
- *Bei einem Temperaturanstieg um 4 K werden auch Pflanzen mit geringerer Frosttoleranz weiter im Norden vorkommen. So zum Beispiel könnte die Pflanze, die heute in Norditalien vorkommt, in Skandinavien vorkommen.*
- ② Begründen Sie anhand der Abb. 1 und 2 die Beobachtung, dass die Kanderlakerkakteen in relativ großer Entfernung zueinander stehen.
- *In Abb. 2 ist ersichtlich, dass die Kakteen ausgedehnte flache Wurzelsysteme mit einem Durchmesser von etwa 30m besitzen, mit denen sie die geringe Niederschlagsmenge möglichst optimal nutzen können. Um gegenseitige Konkurrenz um das Wasser zu vermeiden, stehen die Kakteen in ausreichend großer Entfernung zueinander.*

Schülerbuch Seite 269

- ① Begründen Sie, warum in Mitteleuropa die Sichelzellanämie eine sehr seltene Krankheit ist.
- *Menschen mit Sichelzellenanämie haben in Regionen, in denen keine Malaria auftritt keinen Selektionsvorteil sondern durch die Krankheit nur Nachteile.*
- ② In Bezug auf das gehäufte Auftreten von Sichelzellanämie in Afrika liest man häufig den Ausdruck „Heterozygotenvorteil“ Erklären Sie diesen Begriff und stellen Sie einen Zusammenhang zu der Verbreitungskarte (Abb. 2) her.
- *Dort wo keine Malaria auftritt, beträgt die Häufigkeit für das Sichelzellenallel nur 1% - 5%. In*

von Malaria betroffenen Regionen kommt es jedoch mit einer Häufigkeit von 10 % bis 20 % vor. Der Grund liegt darin, dass die heterozygoten Träger des Sichelzellallels einen Selektionsvorteil haben, da sie gegenüber Malaria resistent sind. Die heterozygoten Träger des Allels haben gegenüber den homozygoten (Gesunden) einen Vorteil, der als „Heterozygotenvorteil“ bezeichnet wird. Dieser macht sich am Beispiel der Sichelzellenanämie in Malariaegebieten von Afrika bemerkbar. Homozygote Träger des krankmachenden Allels sterben meist schon im ersten Lebensjahr.

- ③ Erklären Sie die Gründe, die zum frühen Tod der homozygoten Träger des Sichelzellallels führen.
- Die Funktion der Erythrocyten ist stark eingeschränkt. Schon bei geringer Belastung werden die Organe des Kranken nicht mehr ausreichend mit Sauerstoff versorgt. Sie werden dadurch schwer geschädigt, was zum frühen Tod (meist im 1. Lebensjahr) führt.

Schülerbuch Seite 270

- ① Nennen Sie Vermutungen, warum Pfauenhennen den unnütz scheinenden Federschmuck der Männchen attraktiv finden und sich bevorzugt mit den besonders prächtigen paaren. Beschreiben Sie die Selektionsnachteile für die Pfauenhähne.
- Männchen mit starkem Federschmuck zeigen dadurch an, dass sie genügend Ressourcen an Energie besitzen, um diese Pracht ausbilden zu können. Sie sind gesund und in einem guten Ernährungszustand und es ist zu erwarten, dass sie diese für das Überleben wichtige Eigenschaften, diese Selektionsvorteile, auch an ihre Nachkommen vererben.
- ② Erklären Sie, welche Faktoren der Ausbildung extremer Unterschiede zwischen den Geschlechtern entgegen stehen.
- Bei der Ausbildung des Federschmucks besteht das Problem, dass er sich im Alltag als Selektionsnachteil erweist, etwa dadurch, dass die Männchen leichter von Raubtieren erlegt werden können. Bei Tieren mit extremem Federschmuck überwiegt dieser Nachteil den Selektionsvorteil bei der Partnerwahl. Sobald in der Bilanz ein Selektionsnachteil entsteht, werden sie geringere Fortpflanzungschancen haben, als ihre nicht ganz so prächtigen, aber dafür weniger auffälligen Konkurrenten.

Schülerbuch Seite 271

- ① Arbeiten Sie mit folgender Variante des Spiels über mehrere Generationen. Für die Reproduktion werden nach dem ersten Absammeln für jedes verbleibende Dreieck ein weiteres in gleicher Farbe bzw. Helligkeit nachgelegt, bevor wieder abgesammelt wird.
- Varianten können den Selektionsdruck (unterschiedliche Zeitvorgaben für das Absammeln) und die Reproduktionsrate (Anzahl der

Dreiecke, die pro verbliebener Dreieckfarbe ergänzt werden) betreffen. Entsprechend wird es unterschiedlich lange dauern, bis sich eine Farbe durchgesetzt hat.

- ② Wechseln Sie nach der zweiten Generation die Unterlage für die verbleibenden Dreiecke.
- Durch den Wechsel der Untergrundfarbe wechselt die Richtung des Selektionsdrucks. Das simuliert eine stabilisierende Selektion, die nicht zu einer Veränderung der Farbanteile in der Population führt, so lange die Population groß genug ist.
- ③ Erläutern Sie, inwieweit das Spiel die Selektionssituation beim Birkenspanner (s. S. 266) nachbildet.
- Auch beim Birkenspanner gibt es eine dunklere und eine hellere Variante, die jeweils auf hellem und dunklem Untergrund unterschiedlichem Selektionsdruck ausgesetzt sind.
- ④ Beschreiben Sie, auf welche Weise sich das Spiel nach EIGEN am Computer z. B. in einer Tabelle verwirklichen lässt, bis eine Farbe dominiert.
- 7 x 7-Gitter in einem Tabellenkalkulationsprogramm entwerfen, Kreisobjekt zeichnen und in die Zellen kopieren, jeweils 12 mit einer von 3 Farben füllen. Mit 2 Würfeln die Koordinaten auswürfeln und Füllfarbe entsprechend der Spielregel ändern. Einige Tabellenkalkulationsprogramme stellen die Funktion ZUFALLSBEREICH (1; 6) zur Verfügung, mit der auch das Würfeln simuliert werden kann. (CD-Tipp: NATURA Simulationen Evolution)
- ⑤ Beschreiben Sie, wie sich die Variante Mutation und die Variante Reproduktionsrate, jeweils auf den Endstand der Farben auswirken.
- Auch bei langer Spieldauer erobert keine Farbe eindeutig das Spielfeld, da die seltenste Farbe immer wieder durch Mutation gestärkt wird. Die Variabilität bleibt also erhalten.

Schülerbuch Seite 272

- ① Vergleichen Sie die ideale mit der realen Population.

	Ideale Population	Reale Population
Individuenzahl	So groß, dass Tod oder Geburt keinen Einfluss auf den Genpool hat	Bisweilen sehr klein, Änderungen haben Einfluss auf den Genpool
Paarungsmöglichkeiten	Unbeschränkt möglich	Beschränkt
Selektionsvorteile bestimmter Genotypen	Keine	Bestimmte Genotypen haben Selektionsvorteile

Mutationen	Nein	Ja
Zu oder Abwanderungen	Nein	Ja
Änderung der Allelhäufigkeit	Nein	Ja
Evolution	Findet nicht statt	Findet statt

- ② Beschreiben Sie ein Szenario, das dazu führt, dass in den oben genannten Schmetterlings-Population im Lauf der Zeit überwiegend helle Formen auftreten.
- Sollten sich die Umwelteinflüsse ändern und die Pflanzen, die von den Schmetterlingen besucht werden, helle Färbungen erhalten, so wären helle Schmetterlinge im Vorteil gegenüber denen, die eine dunkle Flügelfarbe besitzen. Die dunklen würden eher von den Vögeln ergriffen und gefressen als die hellen, die durch ihre Färbung einen Selektionsvorteil besitzen. Helle Schmetterlinge könnten sich häufiger vermehren als die dunklen und in der Population würden mehr und mehr helle Formen auftreten. (s. auch S. 266)

Schülerbuch Seite 273

- ① Bestimmen Sie die Häufigkeiten der Genotypen AA, Aa und aa sowie die absolute Anzahl der Träger der zugehörigen Merkmale.
- Aus Abb. 1 Werte entnehmen: $p = 0,6$; $q = 0,4$
Relative Genotypfrequenz und absolute Anzahl:
Für AA: $p^2 = 0,36$; Anzahl = $0,36 \times 100\,000 = 36\,000$
Für Aa: $2pq = 2 \times 0,6 \times 0,4 = 0,48$; Anzahl = $48\,000$
Für aa: $q^2 = 0,16$; Anzahl = $16\,000$
- ② Abb. 2 zeigt den Verlauf der selben Allelhäufigkeit für eine weitere Population. Vergleichen Sie die beiden Abbildungen. Begründen Sie, welche Abbildung praktisch eine Idealpopulation beschreibt. In welcher Eigenschaft können sich die beiden Populationen unterscheiden?
- Abb. 2: Relative Allelfrequenzen schwanken im zeitlichen Verlauf zufallsbedingt. Keine Idealpopulation; Population wesentlich kleiner als bei Abb. 1. Auch möglich: Starke Zu- und Abwanderungen.
- ③ Begründen Sie, welches der Diagramme die Verhältnisse wiedergibt, die bei der Population im Malariagebiet eintreten werden.
- Allelfrequenz Sichelzellularallele: $q = 0,15$
Allelfrequenz Normalallele: $p = 1 - q = 0,85$
Genotypenfrequenzen: AA: $p^2 = 0,7225$; Aa: $2pq = 0,255$; aa: $q^2 = 0,025$
- ④ Diskutieren Sie die Kurvenverläufe.
- Erklärungen zu Abb. 3: In Malariagebieten besteht ein Selektionsvorteil für den Genotyp

Aa gegenüber dem Genotyp AA. Daher nimmt im zeitlichen Verlauf der Anteil Heterozygoter zu und der des Genotyps AA ab. Der Anteil von Trägern des Genotyps aa nimmt ebenfalls zu, da infolge der Zunahme Heterozygoter auch ein höherer Anteil von Homozygoten mit dem Genotyp aa entsteht. Insgesamt ist diese Gruppe klein, da dieser Genotyp aa nur eine geringe Lebenserwartung hat.

Erklärungen zu Abb. 4: Außerhalb von Malaria-gebieten gibt es keinen Selektionsvorteil für den Genotyp Aa. Die Selektion bewirkt, dass der Anteil der Genotypen Aa und aa in der Population kleiner wird. Der Anteil der Träger des Genotyps AA nimmt daher zu.

- ⑤ Berechnen Sie mit der HARDY-WEINBERG-Regel, wie viele homozygote und heterozygote dunkle Tiere in einer Population mit 10 000 Individuen vorhanden sind.

- Melanismusallel: A
Normalallel: a
1 % der Tiere sind dunkel, 99 % hell gefärbt.
Allelfrequenz von a: $q^2 = 0,99$; $q = \sqrt{0,99} \approx 0,995$
Allelfrequenz von A: $p = 1 - q = 1 - 0,995 = 0,005$
Genotypenfrequenz von Aa: $2pq = 2 \times 0,005 \times 0,995 \approx 0,00995$
Genotypenfrequenz von AA: $p^2 = 0,005 \times 0,005 = 0,000025$
Absolute Anzahl des Genotyps Aa: $0,00995 \times 10\,000 = 99,5$

Es sind 100 heterozygote Tiere in der Population zu erwarten.

Absolute Anzahl des Genotyps AA: $0,000025 \times 10\,000 = 0,25$

Es ist nicht zu erwarten, dass homozygote Tiere in der Population sind.

- ⑥ Abb. 5 zeigt den zeitlichen Verlauf der Genotyphäufigkeiten für den Fall, dass infolge von Luftverunreinigungen die Baumrinden dunkel gefärbt werden. Erklären Sie den Verlauf der Genotyphäufigkeiten, insbesondere Anstieg und Abnahme beim Genotyp Aa.
- Sind die Baumrinden dunkel, so haben die melanistischen Tiere gegenüber den hellen Tieren einen Selektionsvorteil. Der Anteil der hellen Tiere (Genotyp aa) nimmt ab, der Anteil der dunklen Tiere mit dem Genotyp AA steigt. Die Genotypfrequenz der dunkel gefärbten Tiere mit dem Genotyp Aa beträgt nach der Hardy-Weinberg-Regel $2 \times p \times q$. Dieses Produkt ist klein, wenn anfänglich die Allelfrequenz p für das Melanismusallel A klein ist. Es finden also selten helle Tiere einen dunklen Kreuzungspartner. Nimmt die Allelfrequenz p im Verlauf zu, so wächst auch die Genotypfrequenz $2 \times p \times q$. Jetzt finden immer mehr helle Tiere einen dunklen Kreuzungspartner, unter deren Nachkommen heterozygote sind. Im weiteren Verlauf wird infolge der Selektionswirkung die Allelfrequenz p für das Allel A immer größer, jedoch nimmt jetzt q ab. Das Produkt $2 \times p \times q$ wird wieder kleiner. Es nimmt die Anzahl heller Organismen immer weiter ab und dadurch entstehen bei den

- ② Im Gegensatz zur Pflanzenwelt ist die Tierwelt auf dem Galapagosarchipel artenarm. Erklären Sie diesen Sachverhalt.
- *Pflanzen werden meist durch Samen oder Sporen verbreitet. Sie werden entweder mit dem Wind oder der Strömung vom Festland zum Galapagosarchipel verfrachtet. Auch die Ausbreitung durch Vögel ist möglich. Im Gegensatz dazu musste den Landtieren, die die Inseln besiedelten, die Überfahrt auf dem Pazifik gelingen. Die Wahrscheinlichkeit, dass dies mehreren Tieren einer Art gelingt, die für die Bildung einer neuen Population nötig sind, ist gering und das Ereignis somit selten. Entsprechend sind in der Vergangenheit die Inseln von mehr Pflanzenarten besiedelt worden als von Tierarten.*
- ③ Die Finken des südamerikanischen Kontinents haben keine Radiation wie die Finken von Galapagos durchgemacht. Erklären Sie diese Beobachtung.
- *In Südamerika gibt es viele konkurrierende Arten (z. B. Insekten fressende Singvögel, Spechte). Es waren / sind keine entsprechenden ökologischen Lizenzen frei.*
- ④ Zwei Finkenarten ernähren sich von Samen und Früchten. Auf kleinen Inseln lebt jeweils nur eine Art auf größeren beide gemeinsam. Die Grafiken auf dem Rand zeigen die relativen Häufigkeiten verschiedener Schnabeltiefen bei beiden Arten. Erklären Sie, warum sich die Schnabeltiefen der Grundfinkenarten unterscheiden, je nachdem, ob auf einer Insel eine oder zwei Arten leben.
- *Leben auf einer Insel zwei Arten mit ähnlichen Ansprüchen, so ist es im Sinne der Konkurrenzvermeidung für jede dieser Arten vorteilhaft, sich zu spezialisieren, also unterschiedlich große Schnäbel für unterschiedlich harte Früchte zu haben. Lebt auf einer Insel nur eine Art, so ist es für diese vorteilhaft, möglichst alle verfügbaren Nahrungsquellen zu nutzen und einen Schnabel mittlerer Größe zu haben.*

Schülerbuch Seite 278

- ① Die Verringerung einer Populationsgröße führt in der Regel zu einer Abnahme der Variabilität. Begründen Sie diese Beobachtung.
- *Die Verringerung einer Populationsgröße führt in der Regel zu einer Abnahme der Variabilität, da in der kleineren Population bestimmte Allele nicht mehr vertreten sind.*
- ② Dürreperioden, Krankheiten und die Bejagung durch den Menschen haben die Geparden fast ausgerottet. Begründen Sie über den Genpool der Gepardenpopulationen, warum diese gefährdet sind.
- *Die Populationen der Geparde sind sehr klein und die Variabilität der Genpools ist entsprechend gering. Es ist daher zu befürchten, dass sich die Gepardenpopulationen an Veränderungen der Umwelt kaum noch anpassen können.*

Schülerbuch Seite 279

- ① Frühe Fossilien von Beuteltieren stammen aus dem heutigen Nord- und Südamerika. Stellen Sie Hypothesen auf, die erklären, wie Beuteltiere Australien besiedeln konnten. Benutzen Sie dazu die abgebildeten Weltkarten.
- *Zu Beginn des Tertiärs bildeten Südamerika, die Antarktis und Australien noch einen zusammenhängenden Kontinent. Die Beuteltiere konnten Australien über die Landbrücke der Antarktis besiedeln.*
- ② Erklären Sie, wie es kommt, dass heute nur noch in Australien zahlreiche Beuteltiere vorkommen.
- *Durch den längeren Kontakt mit Afrika, die Nähe Nordamerikas, vor allem durch die Ausbildung der mittelamerikanischen Landbrücke, konnten viele Plazentatiere Südamerika erreichen, ihre Konkurrenz führte zum Aussterben vieler Beuteltierarten bzw. dazu, dass viele Nischen von Plazentatieren gebildet wurden. In Australien blieben die Beuteltiere viel länger ohne Konkurrenz.*
- ③ Die untenstehende Abbildung zeigt die adaptive Radiation der Beuteltiere in Australien. Erklären Sie wie es zur Einnischung in die verschiedenen ökologischen Nischen und damit zur Bildung der Beuteltierarten gekommen sein kann.
- *Der Ursprung der der Plazentatiere liegt in Eurasien, sie haben Australien nicht besiedelt. Dort konnten sich die Beuteltiere 50 Millionen Jahre lang entwickeln und die offenen ökologischen Nischen besetzen.*
- ④ Auf den anderen Kontinenten werden die selben Nischen von den modernen Säugetieren, den Plazentatieren besetzt. Nennen Sie zu jedem der unten abgebildeten Tiere ein entsprechendes Plazentatier.

<i>Beutelratte</i>	<i>Ratte</i>
<i>Beutelmull</i>	<i>Maulwurf</i>
<i>Gleitbeutler</i>	<i>Gleithörnchen</i>
<i>Nasenbeutler</i>	<i>Schaf, Hase</i>
<i>Wombat</i>	<i>Dachs</i>
<i>Beutelwolf</i>	<i>Wolf</i>

- ⑤ Beschreiben Sie mithilfe von Abb. 1
- die Entwicklung der Zahl der Säugetierfamilien in beiden Teilkontinenten,
 - die Entwicklung der Zusammensetzung der Faunen aus Tieren unterschiedlichen Ursprungs.
- a) *Die Zahl der Säugetierfamilien ist einige Zeit (geologische Zeiträume!) nach Bildung der Landbrücke etwa gleich groß wie vor Bildung der Brücke, während und unmittelbar nach der Brückenbildung war auf beiden Kontinenten die Zahl deutlich erhöht. Südamerika beherbergte zu allen Zeiten mehr verschiedene Familien aus Nordamerika.*

- b) Während sich in Nordamerika nur wenige der eingewanderten Familien durchsetzen konnten, besteht heute in Südamerika fast die Hälfte der Säugetierfamilien aus Einwanderern (ursprünglich nordamerikanische Arten).
- ⑥ Entwerfen Sie Hypothesen um folgende Sachverhalten zu erklären:
- Die Zahl der Säugetierfamilien heute ist etwa gleich groß ist wie vor Bildung der Landbrücke.
 - Auf beiden Subkontinenten gab es in dem unmittelbaren Zeitraum vor und nach der Ausbildung der Landbrücke mehr Säugetierfamilien als vorher und nachher.
 - In Südamerika konnten sich zu allen Epochen mehr Säugetierfamilien ansiedeln als in Nordamerika.
 - Mehr nordamerikanische Familien konnten sich in Südamerika durchsetzen als umgekehrt.
- *Hypothesen z. B.:*
- *Die Zahl der ökologischen Lizenzen / der Nischen ist recht konstant.*
 - *Säugetiere wandern langsam ein. Während in unzulänglichen Gebieten noch die ursprünglichen Säuger lebten, waren in offenen Arealen die Einwanderer schon angekommen.*
 - *Südamerika ist geografisch stärker gegliedert, es hat mehr unterschiedliche Lebensräume als Nordamerika. Daher können mehr Nischen gebildet werden.*
 - *Vielleicht waren die Säugetiere Nordamerikas – das kürzere Zeit als Südamerika von den übrigen Kontinenten isoliert war – schon länger einer größeren Konkurrenz mit anderen Arten und Populationen ausgesetzt und damit im Konkurrenzkampf unterlegen.*

Schülerbuch Seite 280

- ① Erklären Sie die wechselseitigen Vorteile, die Blütenbesucher und die Blütenpflanzen haben.
- *Die Blütenbesucher nutzen den Nektar der Blüten als Nahrungsquelle. Der Vorteil für die Blüten besteht darin, dass beim Blütenbesuch Pollen von Blüte zu Blüte übertragen werden.*
- ② Bei verschiedenen Orchideen haben die Blüten Ähnlichkeit mit Weibchen bestimmter Insekten. Beschreiben Sie die Vorteile für diese Orchideen bestimmte Insektenmännchen anzulocken.
- *Auf diese Weise wird die Orchidee nur von bestimmten Insekten besucht, die bevorzugt wieder Orchideen der gleichen Art besuchen. So wird sichergestellt, dass der Pollen auf Blüten derselben Art übertragen wird und nicht auf artfremden Blüten verloren geht.*
- ③ Erklären Sie, ob es sich bei dem Beispiel aus Aufgabe 2 um Koevolution handelt.
- *Beim Beispiel aus Aufgabe 2 imitiert die Orchideenblüte durch Anpassung im Verlauf*

der Evolution Form und Farbe bestimmter weiblicher Insekten. Die männlichen Insekten werden so angelockt, machen aber keine spezielle Anpassung durch. Da es sich um keine Wechselwirkung zweier sich gegenseitig beeinflussenden Arten handelt, liegt in diesem Beispiel keine Koevolution vor.

Schülerbuch Seite 281

- ① Beobachten Sie auf einer Wiese Blüten besuchende Insekten. Nähern Sie sich vorsichtig. Wenn ein Insekt die Blüte wechselt, so folgen Sie langsam in ausreichendem Abstand.
- ② Verfolgen Sie über einen Zeitraum bis zu 15 Minuten alle Blütenbesuche des Insekts.
- ③ Fotografieren Sie die besuchten Blüten. Vergleichen Sie die Blütenformen und -farben. Gibt es besondere Einrichtungen der Blüten (Farbmuster, Sporne, Hörnchen, Rillen, ...)? Duften die Blüten intensiv? Versuchen Sie, die Blüten einem der unten abgebildeten Gestalttypen zuzuordnen.
- Messen Sie die jeweilige Verweildauer des Insekts an den besuchten Blüten.
 - Bestimmen Sie die besuchten Pflanzen.
 - Fangen Sie nach Ablauf der Beobachtungszeit das Insekt mithilfe des Netzes oder des Exhaustors ein und setzen Sie es in ein Becherglaspenglas. Lassen Sie die Gläser nicht in der Sonne stehen!
 - Betrachten Sie das Tier genau. Skizzieren oder fotografieren Sie es.
 - Bestimmen Sie das Insekt mithilfe der Bestimmungsliteratur und geben Sie die Ordnung, Familie, und wenn möglich die Namen der Gattung und Art an.
 - Notieren Sie alle erkennbaren Merkmale im Bau und Verhalten des Tieres, die zum Sammeln von Pollen und Nektar dienen.
 - Lassen Sie das Tier wieder an dem Ort frei, an dem es eingefangen wurde.
- ④ Beschreiben Sie Anpassungsmerkmale zwischen den besuchten Blüten und den bestäubenden Insekten.
- ⑤ Überlegen Sie, welche Bedeutung die verschiedenen Blütenformen im Hinblick auf Insektenbesuche haben könnten und formulieren Sie Ihre Überlegungen.
- ⑥ Ordnen Sie den unten abgebildeten Blüten die typischen Blütenbesucher zu und begründen Sie Ihre Zuordnung.
- *Aufgaben 1 – 6 sind abhängig von Exkursionsort und Exkursionszeit.*

Befunde und Erkenntnisse der Evolution

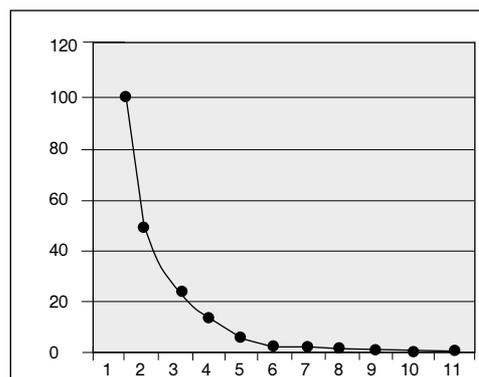
Schülerbuch Seite 283

- ① Nennen Sie Gründe, die es für die Menschen des 18. Jahrhunderts schwer vorstellbar machten, dass in Eisleben (Thüringen) Reste von Meerestieren gefunden werden konnten.
 - Die Menschen hatten keine Vorstellungen von geologischen Vorgängen. Abgesehen vom Wechsel der Jahreszeiten ist eine Veränderung nicht zu beobachten. Die Lebenszeit der Menschen ist zu kurz, um geologische Zeiträume zu überblicken, daher hielten die Menschen die Landschaft für unveränderlich.
- ② Erklären Sie das Fehlen bodenlebender Tiere im Ölschiefermeer.
 - Im Ölschiefermeer war die bodennahe Zone nahezu sauerstofffrei. Daher konnten dort keine Tiere leben.
- ③ Beschreiben Sie Maßnahmen, die dazu führen, dass Ötzi nach seiner Bergung nicht zu verwesen beginnt.
 - Er muss weiterhin den Stoffkreisläufen der Natur entzogen werden. Um das zu erreichen, kann man ihn tiefgefroren unter sauerstofffreier Atmosphäre aufbewahren.

Schülerbuch Seite 285

- ① Erklären Sie, warum gerade am Beginn des Alaufstiegs bei Aichelberg Schiefersteinbrüche liegen, in denen viele Versteinerungen gefunden wurden.
 - Es handelt sich dabei um Fossilien aus dem Schwarzen Jura, der an der Stelle des Alaufstiegs, wie Abb. 2 zeigt, die obersten Bodenschichten bildet.
- ② Erklären Sie, warum die oben beschriebene Radiocarbonmethode zur Datierung vieler Fossilfunde ungeeignet ist.
 - Mit der Radiocarbonmethode sind Fossilien bis zu einem Alter von etwa 55 000 Jahren datierbar. Die meisten Fossilien sind älter. Für ihre Datierung ist die Radiocarbonmethode ungeeignet.
- ③ Zeichnen Sie eine Zerfallskurve von ^{14}C und geben Sie an, nach wie vielen Jahren über 99% der radioaktiven Isotope zerfallen sind.
 - Zerfallskurve mit einer HWZ von 5720 Jahren

HWZ in Jahren	%-Anteil
0	100
5720	50
11440	25
22880	12,5
45760	6,25
91520	3,12
183040	1,56
366080	0,78
732116	0,39
1464232	0,19
2928640	0,09



Nach etwa sieben Halbwertszeiten sind über 99% der radioaktiven Isotope zerfallen.

- ④ Nennen oder beschreiben Sie Anwendungsbereiche der Kalium-Argon-Methode.
 - Die Kalium-Argon-Methode beruht auf dem Zerfall von radioaktivem K-40, der mit einer Halbwertszeit von 1,3 Milliarden Jahren erfolgt. Mit dieser Methode können auch ältere Fossilien datiert werden, die sich mit der Radiocarbonmethode nicht mehr erfassen lassen.
- ⑤ Zeigen Sie am Schichtprofil in Abb. 4 wie die Fossilien datiert werden können.
 - Fossil A ist älter als 151 Millionen Jahre – es liegt unter der Vulkanasche dieses Alters. Fossil B ist zwischen 140 und 151 Millionen Jahre alt. Durch Untersuchung der Sedimente kann das Alter weiter eingegrenzt werden, besonders dann, wenn aus der Beschaffenheit und Schichtung der Sedimente abgeschätzt werden kann, wie lange die Sedimentation gedauert hat.

Schülerbuch Seite 287

- ① Machen Sie Aussagen über die Haut der Vorfahren der Haie und begründen Sie.
 - Die Vorfahren der Haie hatten vermutlich einfache Hautschuppen. Der Grundbauplan der Hautschuppen der Haie wurde als komplexere Struktur im Verlauf der Evolution der Haie aus einfachen Schuppen gebildet.
- ② Beschreiben Sie die Abwandlungen im Grundbauplan der Extremitäten bei Mensch, Salamander, Pferd, Wal, Fledermaus, Fische und Vögeln.
 - Mensch: keine Abwandlung
 - Salamander: kurze Ober- und Unterarmknochen, nur 4 Finger
 - Pferd: Zehen (Finger) auf 1 reduziert (abgesehen von den Griffelbeinen)
 - Wal: Umbildung zu einer Flosse, sehr kurzer Oberarmknochen und kurze Unterarmknochen
 - Fledermaus: Flughaut zwischen langen Fingern aufgespannt, Daumen frei
 - Fische: Umbildung zu einer Flosse, zahlreiche dicht beieinander liegende Fingerknochen, sehr kurzer Oberarmknochen und sehr kurze Unterarmknochen
 - Vögel: Zahl der Mittelhandknochen und Finger reduziert (miteinander verwachsen), Armskelett bildet die Grundlage für den Vogelflügel
- ③ Erklären Sie, inwiefern die Zähne der Haie und die des Menschen einander homolog sind.
 - Die Zähne der Haie und der Menschen stimmen in mehreren besonderen Merkmalen überein: Zahnhöhle, Schmelz, Zahnbein. Das Kriterium der spezifischen Qualität ist erfüllt. Daher sind die Zähne der Haie zu denen der Menschen homolog.

Schülerbuch Seite 288

- ① Vergleichen Sie den Blutkreislauf von Vögeln, Säugetieren und Reptilien. Klären Sie daran Verwandtschaftsbeziehungen.
 - *Reptilien: Herz mit zwei Vorkammern und zwei Hauptkammern, Trennung unvollständig, 1 Aortenbogen nach rechts und links*
 - Vögel: Herz mit zwei Vorkammern und zwei Hauptkammern, Trennung vollständig, Aortenbogen nach rechts*
 - Säuger: Herz mit zwei Vorkammern und zwei Hauptkammern, Trennung vollständig, Aortenbogen nach links*

Es kann angenommen werden, dass die Reptilien die Vorfahren von Vögeln und Säugetieren sind, die sich in zwei getrennten Linien von den Reptilien ausgehend entwickelt haben. Im Verlauf der Evolution zu den Vögeln wurde der linke Aortenbogen reduziert, im Verlauf der Evolution zu den Säugetieren der rechte.
- ② Bei einer Seerosenblüte lässt sich von außen nach innen verfolgen, wie die Blütenblätter immer mehr in Staubblätter übergehen. Ziehen Sie mithilfe der Homologiekriterien begründete Schlüsse aus dieser Beobachtung.
 - *Die Blütenblätter der Seerosen zeigen von außen nach innen einen kontinuierlichen Übergang zu Staubblätter. Blütenblätter und Staubblätter sind durch Zwischenformen miteinander verbunden. Nach diesem Kriterium der Stetigkeit handelt es sich um homologe Organe.*

Schülerbuch Seite 289

- ① Begründen Sie, ob es sich bei der Körperform von Delfinen und Fischen um Homologie oder Analogie handelt.
 - *Die ähnliche Körperform der im Wasser schnell schwimmenden Organismen ist durch den Vorgang der Anpassung entstanden. Es sind konvergente Entwicklungen. Die Körperform ist kein Zeichen von Homologie. Die Fische und die Säugetiere wie die Delfine sind nicht näher miteinander verwandt. Bei der Körperform der Delfine und der Fische handelt es sich um Analogie.*

Schülerbuch Seite 290

- ① Beim Vergleich von Federn der Vögel mit der Flughaut der Fledermäuse trifft keines der Homologiekriterien zu. Begründen Sie diese Aussage anhand der Informationen im Text.
 - *Federn sind leblose Strukturen aus Keratin mit einem charakteristischen Feinbau. Die Haut aus der die Flughaut entstand, ist ein belebtes Organ von völlig anderem Bau. Es gibt keinen gemeinsamen Grundbauplan, keine Übergänge von der einen Struktur zur anderen und keine Übereinstimmung in*

Strukturdetails, daher trifft keines der Homologiekriterien zu.

- ② Erklären Sie, wie die Ähnlichkeit der Flügel von Vogel und Fledermaus entstanden ist.
 - *Die formale Ähnlichkeit ist durch den Vorgang der Anpassung an das Fliegen entstanden. Es sind konvergente Entwicklungen. Die Strukturen sind analog.*
- ③ Vergleichen Sie die Flügel eines Schmetterlings mit denen von Fledermaus und Taube. Erklären Sie, ob es sich um homologe oder analoge Strukturen handelt.
 - *Schmetterlingsflügel sind Strukturen aus Chitin. Keines der Homologiekriterien trifft zu (s. Aufgabe 1). Die Flügel sind durch Anpassung an das Fliegen entstanden. Es sind konvergente Entwicklungen. Die Strukturen sind analog (s. Aufgabe 2). Die formale Ähnlichkeit des Schmetterlingsflügels ist durch Konvergenz entstanden.*

Schülerbuch Seite 291

- ① Nennen Sie die Strukturen im Linsenauge des Tintenfischs, die mit den Augen der Säugetiere vergleichbar sind.
 - *Hornhaut, Linse, Netzhaut, Sehnerv.*
- ② Begründen Sie, ob die Augen der beiden Tiergruppen homolog sind oder nicht. Nennen Sie die Homologiekriterien, die Sie für Ihre Argumentation verwenden.
 - *Lagekriterium: Die beiden Augentypen findet man bei verschiedenen Tierstämmen (Weichtiere, Wirbeltiere), die jeweils eigene Baupläne besitzen. So sitzen die Augen der Wirbeltiere in knöchernen Augenhöhlen. Die Kopffüßler haben dagegen kein Kopfskelett. Das Lagekriterium ergibt keinen Hinweis auf Homologie.*
 - *Stetigkeitskriterium: Wendet man dieses Kriterium auf die beiden Augentypen an, so wird ersichtlich, dass keine Übergangsformen entstehen. Bei den Wirbeltieren entwickeln sich Netzhaut und Pigmentepithel aus einer becherartigen Vorstülpung des Zwischenhirns, während bei den Kopffüßern das gesamte Auge aus einer Epidermeseinstülpung hervorgeht. Danach liegt keine Homologie vor.*
- ③ Machen Sie Aussagen über die evolutive Entwicklung von Augen bei Kopffüßern und bei Säugetieren.
 - *Die beiden Augentypen sind nicht homolog. Es gab also keine gemeinsamen Vorfahren, die Linsenaugen besaßen. Die beiden Augentypen sind im Verlauf der Evolution unabhängig voneinander entstanden.*
- ④ Vergleichen Sie die Blätter der abgebildeten Pflanzen.
 - *Die Blätter des Leberblümchens sind klein und herzförmig, die der Küchenschelle schmal und lang, die des Buschwindröschens sind relativ groß und lappig, tief eingeschnitten.*
- ⑤ Ordnen Sie die Pflanzen in eine Reihe, in Bezug auf die Lage der Hochblätter.
 - *Buschwindröschchen, Küchenschelle, Leberblümchen*

- ⑥ Erklären Sie, wie sich aus der Abbildung ersehen lässt, ob die Kelchblätter des Leberblümchens aus Laubblättern hervorgegangen sind.
- *Beim Buschwindröschen sehen die Hochblätter wie Laubblätter aus. Es lässt sich ein Übergang der Hochblätter zu den Kelchblättern beim Leberblümchen beobachten. Nach dem Kriterium der Stetigkeit sind die Blätter homolog. Demnach sind die Kelchblätter aus Laubblättern entstanden.*

Schülerbuch Seite 293

- ① Erklären Sie eine mögliche Entstehung des in Abbildung 1 dargestellten Atavismus und seine Bedeutung für die Abstammung des Menschen.
- Erklären Sie am Beispiel der Wale die Bedeutung der rudimentären Beckenknochen in Bezug auf deren Vorfahren.
- *Die Gene für eine Körperbehaarung sind bei heutigen Menschen noch vorhanden. Im Allgemeinen kommen sie bei heute lebenden Menschen nicht zur Ausprägung, das sie abgeschaltet sind. In Ausnahmefällen, bei denen die Repression dieser von den Genen aus nicht funktioniert, werden sie phänotypisch sichtbar. Die heutigen Menschen haben diese Gene von ihren Vorfahren geerbt, von denen angenommen wird, dass sie behaart waren. Ein Becken kommt bei landlebenden vierfüßigen (tetrapoden) Wirbeltieren vor (Fische haben kein Becken). Es verbindet den Rumpf mit den hinteren Extremitäten. Das Vorkommen von Beckenrudimenten lässt auf die Abstammung der Wale von tetrapoden Landwirbeltieren (Säugetieren) schließen.*

Schülerbuch Seite 293 — Zettelkasten

- ① Begründen Sie die möglichen Verwandtschaftsverhältnisse der abgebildeten Organismen.
- *Die Embryonen der Wirbeltiere sind in den ersten Entwicklungsstufen einander sehr ähnlich. Betrachtet man die abgestufte Ähnlichkeit, so lässt sich eine Verwandtschaftsreihe Fisch – Molch – Schildkröte – Vogel – Mensch vermuten.*

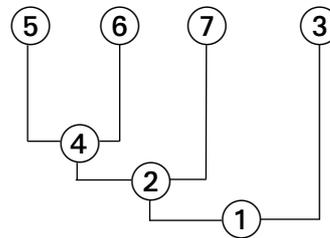
Schülerbuch Seite 295

- ① Erklären Sie die Bedeutung der Brückentiere für die Evolutionstheorie.
- *Nach der Abstammungstheorie haben die heutigen Organismen wie zum Beispiel die Wirbeltiere gemeinsame Vorfahren. Demnach muss es im Verlauf der Evolution bei der Evolution der heutigen Wirbeltierklassen wie Übergangsformen – die Brückentiere – gegeben haben, die man in vielen Fällen, zum Beispiel bei Ichthyostega, auch fossil gefunden hat. Brückentiere sind eine wichtige Stütze für die Abstammungstheorie.*

- ② Begründen Sie anhand der Abbildungen, ob Archaeopteryx ein guter oder ein schlechter Flieger war.
- *Archaeopteryx hatte lange Laufbeine und einen langen Schwanz. Die Flügel hatten noch freie Finger mit Krallen. Die Flugmuskulatur konnte nicht stark ausgebildet sein. Es fehlte ein kräftiges Brustbein als Ansatzstelle für die Muskulatur. Archaeopteryx war vermutlich ein schlechter Flieger, aber ein guter Läufer*
- ③ Beurteilen Sie, ob die Bezeichnung „Urvogel“ für Archaeopteryx berechtigt ist.
- *Die Bezeichnung „Urvogel“ wäre gerechtfertigt, wenn A. ein Vogel wäre und als direkter Vorfahr der heutigen Vögel in Frage käme. Er hat jedoch in vielerlei Hinsicht Ähnlichkeit mit einem zweibeinigen Raubsaurier und kann daher nicht als Vogel bzw. „Urvogel“ bezeichnet werden.*

Schülerbuch Seite 299

- ① Formulieren Sie eine Begründung des „Prinzips der einfachsten Erklärung“.
- *Das Prinzip der einfachsten Erklärung lässt sich damit begründen, dass der Energieaufwand für die Entstehung einer bestimmten Struktur auf diese Weise geringer ist als bei mehrfacher Entstehung eines Merkmals.*
- ② Zeichnen Sie einen möglichen Stammbaum der „Flügelwirbeltiere“. Kennzeichnen Sie die Stellen, an denen demnach Fell und Milchdrüsen entstanden sein müssten.



- 1: Wirbeltier mit 4 Extremitäten
 2: Gleichwarme (gemeinsamer Vorfahr)
 3: Wechselwarme
 4: „Flügeltier“ (Flügel)
 5: Vogel
 6: Fledermaus, Fell und Milchdrüsen
 7: „Flügellose“, Fell und Milchdrüsen

Schülerbuch Seite 300

- ① Beschreiben Sie, wie sich die Verwandtschaft von Rindern und Schafen mithilfe des Präzipitests ohne Blutserum des Menschen ermitteln lässt.
- *Rinderserum in Kaninchen spritzen, das dagegen Antikörper bildet. Antirinderserum mit Rinderserum zusammengebracht: Ausfällung 100%. Antirinderserum mit Schafserum zusammengebracht: Ausfällung vergleichen. Gegebenenfalls noch mit weiteren Tieren (Pferd, Schwein) vergleichen.*

- ② Klären Sie, ob mit dem beschriebenen Verfahren die Verwandtschaft zwischen Menschen und Kaninchen geklärt werden kann.
- *Man entnimmt dem Kaninchen Blut mit Antikörpern gegen das Blut von Menschen. Die Ausfällung bei der Zugabe von Humanserum wird als 100 % festgesetzt. Daraus ist ersichtlich, dass mit diesem Verfahren keine Verwandtschaft zwischen Menschen und Kaninchen ermittelt werden kann.*
- ③ Erklären Sie die Schlussfolgerungen, die sich aus einem Aminosäurevergleich des Insulins von Rind, Schwein und Schaf ziehen lassen.
- *1 Unterschied in Pos. 9 beim Vergleich von Rind und Schaf (mindestens 1 Mutation).
2 Unterschiede in den Positionen 8 und 10 (A-Kette) beim Vergleich von Rind und Schwein. (mindestens zwei Mutationen).
Rinder und Schafe sind näher verwandt als Rinder und Schweine.*

Schülerbuch Seite 303

- ① Berechnen Sie anhand der Werte aus der Tabelle, wann die Abspaltung der übrigen Arten erfolgt ist.
- *Die Abspaltung der Linie zum Orang-Utan von der Linie, die zu den Gorillas und Schimpansen führt, begann vor etwa 16 Millionen Jahren.
Damit entsprechen 3,56 K 16 Millionen Jahren. 1 K entspricht 4,49 Millionen Jahre. Der ΔT_{50H} -Wert zwischen Gorilla und Schimpanse beträgt 2,21 K. Das entspricht einem Zeitraum von 9,93 Millionen Jahren. Vor etwa 9,9 Millionen Jahren hat sich die Linie zwischen Schimpansen und Gorillas getrennt.*
- ② Geben Sie Gründe dafür an, dass bei der DNA-Hybridisierung die DNA der Art B in 1000-fachem Überschuss zugegeben wird.
- *Beim Abkühlen der „geschmolzenen“ DNA-Stücke werden die Stränge wieder miteinander gepaart. Da möglichst viele Hybridstränge entstehen sollen, wird DNA der Art B im Überschuss dazugegeben. So treffen DNA Einzelstränge von A mit großer Wahrscheinlichkeit auf Einzelstränge von B und bilden Hybridstränge.
Die Wahrscheinlichkeit, dass zwei Einzelstränge von A aufeinander treffen und wieder die ursprüngliche DNA bilden, ist im Vergleich dazu gering.*
- ③ Begründen Sie, warum beim Vergleich der mt-DNA der nicht codierende Bereich bevorzugt verwendet wird.
- *Die nichtcodierenden Bereiche treten phänotypisch nicht in Erscheinung. Die Selektion hat somit auf diese DNA-Regionen keinen Einfluss. (Evolution wirkt nur auf Phänotypen.) Somit können sich die Mutationen in den nicht codierenden Bereichen unbeeinflusst weiter vererben.*

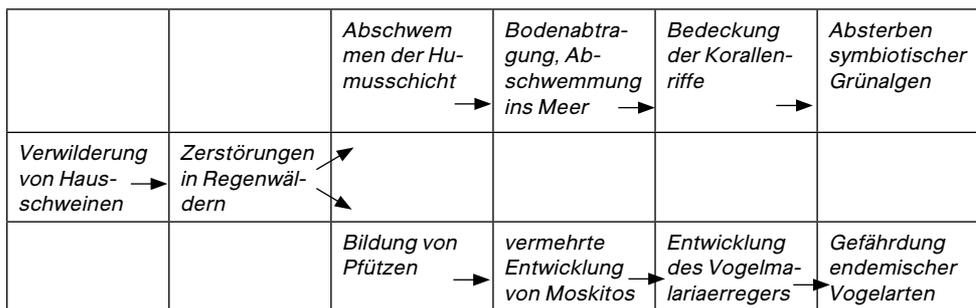
Evolution und Ökosystem

Schülerbuch Seite 305

- ① Erklären Sie, wie es möglich ist ein Lebensbild eines fossilen Ökosystems wie in Abbildung 3 zu entwickeln.
 - Abiotische Faktoren wie Klima, Meere, Sümpfe usw. lassen einerseits aus geologischen Daten gewinnen, andererseits auch aus dem Vorkommen von Pflanzen und Tieren, deren ökologische Bedürfnisse sich aus heutigen Daten herleiten lassen (Aktualitätsprinzip). So kann man über die Kenntnis von Nahrungsketten begründete Erkenntnisse über die Ernährung der Tiere gewinnen. Gestützt werden solche Hypothesen auch durch direkte Funde von Beutetieren in den Mägen der Räuber oder durch Untersuchung von Struktur-Funktionsbeziehungen, zum Beispiel der Gebisse.
- ② Erläutern Sie Ursachen, die zur Veränderung fossiler Ökosysteme geführt haben.
 - Die Hauptursachen sind globale Klimaveränderungen, die zu gravierenden Änderungen der Meeresspiegel geführt haben. Eine der Ursachen ist die Kontinentalverschiebung, durch die sich Lage und Größe der Kontinente veränderte. Das hatte entscheidenden Einfluss auf die Meeresströmungen. Die Abweichung der Erdumlaufbahn um die Sonne ist eine weitere wichtige Ursache.

Schülerbuch Seite 307

- ① Stellen Sie in einem Flussdiagramm die Auswirkungen der Auswilderung der Hauschweine dar.



- ② Begründen Sie, weshalb eingewanderte Festlandarten häufig den Bestand von Inselarten gefährden, jedoch der umgekehrte Fall praktisch nie eintritt.
 - Im Gegensatz zu eingewanderten Festlandarten haben sich endemische Arten auf Inseln unter anderen, meist weniger an Konkurrenz und Feinden (z. B. Fressfeinde, Parasiten) bestimmten Selektionsbedingungen entwickelt. Eingewanderte oder eingeschleppte Festlandarten haben häufig eine höhere Fitness und stellen dann für Inselpopulationen eine Bedrohung dar. Im umgekehrten Fall, in dem Individuen endemischer Arten von Inseln das Festland erreichen, könnten sich unter dem herrschenden Selektionsdruck keine Populationen der Einwanderer entwickeln.
- ③ Nehmen Sie begründet Stellung zu der Frage, ob der Mensch in der Lage wäre, auf Hawaii wieder diejenigen Bedingungen zu schaffen, wie sie vor der Besiedlung herrschten.
 - Eine Wiederherstellung alter Zustände ist nicht erreichbar, da vor allem die biotischen Faktoren, welche die einzelnen Lebensräume bestimmen, nicht entsprechend verändert werden können. Ausgestorbene Arten können nicht wieder eingeführt werden, eingeschleppte Tier- und Pflanzenarten können nicht restlos entfernt werden. Zugewanderte Mikroorganismen lassen sich nur schwer identifizieren oder gar in ihrem Bestand kontrollieren.

Evolution des Menschen

Schülerbuch Seite 311

- ① Stellen Sie tabellarisch die Merkmalsunterschiede zwischen Mensch und Schimpanse zusammen.

Merkmal	Mensch	Schimpanse
Arme und Beine	Arme kürzer als Beine, Aufrechter Gang	Arme länger als Beine, Knöchelgang
Becken	Schüsselförmig	Länglich
Wirbelsäule	Doppel S	Einfach gebogen
Brustkorb	Breit, geringe Tiefe	Brustkorb tief
Schädel	Hinterhauptloch unter dem Schädelschwerpunkt, Gesichtsschädel nicht vorstehend (keine Schnauze), Kinn, Gehirnschädel groß, hochgewölbt, Kiefer parabolisch, Eckzähne etwa gleich groß wie die anderen Zähne, keine Zahnlucke, Kehlkopf liegt tief, komplexes Sprachverhalten	Hinterhauptloch hinter dem Schädelschwerpunkt, Überaugenwülste, Großer Eckzahn, Schnauze, kein Kinn, flache Stirn, kleiner Gehirnschädel, Kiefer U-förmig, Große Eckzähne mit gegenüberliegender Zahnlucke, Kehlkopf liegt hoch, artikulierte Sprache nicht möglich, einfaches Sprachverständnis
Hand	Greifhand, Daumen lang, kann allen Fingern gegenüber gestellt werden, Präzisionsgriff, komplexer Werkzeuggebrauch	Greifhand, Daumen kurz, kein Präzisionsgriff, d. h. nur einfacher Werkzeuggebrauch ist möglich
Fuß	Gewölbt, kein Greiffuß, an den aufrechten Gang angepasst	Platt, Greiffuß

- ② Erläutern Sie an drei Merkmalen den Zusammenhang von Struktur und Funktion.
- *Fußgewölbe beim Menschen: abfedernde Funktion beim aufrechten Gang*
 - *Schüsselförmiges Becken beim Menschen: Trägt die Last des Rumpfes und die Eingeweide*
 - *Greiffuß bei Schimpansen: wichtige Funktion beim Klettern (Umklammern von Ästen)*
- ③ Erklären Sie, warum Schimpansen, wenn sie auf zwei Beinen laufen, mit gebeugtem Körper und abgeknicktem Knie- und Hüftgelenk gehen (s. Abb. 1).
- *Beim Laufen auf zwei Beinen bleibt der Körper gebeugt. Knie- und Hüftgelenk sind dabei abgeknickt. Nur so bleiben die Füße unterhalb des Körperschwerpunktes. (Wären die Füße nicht unterhalb des Schwerpunktes, so würde der Körper umfallen)*

Schülerbuch Seite 313

- ① Vergleichen Sie die Ergebnisse des Stammbaums (Abb. 5) mit der Einteilung der Menschenartigen in drei Familien.
- *Bei der Einteilung der Menschenaffen in eine Familie wird davon ausgegangen, dass Schimpansen und Gorillas näher miteinander verwandt sind als mit dem Menschen. Mensch und Schimpanse haben einen $\Delta T_{50}H$ -Wert von 1,63 K. Schimpanse und Gorilla haben einen $\Delta T_{50}H$ -Wert von 2,21 K. Schimpansen sind nach der Methode der DNA-Hybridisierung näher mit den Menschen als mit den übrigen Menschenaffen verwandt.*
- ② Ordnen Sie mit der Information aus dem Text dem Stammbaum eine Zeitachse zu.
- *Grundlage für die Zeitachse: Laut Text entspricht ein $\Delta T_{50}H$ -Wert von 5 K einem Zeitraum von etwa 21 Millionen Jahren. 0,1 K entsprechen etwa 420000 Jahren.*
- ③ Gibbons haben gegenüber allen in der Tabelle genannten Primaten einen gemittelten $\Delta T_{50}H$ -Wert von 4,8. Übernehmen Sie den Stammbaum (Abb. 5) ins Heft und zeichnen Sie den Gibbon mit ein.
- *Gibbon einzeichnen*

Schülerbuch Seite 315

- ① Stellen Sie die Merkmale zusammen, die zur Annahme führen, dass Australopithecus afarensis sowohl aufrecht gehen als auch gut klettern konnte.
- *Merkmale für den aufrechten Gang: Kniegelenke, Becken, Lage des Hinterhauptlochs*
 - *Merkmale für gutes Klettern: Relativ kurze Beine, gebogene Zehen, gebogene Finger (s. Abb. 2)*
- ② Erklären Sie, warum Paranthropus boisei auch als „Nussknackermensch“ bezeichnet wird.
- *Die Umstellung der Ernährung auf harte Pflanzenkost in der Savanne machte es erforderlich, einen kräftigen Kauapparat auszubilden.*

Die Zähne und der Kiefer waren groß. Er musste von einer kräftigen Kaumuskelatur bewegt werden, die mit großer Kraft die harte Nahrung zerbeißen konnte („Nussknacker“). Diese Muskulatur hatte einen großen Muskelquerschnitt und benötigte entsprechend große Ansatzstellen wie zum Beispiel einen kräftigen Scheitellamm. Dementsprechend wirken die Schädel von *Paranthropus massig*. Daher spricht man von „Nussknackermenschen“.
(*Paranthropus* hatte das Problem mit der harten Nahrung fertig zu werden auf biologische Weise gelöst. Die modernen Menschen bearbeiteten ihr Nahrung mit Werkzeugen. Sie lösten das Problem auf kulturellem Wege. Ihre Schädel waren zierlicher als die der *Paranthropus*-Arten)

Schülerbuch Seite 317

- ① Stellen Sie die Gehirnvolumina und den Zeitraum des Vorkommens folgender Arten in einer Tabelle zusammen:
Australopithecus, *H. habilis*, *H. erectus*, *H. neanderthalensis* und *H. sapiens*.

Name	Vorkommen	Gehirnvolumen
<i>Australopithecus</i>	Vor 4,25 bis 2 Millionen Jahren	400 bis 550 cm ³
<i>H. habilis</i>	Vor 2,5 bis 1,5 Millionen Jahren	500 bis 650 cm ³
<i>H. erectus</i>	Vor 2 bis 0,1 Millionen Jahren	850 bis 1300 cm ³
<i>H. neanderthalensis</i>	Vor 220 000 bis 28 000 Jahren	1200 bis 1750 cm ³
<i>H. sapiens</i>	Vor 150 000 - 200 000 Jahren bis heute	1450 cm ³

- ② Formulieren Sie die in Abbildung 2 dargestellten Zusammenhänge in einem Text.
– Durch die Entwicklung zum aufrechten Gang wurden die Hände frei für die Herstellung von Werkzeugen und den Nahrungstransport auch über weitere Strecken.
Mit den Werkzeugen konnte man Beutetiere (oder Aas) aufschneiden und sich vom dem proteinreichen Fleisch ernähren. Das führte zu einer teilweisen Nahrungsumstellung von pflanzlicher zu tierischer Kost. Verbesserte Werkzeuge führten zu einem verbesserten Jagdverhalten, das ohne Kommunikation nicht denkbar ist. Werkzeugherstellung, Jagd und Nahrungsumstellung führten zu einer stetigen Zunahme des Gehirnvolumens, das nun wiederum z. B. auf die Werkzeugherstellung

und das Jagdverhalten positiv zurück wirkte.

So entwickelte sich die Werkzeugherstellung, das Jagdverhalten, die Sprache parallel zur Zunahme des Gehirnvolumens.
Der aufrechte Gang war die Grundvoraussetzung für die Evolution des Gehirns

Schülerbuch Seite 319

- ① Bewerten Sie die im Text formulierten Hypothesen zum aufrechten Gang.
– Hypothese 1: Problem: der zweibeinige Mensch hat zwar eine gute Übersicht, wird andererseits aber auch selbst von Raubtieren oder vom zu jagenden Wild gesehen.
Hypothese 2: Werkzeugherstellung führt zu einem beträchtlichen Selektionsvorteil. Sie erscheint sehr plausibel
Hypothese 3: Da die allermeisten Tiere der Savanne auf vier Beinen gehen, scheint der Selektionsvorteil, sich auf zwei Beinen energetisch günstiger fortzubewegen, nicht entscheidend zu sein.
Hypothese 4: Nahrungstransport über größere Strecken ist vermutlich von Vorteil
Hypothese 5: Für die Bewertung eines möglichen Vorteils bei der Sonneneinstrahlung gilt das gleiche Argument wie in 3.
② Nennen Sie wichtige Selektionsbedingungen beim Leben in der Savanne im Vergleich zum Leben im Wald.
– Zum Beispiel: Savanne. Im Vergleich zum Regenwald: trocken, weite Sicht, starke Sonneneinstrahlung, wenig Versteckmöglichkeiten, harte Nahrung weit verstreut

Schülerbuch Seite 320/321

- ① Geben Sie an, welche Rückschlüsse man aus diesen Funden auf die Umwelt und die Lebensweise des Steinheimer Menschen ziehen kann.
– Der Fund stammt aus einer Zwischeneiszeit. Dafür spricht u. a., dass die in den selben Schichten gefundenen Tiere nicht für eine Eiszeit charakteristisch sind. Die Funde in den direkt darüber liegenden Schichten sind hingegen typische Vertreter einer eiszeitlichen Fauna. Die am Schädel gefundenen Beschädigungen lassen auf kultische Handlungen schließen. Diskutiert werden z. B. ritueller Kannibalismus oder eine Entnahme des Gehirns für religiöse Riten.
② Welche Rückschlüsse auf die Stellung des *Homo steinheimensis* in der Stammesgeschichte des Menschen lassen die beschriebenen Funde zu?
– Der Steinheimer Schädel wird heute wissenschaftlich als *Homo sapiens* präsaapiens eingeordnet. *Homo sapiens* präsaapiens ist wahrscheinlich ein gemeinsamer Vorfahre von Neandertaler und Jetztmensch.
③ Geben Sie mögliche Erklärungen für die Öffnung der Schädelbasis.

- Die Öffnung der Schädelbasis wird als Hinweis auf einen rituell motivierten Kannibalismus gedeutet. Ähnlich gewaltsam geöffnete Schädel kennt man von Naturvölkern des letzten Jahrhunderts.
- ④ Vergleichen Sie den Unterkiefer des Heidelbergers mit dem eines modernen Menschen und eines Schimpansen. Beschreiben Sie Gemeinsamkeiten und Unterschiede.
 - Der Unterkiefer des Heidelbergers ist robust gebaut und groß, das Kinn ist fliehend, das Gebiss weist keine Zahnücke auf, der Eckzahn ist nicht auffällig groß. Beim Schimpanse steht der Unterkiefer deutlich weiter nach vorne, die Eckzähne sind auffällig groß, eine Zahnücke ist vorhanden. Der Kieferform ist von oben betrachtet U-förmig. Das Kinn ist fliehend. Bei einem modernen Menschen ist der Kiefer kürzer und weniger massig, Eckzähne und Backenzähne sind relativ klein, eine Zahnücke fehlt. Die Kieferform ist parabolisch. Das Kinn ist deutlich vorstehend.
- ⑤ Formulieren Sie die Schlussfolgerungen, die man daraus ziehen kann.
 - Der Heidelberger weist Merkmale auf, die eine Einordnung in die Gattung Homo gerechtfertigt erscheinen lassen. Er wird heute der Art *Homo erectus* zugeordnet. Er kann deshalb nicht als „missing-link“ zwischen Affe und Mensch gelten.
- ⑥ Die Abbildung unten zeigt eine Karte mit der Umwelt der Menschen von Bilzingsleben. Beschreiben Sie mithilfe dieser Abbildung die Umwelt und die Existenzgrundlage dieser Menschen. Nennen Sie Gründe, warum die Menschen sich gerade an diesem Ort angesiedelt haben.
 - Der Bilzingslebener lebte in einer ausgesprochen vielgestaltigen Umwelt. Der Karte sind folgende Vegetationsformen bzw. Biotope zu entnehmen: See, Fluss, Sumpf, Wiesen, Gebüsch, Laubbäume, Mischwald. Diese Umwelt bot ein vielfältiges Nahrungsangebot. Der Bilzingslebener mit seinem relativ weit entwickelten Gehirn war sicher in der Lage, diese Möglichkeiten zu nutzen. Der Bilzingslebener kann sicher der Art *Homo erectus* zugeordnet werden. Er dürfte über ein Gehirnvolumen von ca. 1 Liter verfügt haben.
- ⑦ Rekonstruieren Sie aus der Karte und den Angaben im Text die Lebensbedingungen und die Lebensweise der Menschen von Bilzingsleben.
 - Die Hominiden in Afrika haben vermutlich in trockeneren und wärmeren Gebieten gelebt als der Bilzingslebener. Ihre Umwelt war aber ähnlich vielgestaltig. Dem Wechsel der Jahreszeiten im Lebensraum des Bilzingslebener entspricht ein Wechsel von Trockenheit und Niederschlägen im Lebensraum der afrikanischen Hominiden.
- ⑧ Vergleichen Sie mit den Angaben zu den Lebensräumen anderer Hominiden. Erörtern Sie Unterschiede und Gemeinsamkeiten.
 - Die Karte lässt auf ein wärmeres Klima als heute schließen. Die Travertinfunde bestätigen diese Vermutung. Der Bilzingslebener nutzte das Feuer, fertigte Werkzeuge und baute vermutlich einfache Behausungen. Diese Funde stützen seine Einordnung als *Homo erectus*.
- ⑨ Nehmen Sie zur Aussagekraft beider Methoden Stellung.
 - Beiden Methoden ist der grundsätzliche Nachteil gemeinsam, dass sich die erarbeiteten Hypothesen empirisch nicht überprüfen lassen. Beim „working-back“-Verfahren können durch die sorgfältige Erforschung der gesamten Fundstelle Aussagen mit relativ hoher wissenschaftlicher Aussagekraft gemacht werden. Dies gilt zumindest für die biologischen Eigenschaften des Fundes und seiner Begleitfauna und Begleitflora. Insbesondere Vermutungen zu Verhaltensweisen tragen dagegen stets einen stark hypothetischen Charakter. Beim Analogverfahren ist die Gefahr unzulässiger bzw. nicht zutreffender Analogieschlüsse besonders hoch. „Objektiv“ nachprüfbar Fakten sind nicht vorhanden. Problematisch ist insbesondere die Frage, welche heute noch lebenden Naturvölker nach welchen Kriterien für das Vergleichsverfahren herangezogen werden. Nicht zu überprüfen ist die Tatsache, ob die Lebensumstände des betrachteten Naturvolkes wirklich denen der fossilen Hominiden entsprechen. Hinweis: Als Beispiel bietet es sich an, die verschiedenen evolutionsökologischen Modelle mit den Schülern zu erarbeiten:
 - Jäger-Modell
 - Nahrungsteilungsmodell
 - Sammler-Modell
 - Paarbindungsmodell
 - Ernährungsstrategie-Modell
 - Aasfresser-Modell
- ⑩ Bei manchen Fundstellen sind die Forscher dazu übergegangen, nur Teile der Fundstelle auszugraben und andere Teile unverändert zu belassen. Sie verzichten damit bewusst auf mögliche weitere Funde und damit auf weitere Erkenntnisse. Begründen Sie diese Vorgehensweise.
 - Bei der Ausgrabung von Fossilien wird der Fundort ähnlich wie bei archäologischen Grabungen unwiderruflich zerstört. Lässt man einen Teil der Fundstelle unberührt, gibt man künftigen Forschergenerationen die Möglichkeit, die Fundstelle mit neueren, verbesserten wissenschaftlichen Methoden zu untersuchen bzw. die Fundstelle unter dem Gesichtspunkt neuer Problemstellungen auszuwerten.
- ⑪ Begründen Sie, zu welcher Gruppe von Hominiden man den Fund von Ehringsdorf stellen kann.
 - Die Funde von Ehringsdorf könnten von ihrem Alter her zu den Vertretern des frühen *Homo sapiens* gehören. Dieser gehört möglicherweise zu den Vorfahren des modernen Menschen, evtl. muss er auch zu den Präne-

andertalern gestellt werden. Unsicherheiten in der Datierung erschweren die Klärung dieses Problems.

- ⑫ Ordnen Sie die auf diesen beiden Seite beschriebenen Fossilien gemeinsam mit dem Neandertaler in eine Zeitreihe ein.
- Neandertal; 28 000 bis 220 000 Jahre; Ehringsdorf: 220 000 Jahre; Steinheim: 250 000 Jahre; Bilzingsleben: 300 000 Jahre; Mauer: 650 000 Jahre.
- ⑬ Erläutern Sie Rückschlüsse, die auf die Umwelt und die Lebensweise von Steinzeitmenschen von Bilzingsleben gezogen werden können, wenn am selben Fundort eine große Zahl von Helicigona-Gehäusen gefunden wird.
- Es kann angenommen werden, dass die Steinzeitmenschen sich u. a. von diesen Schnecken aus den umliegenden Wäldern ernährt haben. Aus dem bekannten Vorkommen von Helicigona in Mischwäldern kann geschlossen werden, dass die Menschen von Bilzingsleben in einer Region mit Mischwald gewohnt haben. Es ist ferner plausibel, dass damals das dortige Klima mit dem im heutigen Südosteuropa vergleichbar war, da die Schnecke dort ihr heutiges Verbreitungsgebiet hat.
- ⑭ Helicigona banatica toleriert Umweltveränderungen nur in sehr engen Grenzen. Erklären Sie die Bedeutung dieses Sachverhalts für die Schlussfolgerungen, die in Aufgabe 13 gezogen wurden.
- Die Tatsache, dass Helicigona Umweltänderungen nur in sehr engen Grenzen toleriert, bedeutet, dass sie nur in dem beschriebenen Ökosystem und in keinem anderen vorkommt. Das macht die Schlussfolgerungen aus Aufgabe 12 erst eindeutig möglich.

Schülerbuch Seite 322

- ① Begründen Sie, warum sich mt-DNA gut für Stammbaumanalysen eignet.
- Mitochondrien und damit die mt-DNA werden nur über die Eizelle (also maternal) vererbt. Es gibt daher keine Rekombination der DNA. Selektionsneutrale Mutationen häufen sich mit der Zeit an. Je mehr Mutationen eine Art im Vergleich zu einer anderen Art aufweist, umso weiter liegt die Trennung dieser Arten zurück. Aus mt-DNA-Vergleichen lassen sich genetische Distanzen berechnen und daraus Stammbäume konstruieren.
- ② Vergleichen Sie den Stammbaum auf Seite 323 mit den in Abb. 1 dargestellten Ausbreitungswegen.
- Einer genetischen Distanz von 0,2 entsprechen ca. 100 000 evolutiv getrennte Jahre. Die Afrikaner weisen eine genetische Distanz von 0,2 gegenüber den übrigen Menschen aus, vor 100 000 Jahren wanderten die Menschen also aus Afrika aus. Sie gelangten vor etwa 60 000 Jahren (genetische Distanz 0,12) nach Eurasien und etwas später nach Australien, vor 35 000 Jahren nach Amerika (0,07).
- ③ Stellen Sie die wichtigsten Aspekte des Out

of Africa-Modells und der Hypothese von der multiregionalen Entwicklung gegenüber.

- „Out of Africa“: Homo sapiens entstand vor höchstens 200 000 Jahren in Afrika und verdrängte vor 100 000 Jahren die Neandertaler, die von einer früheren Besiedlungswelle vor etwa 1 Million Jahren von Homo erectus/Homo ergaster abstammten. Es gab in Europa zwei weit auseinander liegende Besiedlungswellen von Homo.
 - Multiregionale Entwicklung: Auch nach der multiregionalen Theorie stammt die Gattung Homo aus Afrika. Homo erectus bzw. ergaster gelangte vor etwa 1 Million Jahren nach Europa und Asien und entwickelte sich dort parallel und unabhängig voneinander weiter zum modernen Menschen, zum Neandertaler und asiatischen Formen. Es gab also nur eine Besiedlungswelle.
- ④ Begründen Sie, nach welcher der Theorien die gemeinsame Wurzel aller Menschen weiter zurück liegt.
 - Nach der multiregionalen Theorie liegt die Wurzel aller Menschen weiter zurück, sie sind also weniger verwandt als nach der „Out of Africa“-Theorie.
- ⑤ Beschreiben Sie anhand des Stammbaums von S. 323 die Entwicklungslinien, die von Australopithecus zu Homo sapiens führen.
 - Australopithecus anamensis, A. afarensis, A. africanus, Homo habilis, H. ergaster, H. heidelbergensis, H. sapiens

Schülerbuch Seite 324

- ① Stellen Sie die wesentlichen Unterschiede im Schädel- und Skelettbau tabellarisch dar.
- Folgende Merkmale sollten in die Tabelle aufgenommen werden: Körperbau, Form des Gehirnschädels, Überaugenwülste, Kinn, Unterkiefer und Zähne, Gehirngröße.
- ② Stellen Sie begründet einen Zusammenhang zwischen Körperbau des Neandertalers, seiner Verbreitung und den damaligen klimatischen Gegebenheiten her.
- Der gedrungene Körperbau bedingt eine relativ kleine Körperoberfläche, sodass die Wärmeabgabe an die Umgebung ebenfalls relativ klein ist. Dies ist als eine Angepasstheit an den eiszeitlichen Lebensraum zu deuten.
- ③ Starb der Neandertaler aus oder kam es zu einer Vermischung mit dem anatomisch modernen Menschen? Stellen Sie die Fakten bzw. Indizien aus der Molekularbiologie und der Paläontologie gegenüber, die einerseits für die Vermischung und andererseits für ein Aussterben sprechen. Begründen Sie Ihre Annahme.
- Die genetischen Untersuchungen sprechen eher für ein Aussterben des Neandertalers. Wäre er vom modernen Homo sapiens assimiliert worden, sollten die Ergebnisse eine nähere Verwandtschaft zu den heute in Europa und dem Nahen Osten lebenden Menschen zeigen als zu der übrigen Erdbevölkerung. Genau das ist aber nicht der Fall.

- ④ Erläutern Sie, weshalb die Befunde der vergleichenden DNA-Untersuchung das Out of Afrika-Modell stützen. Welches Ergebnis wäre nach der Hypothese der multiregionalen Entstehung des heutigen Menschen zu erwarten?
- Das „Out of Africa“-Modell wird dadurch gestützt, dass die genetischen Unterschiede zwischen dem Neandertaler und allen heutigen Menschengruppen der verschiedenen Kontinente etwa gleich groß sind. Das heißt, die heutigen Menschengruppen haben eine homogene genetische Struktur. Diese lässt sich am besten durch einen gemeinsamen Ursprung erklären. Da sich nach der multiregionalen Hypothese die heutigen Menschengruppen gleichzeitig und regional unabhängig voneinander entwickelt haben sollen, wäre eine solche Homogenität nicht zu erwarten.
- ⑤ Analysieren Sie die Verteilung der Hautfarben auf der Erde und erläutern Sie die Evolutionsmechanismen, die zu dieser Verteilung geführt haben.
- Die Verteilung der Hautfarben korreliert stark mit der jeweils regionalen Intensität der UV-Einstrahlung. Sie ist offensichtlich Selektionsfaktor für die Ausbildung der jeweiligen Hautfarbe, sodass in Gebieten mit starker UV-Intensität der UV-Schutz stärker ausgebildet ist. So gibt es stark dunkelhäutige Menschen nicht nur in Afrika, sondern auch in Australien, Indien und Südamerika. Entsprechendes gilt für die übrigen Farbintensitäten.
- ⑥ Abbildung 5 zeigt ein Dendrogramm nach CAVALLI SFORZA. Die Verzweigungen zeigen die genetische Nähe aufgrund der Häufigkeitsverteilung von 120 Allelen. Die Kästchen geben die Hautfarbe der in der Abbildung genannten Menschen an.
- Erläutern Sie mithilfe des Dendrogramms die verwandtschaftlichen Beziehungen zwischen den heutigen Menschen. Vergleichen Sie die Ergebnisse mit dem mt-DNA-Stammbaum (siehe Seite 322).
- Man kann grundsätzlich zwischen Afrikanern und Nichtafrikanern unterscheiden. Innerhalb der Nichtafrikaner sind zwei Großgruppen zu erkennen, die Eurasier und Australasier. Ihre gemeinsamen Vorfahren sind jünger als die von Afrikanern und Nichtafrikanern. Interessant ist, dass die Asiaten keiner gemeinsamen Linie angehören. Vielmehr werden die Südasiaten den Australasiern und die Nordasiaten, welche mit den Amerikanern einen gemeinsamen Ursprung haben, den Eurasiern zugeordnet. Die Europäer bilden gemeinsam mit den Indern die zweite Linie der Eurasier. Diese Ergebnisse stimmen grundsätzlich mit denen überein, die sich aus dem Vergleich der mt-DNA ergaben.
- ⑦ Stellen Sie die Ergebnisse aus Aufgabe 1 und 2 der Einteilung der Menschheit in Großrassen gegenüber und nehmen Sie eine vorläufige Bewertung vor.
- Die Einteilung in die Großrassen Negride, Asiater, Europide und Australide lässt sich mit

den neueren Forschungsergebnissen nicht vereinbaren, da die Verteilung der Hautfarbe und die auf genetischen Daten beruhenden Stammbäume nicht mit den Großrassen zur Deckung zu bringen sind. Die Stammbäume liefern ein wesentlich differenzierteres Bild.

- ⑧ Rasse ist „ein soziales Konstrukt – mehr Ausdruck sozialer Zuordnungen als ein Spiegelbild biologischer Unterschiede“
Nehmen Sie Stellung zu diesem Zitat von CRAIG VENTER.
- CAVALLI SFORZA hat festgestellt, dass es sinnlos ist, in biologischem Sinne von Rassen zu sprechen. Der Rassenbegriff ist vielmehr Ausdruck von sozialer und politischer Zuordnung.
- ⑨ Fassen Sie begründet zusammen, weshalb die Einteilung der Menschen in „Rassen“ nicht haltbar ist.
- Da die traditionelle Einteilung in Großrassen vor allem auf dem Vergleich äußerer Merkmale beruht, wird nur ein kleiner Teil der Gene für den Vergleich erfasst. Die äußeren Merkmale sind meist als Anpassungen an klimatische Bedingungen zu deuten. Die DNA-Analysen erfassen jedoch einen wesentlich größeren Querschnitt an Genen, vor allem auch Gene, die nicht äußerlich sichtbare Merkmale betreffen. Zudem unterscheiden sich die Menschen nur in einem kleinen Teil ihrer Gene. Dieses und die unter 1 bis 4 genannten Fakten lassen sich nicht mit der Einteilung in Rassen vereinbaren.

Schülerbuch Seite 327

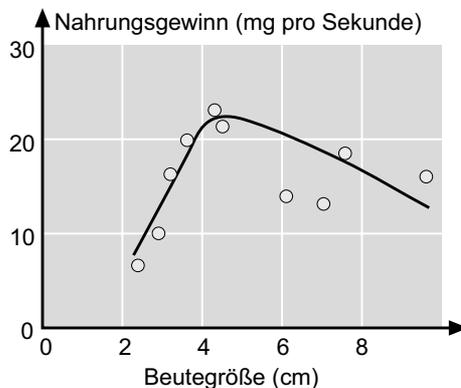
- ① Ordnen Sie die Steinzeitmenschen, die Kunstwerke geschaffen haben, einer der Ihnen bekannten Menschenarten zu und begründen Sie die Zuordnung.
- Um solche Kunstwerke herstellen zu können, bedarf es einer beträchtlichen Intelligenz, verbunden mit handwerklicher Geschicklichkeit. Eine wichtige Voraussetzung dafür ist ein gut ausgebildetes Großhirn, so wie es Homo sapiens besitzt.
- ② Formulieren Sie plausible Hypothesen, zu welchem Zweck unsere Vorfahren Kunstwerke geschaffen haben.
- Aus der Tatsache, dass viele der Kunstgegenstände klein sind und eine Art Öse haben, könnte man schließen, dass sie als Schmuck (Anhänger o. ä.) Verwendung fanden. Ferner kommen noch Frauenfiguren als Fruchtbarkeitssymbole, Tiere als Amulette zur Beschwörung bei der Jagd und Tier-Mensch Darstellungen als Darstellung von Göttern in Frage. Figürliche Darstellungen, die zu diesen Zwecken dienen, sind aus vielen Kulturen des Homo sapiens bekannt.

Schülerbuch Seite 328/329

- ① Formulieren Sie allgemein das Aktualitätsprinzip von LYELL.
- LYELL formulierte ein Prinzip, um die Verän-

derungen während der Erdgeschichte zu erfassen. Es beruht darauf, dass die Erdgeschichte eine „ununterbrochene, kontinuierliche Abfolge von physikalisch zu beschreibenden Ereignissen war, welche Gesetzen unterliegen, die auch heute noch wirksam sind“. Danach galten in der Vergangenheit die gleichen Naturgesetze, die auch heute aktuell noch gültig sind.

- ② Man beobachtet heute, dass bei Vulkanausbrüchen Lavaströme von flüssigem Gestein zu Tal fließen und nach dem Erkalten wellenförmige Formationen bilden (s. Abb. 1). Beschreiben Sie die Schlussfolgerungen aus dem Aktualitätsprinzip, wenn in Gesteinsformationen, die viele Millionen Jahre alt sind, solche wellenförmige Strukturen zu finden sind.
 - Da die damaligen Gesteinsformationen – dem Aktualitätsprinzip zufolge – nach den gleichen Gesetzen entstanden sind wie die heutigen, so kann man schließen, dass es sich bei dem Gestein um erkaltete Lava handelte.
- ③ Beschreiben Sie die Bedeutung des Aktualitätsprinzips für die Entstehung von fossilen Organismen.
 - Die Bildung von Fossilien lässt sich durch die heutigen Naturgesetze verstehen und erklären.
- ④ Erklären Sie die Bedeutung des Aktualitätsprinzips für DARWIN'S Theorie von der Evolution der Lebewesen.
 - DARWIN hat das Aktualitätsprinzip von LYELL auf die Entwicklung der Lebewesen übertragen. Die Entwicklungsgeschichte des Lebens war eine „ununterbrochene, kontinuierliche Abfolge von zu beschreibenden Ereignissen, welche Gesetzen unterliegen, die auch heute noch wirksam sind“. Damit war es möglich, nicht nur die geologischen Vorgänge im Verlauf der Erdgeschichte sondern auch die Evolution der Organismen auf der Grundlage der heutigen Naturgesetze zu erklären.
- ⑤ Zeichnen Sie ein schematisches Diagramm, das bei Austernfischern die Abhängigkeit zwischen dem Nahrungsgewinn (in mg pro Sekunde) und der Muschelgröße zeigt.



- ⑥ Erklären Sie mithilfe der Synthetischen Evolutionstheorie, die Anpassung der Schnäbel von

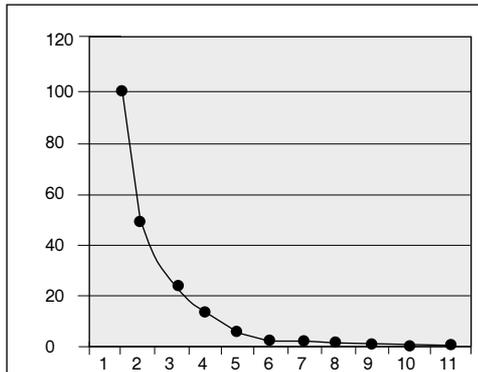
Austernfischern an Muscheln mittlerer Größe.

- Aus dem Diagramm ist ersichtlich, dass bei einer bestimmten Beutegröße der Nahrungsgewinn optimal ist. Hieraus folgt eine Schnabelkonstruktion, die durch Evolutionsprozesse für diese Muschelgröße optimiert wurde.
 - Überproduktion an Nachkommen – Variation von Schnabelformen Ursachen sind Mutation und Rekombination – die am besten Angepassten in Bezug auf die Schnabelkonstruktion überleben, kommen zur Fortpflanzung (Selektion) – die Gene und damit die Merkmale für die optimale Schnabelform breiten sich in der Austernfischerpopulation aus und werden weiter vererbt – der Genpool der Population der Austernfischer ändert (Evolution) sich und damit ändert sich die Merkmalsverteilung, bis eine optimale Anpasstheit erreicht ist.
- ⑦ Kennzeichnen Sie in Ihrer Antwort aus Aufgabe 6 Beiträge, die aus DARWIN'S Theorie stammen.
 - Hellgrau unterstrichen: DARWIN
- ⑧ Beschreiben Sie mögliche Ereignisse, durch die es auf Pingelab zu einer so ungewöhnlichen Zahl von völlig Farbenblinden kommen konnte.
 - Durch Umweltkatastrophen (Erdbeben, Tsunami), Hungersnöte oder durch Seuchen ist die Population auf Pingelab stark dezimiert worden. Durch Zufall waren in der kleinen überlebenden Population die Allele für Farbenblindheit in relativ großer Zahl vorhanden.
- ⑨ Erläutern Sie obiges Beispiel mithilfe des Flaschenhalseffekts. Fertigen Sie dazu eine beschriftete Zeichnung an.
 - Zeichnung siehe Seite 278, Randspalte Bei einer drastischen Reduktion der Populationsgröße kann sich die Zusammensetzung des Genpools durch Zufall verändern. Solche zufälligen Änderungen des Genpools nennt man Gendrift. Manche Allele, wie die für Farbenblindheit nehmen in ihrer Häufigkeit zu, andere können abnehmen oder ganz verloren gehen. Man spricht vom Flaschenhalseffekt.
- ⑩ Beschreiben Sie die ökologische Nische, die vom Kleibervanga besetzt wird.
 - Der Kleibervanga sucht auf der Baumrinde nach Insekten, die er mit seinem Schnabel aus den Ritzen und Spalten holt.
- ⑪ Erläutern Sie, welcher Vogel auf Galapagos die Nische des Kleibervangas besetzt.
 - Die selbe Nische nutzt auf Galapagos der Spechtfink, der allerdings seinen Schnabel dazu nutzt, mit einem Kaktusstachel Insekten aus den Ritzen zu holen oder von der Rinde abzupicken (s. S. 276).
- ⑫ Erklären Sie, wie die verschiedenen Vangawürger auf Madagaskar entstanden sind.
 - Es wird angenommen, dass Vorfahren der Vangawürger auf die abgelegene Insel verschlagen wurden und dort eine kleine Gründerpopulation gebildet haben. Da es auf der Insel keine Nahrungskonkurrenten gab, begannen sie sich stark zu vermehren. Raum

und Nahrung wurden rasch knapp. Kleine Abweichungen in Verhalten und Körperbau machten es Teilpopulationen möglich, neue Nahrungsquellen zu nutzen, d. h. sich neue ökologische Nischen zu erschließen. Durch den Vorgang der ständig sich verbessernden Anpassung an die neuen ökologischen Nischen konnten neue Arten entstehen. Dieser Vorgang wird als adaptive Radiation bezeichnet.

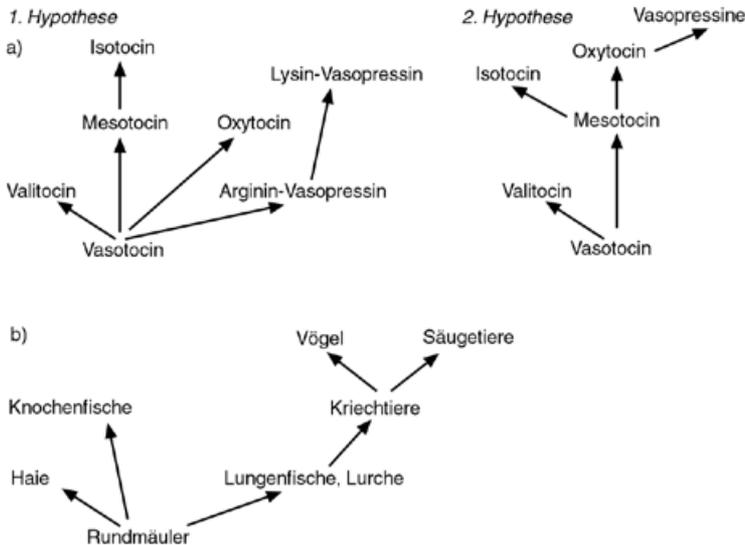
- ⑬ Diskutieren Sie mögliche Gründe, warum der Kurzzehe-Kleibervanga auf Madagaskar ausgestorben ist.
- Es ist möglich, dass er durch neu eingewanderte Nahrungskonkurrenten verdrängt wurde oder durch eingewanderte Raubtiere, denen er als Beute zum Opfer fiel, und ausgestorben ist. Es wäre denkbar, dass eingewanderte Menschen diesen Vogel aus bestimmten Gründen (Federschmuck?) besonders gejagt haben. Es ist möglich dass Menschen den Lebensraum dieses Vogels zur Gewinnung von Anbauflächen zerstört und ihm so die Lebensgrundlage genommen haben. (vgl. auch das Beispiel Hawaii, Seite 306-307)
- ⑭ Beschreiben Sie die Radiocarbonmethode und zeichnen Sie eine beschriftete Zerfallskurve. Gehen Sie von einer Halbwertszeit von 5700 Jahren aus.
- Durch kosmische Strahlung entsteht in der Atmosphäre das instabile Kohlenstoffisotop ^{14}C (C-14). Es sendet beim Zerfall Betastrahlen aus. Die Halbwertszeit des Zerfalls beträgt ca. 5700 Jahre. In der Atmosphäre liegen 0,03millionstel Prozent des CO_2 als $^{14}\text{CO}_2$ vor. Da sich Bildung und Zerfall die Waage halten, ist das Verhältnis $^{14}\text{CO}_2/^{12}\text{CO}_2$ in der Atmosphäre konstant. Bei der Fotosynthese bauen Pflanzen $^{14}\text{CO}_2$ in ihre Gewebe ein, und zwar im gleichen Verhältnis zum $^{12}\text{CO}_2$, wie es in der Atmosphäre vorliegt. Durch die Nahrungskette gelangt ^{14}C – wieder im selben Verhältnis – in die Konsumenten.

Nach dem Tod eines Lebewesens geht der Zerfall weiter, neues ^{14}C kommt jedoch nicht in den Körper. Die ^{14}C -Konzentration sinkt stetig. Damit sinkt auch die Strahlungsintensität. Durch Messung der Strahlung kann so das Alter eines Fossils bestimmt werden.



- ⑮ Geben Sie an, ob die Radiocarbonmethode auch geeignet ist, um Fundstücke von Australopithecus zu datieren. Begründen Sie.
- Australopithecus-Arten waren vor etwa 1,5 Millionen Jahren ausgestorben. Wegen der kurzen Halbwertszeit des ^{14}C von etwa 5700 Jahren kann das Alter von Fossilien, die älter als 70000 Jahre sind, nicht mehr bestimmt werden. Die noch vorhandene Menge an ^{14}C sinkt unter die Nachweisgrenze.
- ⑯ Vergleichen Sie mithilfe der Abbildung den Flügel von Flugsaurier und Fledermaus.
- Die Flughaut der Flugsaurier wird von einem Finger aufgespannt. Bei den Fledermäusen dienen dazu vier Finger.
- ⑰ Begründen Sie, ob Flugsaurier als direkte Vorfahren der Fledermäuse in Frage kommen.
- Flugsaurier kommen als direkte Vorfahren der Fledermäuse nicht in Frage. Von fossilen Funden weiß man, dass die Säugetiere von kleinen, am Boden lebenden vierbeinigen Sauriern abstammen. (Begründung ist auch über Aufgabe 18 möglich)
- ⑱ Erläutern Sie, ob es sich bei der Vorderextremität von Flugsaurier und Fledermaus um homologe oder um analoge Strukturen handelt.
- Die Knochen und die Flughaut haben zueinander andere relative Lagebeziehungen. In Bezug auf den Flügel treffen die Homologiekriterien nicht zu. Die Flügelkonstruktion der Flugsaurier und der Fledermäuse ist zueinander nicht homolog. Die Flügel haben sich aufgrund der physikalischen Bedingungen des Fliegens konvergent entwickelt. Es sind analoge Strukturen.
- ⑲ Erklären Sie die Entstehung der Flügel beim Flugsaurier mit der Theorie von LAMARCK.
- Bei den Vorfahren der Flugsaurier bestand ein inneres Bedürfnis zum Fliegen. Ein Flügel mit Flughaut entwickelte sich, der durch ständigen Gebrauch weiter entwickelt wurde, bis voll flugfähige Arten entstanden sind. Diese durch Gebrauch erworbene Eigenschaft wurde an die Nachkommen vererbt.
- ⑳ Beschreiben Sie anhand der Abbildung, aus welchen Pflanzenorganen die Ranken beim Kürbis und die Ranken bei der Passionsblume entstanden sind.
- Beim Kürbis findet man Übergangsformen, die eine Bildung von Ranken aus Blättern erkennen lassen. Es sind Blattranken. Bei der Passionsblume entspringt die Ranke aus einer Blattachsel, wie es für Seitensprosse typisch ist. Es handelt sich in diesem Fall um Sprossranken.
- ㉑ Erläutern Sie, ob die Ranken von Kürbis oder Passionsblume homologe oder analoge Strukturen sind.
- Die Ranken bei beiden Pflanzen sind aus verschiedenen Organen, einmal aus Blättern und zum andern aus Seitensprossen gebildet. Demnach handelt es sich um analoge Strukturen, deren Ähnlichkeit durch die gleiche Funktion bedingt ist.

- ⑳ Vergleichen Sie die Aminosäuresequenzen der dargestellten Hormone und gliedern Sie diese in Gruppen.
- Die Vasopressine weisen in Position 3 Phe auf, alle anderen dagegen Ile. Valitocin unterscheidet sich nur in Position 8 von Vasotocin. Isotocin unterscheidet sich von Vasotocin bereits in 2 Positionen (4 und 8). Mesotocin und Oxytocin unterscheiden sich ebenfalls nur in Position 8 von Vasotocin.
- ㉑ Stellen Sie eine mögliche Entwicklungsreihe der Hormone auf und begründen Sie Ihre Anordnung.
- Die zur Verfügung stehenden Daten genügen zur Ermittlung einer Entwicklungsreihe nicht, sondern man kann mehrere Hypothesen aufstellen (siehe Abbildung a)
- ㉒ Erstellen Sie eine hypothetische Entwicklungsreihe der Wirbeltiere.
- siehe Abb. b)
- ㉓ Definieren Sie den Artbegriff.
- *Biologischer Artbegriff*: Gruppe von Individuen, die miteinander fruchtbare Nachkommen haben können.
 - *Morphologischer Artbegriff*: Gruppe von Lebewesen, die in wesentlichen Merkmalen untereinander und mit ihren Nachkommen übereinstimmen
- ㉔ Interpretieren Sie die unterschiedliche wissenschaftliche Zuordnung des Neandertalers zu den Menschen.
- Spricht man von *Homo neandertalensis*, so ordnet man die Neandertaler einer eigenen Art zu und grenzt sie somit gegen den *H. sapiens* ab. Im anderen Fall wird der Neandertaler zu den modernen Menschen *H. sapiens* eingeordnet, was im Namen *H. sapiens neandertalensis* zum Ausdruck kommt.



- ㉕ Die Abb. zeigt verschiedene Schädelfragmente von Neandertalern und von *Homo sapiens*. Ordnen Sie diese jeweils den beiden Menschen zu und begründen Sie Ihre Zuordnung.

<i>Homo sapiens</i>	Neandertaler
	A: Schädel länglich
B: Keine Überaugenwülste	
	C: Kiefer etwas länger
D: Kiefer kurz	
E: Schädel rund	
	F: Überaugenwülste

Netz

Prinzip: Struktur und Funktion

Schülerbuch Seite 331

- ① Stellen Sie Struktur und Funktion für die dargestellten Beispiele tabellarisch zusammen.

	Struktur	Funktion
Molekül	Lipidmoleküle	Sie bestimmen die Membraneigenschaften: Stabilität, Flexibilität und Durchlässigkeit
Zelle	Darmschleimhaut mit Mikrovilli	Vergrößerung der Oberfläche
Organelle	Membran der Mitochondrien mit Enzymen, stark gefaltet	Steigerung der Stoffwechsellistung (durch Oberflächenvergrößerung)
Laubblatt	Gezähnte Klappen mit Klappmechanismus	Fangen von Insekten
Blüte	Sieht aus wie Insekt – mit weiblichem Duftstoff	Lockt Männchen an, die Pollen übertragen
Körpergestalt	Körperform wird durch lap-pige Fortsätze aufgelöst	Tarnung in Seegraswiesen

- ② Erläutern Sie aus dem Bereich der Moleküle ein weiteres Beispiel, an dem das Prinzip Struktur und Funktion erkennbar wird.
- Die Enzyme besitzen als Proteine eine komplizierte Raumstruktur mit einem aktiven Zentrum, an dem die vom Enzym katalysierte Reaktion stattfindet.
- ③ Erklären Sie den Zusammenhang zwischen Proteinbiosynthese, dem hohen Anteil an rauem endoplasmatischem Reticulum und der Bildung von Antikörpern in Plasmazellen.
- Durch die Proteinbiosynthese werden in Plasmazellen an den Ribosomen des rauem ER die Antikörper gebildet und an die Umgebung abgegeben. Werden viele Antikörper gebildet, so ist der Anteil an rauem ER in den Plasmazellen relativ groß.
- ④ Zeigen Sie an speziellen Organen von Blütenpflanzen und Wirbeltieren weitere Zusammenhänge von Struktur und Funktion.
- Blütenpflanzen:
Blüte der Kannenpflanze: Fleischfressende Pflanze mit kannenförmigen Blättern und rut-

schigem Rand, von dem aus Insekten in das Innere der „Kanne“ rutschen und in einem Verdauungssaft landen.
Prächtige Blütenblätter der Blütenpflanzen dienen der Anlockung von bestäubenden Insekten

Wirbeltiere:

Große Backenzähne zum zermahlen der Pflanzenkost bei Wiederkäuern (Rinder).
Form des Vogelflügels sorgt für den Auftrieb beim Fliegen.

- ⑤ Nennen Sie weitere Beispiele für Tarnung im Tierreich. Ordnen Sie diese Beispiele in geeignete Kategorien.
- Zum Beispiel: Zebra oder Tiger mit Streifen, Tintenfische, Chamäleon.
Einordnung: Tiere, die ihre Tarnfarbe der Umgebung anpassen können: Tintenfische, Chamäleon.
Tiere mit unveränderbarer Tarnfarbe: Zebra, Tiger
- ⑥ Im Rahmen des Prinzips von Struktur und Funktion spielt die Vergrößerung von Oberflächen eine bedeutende Rolle. Stellen Sie dazu weitere Beispiele aus der Biologie und der Technik zusammen und beschreiben Sie die jeweilige Funktion.
- Biologie
Innere Lungenoberfläche bei Säugetieren: Vergrößerung der Oberfläche zum Gasaustausch (Sauerstoff, Kohlenstoffdioxid) zwischen Blut und Luftraum bei der Atmung.
Blutkapillaren an der Muskulatur: optimaler Stoffaustausch zwischen Muskelzellen und Blut
Technik
Kühlrippen bei einem Autokühler: rasche Abkühlung durch Wärmeabgabe über die große Oberfläche der Kühlrippen
Heizung: Wärmeabgabe über große Oberflächen eines Heizkörpers

Prinzip: Spezifische Molekülinteraktion

Schülerbuch Seite 333

- ① Erstellen Sie tabellarisch eine Übersicht der dargestellten Molekülwechselwirkungen. Benennen Sie die interagierenden Moleküle bzw. Strukturen sowie die sich einstellende Wirkungen oder Reaktionen.

	Beispiel	Molekül 1	Molekül 2	Wirkung
1.	Enzyme	Enzym	Substrat	Reaktion, beschleunigte Einstellung des Reaktionsgleichgewichts
2.	Viren	Proteinmolekül der Virushülle	Glycoprotein der Zellmembran	Adsorption des Virus; Voraussetzung zur Infektion der Wirtszelle
3.	Immunsystem	Rezeptoren auf B- und T-Zellen, Antikörper (verschiedene IG-Typen)	Antigene (Makromoleküle)	Aktivierung der biochemischen Prozesse der Immunabwehr; Agglutination
4.	Basenpaarung	Purinbase (A, G)	Pyrimidinbase (C, T)	Bildung eines stabilen DNA-Doppelstrangs
5.	Synapse	Neurotransmitter, z.B. Ach, Adrenalin, Serotonin, Glycin	Kanalprotein	Öffnen oder Schließen von Ionenkanälen

6.	G-Protein gekoppelte Rezeptormoleküle	Signalstoffe (primäre Botenstoffe)	Rezeptor	Aktivierung von Kaskaden, Bildung sekundärer Botenstoffe, Beeinflussung von Ionenkanälen und Membranpotential
----	---------------------------------------	------------------------------------	----------	---

- ② Geben Sie soweit wie möglich an, zu welchen Stoffgruppen die interagierenden Moleküle gehören. Prüfen Sie, welche Stoffgruppe besonders häufig auftritt. Geben Sie dafür eine mögliche Erklärung.

	Beispiel	Molekül 1	Molekül 2
1.	Enzyme	Substrat (variabel)	Enzym: Protein, oder Protein mit nichtproteinogenem Anteil
2.	Viren	Proteinmolekül der Virushülle	Rezeptormolekül der Zellmembran: Protein, Glycoprotein
3.	Immunsystem	Rezeptoren auf B- und T-Zellen, Antikörper: Proteine	Makromoleküle: variabel, jedoch häufig Proteine oder Glycoproteine
4.	Basenpaarung	Purinbase (A, G)	Pyrimidinbase (C, T)
5.	Synapse	Transmitter: Variabel	Kanalprotein
6.	G-Protein gekoppelte Rezeptormoleküle	Gasförmige Stoffe: Variabel	Proteine (Transmembranproteine mit sieben Alpha-Helix-Ab schnitten)

Stoffgruppen

Häufig treten Proteine auf. Die Strukturen von Proteinen sind sehr vielfältig aufgrund hoher Variabilität der Primärstruktur.

- ③ Zeigen Sie an der DNA, wie die Aufklärung der molekularen Struktur einen Beitrag zum Verständnis genetischer Prozesse geliefert hat.
- Die Paarung der komplementären Basen in der DNA hat bereits WATSON und CRICK zu Hypothese angeregt, dass die Verdopplung der DNA auch durch diesen Mechanismus gesteuert sein könnte. Sie haben vor dem experimentellen Nachweis vermutet, dass die Replikation der DNA semikonservativ abläuft, wobei sich an die freien Basen die jeweils komplementären Basen anlagern.
- ④ Signalstoffe können fett- oder wasserlöslich sein. Begründen Sie, weshalb G-Proteingekoppelte Rezeptormoleküle vor allem der Erkennung wasserlöslicher Signalstoffe dienen.
- Wasserlösliche Signalstoffe können die Doppellipidschicht der Zellmembran nicht durchdringen. Gibt es für sie keine speziellen Transportmechanismen, so können sie nicht in Zellen eindringen. G-Protein gekoppelte Rezeptormoleküle sind in der Lage, extrazellulär vorliegende Stoffe zu binden. So kann eine Zelle Signalstoffe erkennen, die nicht in die Zelle gelangen können.
- ⑤ Viren können nur bestimmte Wirtszellen befallen. Erläutern Sie die Ursache dieser Spezifität.
- Damit Viren eine Wirtszelle infizieren können, müssen sie an die Zelle binden. Das ist nur möglich, wenn eine Zelle an ihrer Oberfläche Moleküle trägt, die sich mit einem Molekül der Virushülle verbinden. Fehlt ein solches Rezeptormolekül an einer Zelle, so ist keine Bindung möglich und es kommt nicht zur Infektion.
(Beispielsweise ist bei einem kleinen Anteil der europäischen Bevölkerung der CCR5-Rezeptor (Cystein-Cystein-Chemokin-Rezeptor 5) verändert. An diesen dockt normalerweise das HIV Typ 1 an. Menschen, die homozygot die Anlagen für diese CCR5-Variante tragen, sind nach derzeitiger Erkenntnis immun gegen die Infektion mit bestimmten HI-Viren.)
- ⑥ Es gibt die Befürchtung, dass Stämme von Vogelgrippeviren, die für den Menschen noch ungefährlich sind, durch Mutation infektiös werden könnten. Erläutern Sie, wie Mutationen bei Viren den Befall der Zellen neuer Wirte ermöglichen.
- Verändert sich durch Mutation die Struktur von Oberflächenmolekülen der Vogelgrippeviren, so könnten sie solche Eigenschaften erhalten, die es ihnen ermöglicht, an Rezeptoren menschlicher Zellen zu binden, die sich zuvor nicht mit der Hülle der Viren verbunden haben. So können durch Mutation neue infektiöse Virenstämme entstehen

Prinzip: Regulation

Schülerbuch Seite 335

- ① Geben Sie für die dargestellten Beispiele jeweils an, welche Größe geregelt wird. Nennen Sie soweit möglich, welche biologische Struktur das Führungsglied darstellt.

Beispiel (Knotenbegriffe der Netzseite)	Regelgröße	Führungsglied
Pupillenreflex	Lichtintensität auf der Netzhaut	Mittelhirn
Körpertemperatur	Temperatur des Körperkerns	Hypothalamus
Blutzuckerspiegel	Glucosekonzentration im Blut	Rückgekoppeltes System ohne erkennbares Führungsglied
Enzymaktivität	ATP-Konzentration in der Zelle	Rückgekoppeltes System ohne erkennbares Führungsglied
Genaktivität	Enzymkonzentration	Rückgekoppeltes System ohne erkennbares Führungsglied
Vegetatives Nervensystem	Herzschlagfrequenz und Schlagvolumen	Hypothalamus

- ② Bestimmen Sie für die dargestellten Regelkreise, welcher biologischen Strukturebene sie zugeordnet werden können.

Beispiel (Knotenbegriff für der Netzseite)	Regelgröße
Pupillenreflex	Organ
Körpertemperatur	Organismus
Blutzuckerspiegel	Organismus
Enzymaktivität	Moleküle
Genaktivität	Moleküle
Vegetatives Nervensystem	Organismus

- ③ Die negative Rückkopplung im Regelkreis ermöglicht es, Abweichungen von einem Sollwert auszugleichen. Erläutern Sie dies am Beispiel der Blutzuckerregulation.
- Weicht der Blutzuckerspiegel vom Sollwert ab, so wird immer das Hormon ausgeschüttet, das der Abweichung vom Sollwert entgegenwirkt.
- ④ Erläutern Sie, welche Strukturen es ermöglichen, dass der Glucoseabbau in Zellen reguliert wird.
- ATP ist ein Endprodukt bei der Zellatmung. Erhöht sich die Konzentration von ATP in der Zelle, so lagert es sich an das Enzym Phosphofruktokinase an, das die Glycolyse ermöglicht, die einen Teilprozess darstellt bei der Bildung von ATP. Phosphofruktokinase hat je eine Bindungsstelle für das Substrat Fructose-6-Phosphat und für ATP. Bei Bindung von ATP verändert sich das Enzym so, dass es kein Substrat mehr binden kann. So wird durch allosterische Hemmung die ATP Bildung unterbunden. Bei dieser Regelung bewirkt das Endprodukt ATP die Beendigung seiner Synthese. Also handelt es sich um Endprodukthemmung, wenngleich es sich nicht um das unmittelbare Produkt handelt, das durch die Phosphofruktokinase entsteht. Sinkt die ATP-Konzentration, so lösen sich die ATP-Moleküle wieder vom Enzym ab, die Hemmung fällt weg und der Energiestoffwechsel der Zelle wird wieder intensiver.
- ⑤ Stellen Sie für die Regulation der Genaktivität ein Regelkreisschema in Form eines Blockdiagramms auf und beschriften Sie es so weit möglich.
- Regelkreisschema mit Beschriftung
 Führungsglied: Kein Führungsglied erkennbar; rückgekoppeltes System mit sich selbst einstellendem Gleichgewichtszustand
 Regelglied: Operator
 Messglied: Repressormolekül
 Stellglied: Apparat für Proteinbiosynthese (Ribosomen, t-RNA usw.)
 Regelgröße: Enzym-Konzentration
 Stellgröße: Biosynthese neuer Enzymmoleküle
 Störgröße: Inaktivierung der Enzymmoleküle
 Istwert: Momentane Enzym-Konzentration
 Sollwert: Kein Führungsglied, daher keine Sollwertvorgabe; rückgekoppeltes System mit sich selbst einstellendem Gleichgewichtszustand
 Stellwert: m-RNA-Konzentration
- ⑥ Erläutern Sie am Beispiel der Herzschlagfrequenz die Arbeitsweise des vegetativen Nervensystems. Erklären Sie, welches Glied im Regelkreis das Herz darstellt.
- Sympathicusaktivität erhöht die Herzschlag-

frequenz, Aktivität des Parsympathicus vermindert sie.

In den Regelkreisen für die Versorgung des Körpers mit Sauerstoff und Nährstoffen, sowie die Erhaltung der Körperkerntemperatur stellt das Herz ein Stellglied dar.

- ⑦ Vergleicht man die Funktion biologischer Systeme mit technischen Regelsystemen, so lassen sich teilweise deutliche Parallelen feststellen. Beschreiben Sie einfache technische Regelsysteme, die Sie aus Ihrem Alltag kennen, und zeigen Sie die Gemeinsamkeiten zu biologischen Systemen.
- Beispiele: Regulation von ...
 - Heizung: Raumtemperatur
 - Kühlschrank: Innenraumtemperatur
 - Geschwindigkeit von Fahrzeugen (Tempomat)
 - Distanz eines Fahrzeugs zum vorausfahrenden Fahrzeug
 - Lichteinfall beim Fotoapparat
 - Leistung Handy (Sendeleistung steigt bei Abnahme der Feldstärke der Signale des erkannten Telefonnetzes)
 - Sauerstoffkonzentration, pH-Wert im Belebtschlamm von Kläranlagen
 - Dekontamination von Abwasser mit Wasserstoffperoxid ...

Die Gemeinsamkeiten zwischen technischen und biologischen Systemen liegen in der negativen Rückkopplung und der fein abgestuften Wirkung der Stellglieder, die Einfluss auf die Regelgröße nehmen.

Prinzip: Information und Kommunikation

Schülerbuch Seite 337

- ① Prüfen Sie für jedes der sechs dargestellten Beispiele, ob es den Aspekt Information oder auch den Vorgang der Kommunikation repräsentiert.
- Information: DNA, Genpool, Immunität
 Kommunikation: Hormon- und Nervensystem, Gap-Junctions
- ② Geben Sie für diejenigen Beispiele, die Kommunikation beschreiben, den Informationsträger und die Kommunikationspartner an.

	Informations-träger	Kommunikationspartner
Hormonsystem	Hormone (chemische Botenstoffe)	Zielzellen mit passendem Rezeptor
Nervensystem	Synapsen, neuronale Verschaltung	Nervenzellen, Sinneszellen, Drüsenzellen, Muskelzellen
Gap-Junctions	Ionen, Zucker, Aminosäuren und andere kleine Moleküle	benachbarte Zellen eines Gewebes

- ③ Kommunikation kann innerhalb einer Zelle oder zwischen Zellen, innerartlich oder zwischen Organismen verschiedener Arten erfolgen. Ordnen Sie die dargestellten Beispiele, soweit möglich, in diese Kategorien ein. Nennen Sie weitere Beispiele.

- *Kommunikation innerhalb einer Zelle: Genregulation, Transduktion*
Kommunikation zwischen Zellen: Gap-Junctions, Hormonsystem, Nervensystem, Immunsystem
Innerartliche Kommunikation: Sprache, Pheromone
Zwischenartliche Kommunikation: Sprache (z. B. Warnrufe, Warntracht)

- ④ Vergleichen Sie die Informationsübertragung mittels Nerven- und Hormonsystem. Stellen Sie dazu in einer Tabelle Merkmale einander gegenüber.

	Nervensystem	Hormonsystem
Übertragungsgeschwindigkeit	groß	klein
Signale	elektrische Signale für große Distanzen Signalstoffe (Neurotransmitter) für kleine Distanzen	Signalstoffe Hormone
Übertragungswege	Nerven leiten Signale; in synaptische Spalten diffundieren Transmitterstoffe	Blutstrom verteilt Hormone

<i>Selektion der Zielorgane, Zielzellen</i>	<i>Nervenbahnen stehen in fester Beziehung zu Sinnesorganen, Muskeln und Drüsen. Die elektrischen Signale der Nervenzellen sind unspezifisch. Der Informationsgehalt von Signalen ist bestimmt durch die Verbindung einer Nervenbahn mit jeweiligem Rezeptor oder Effektor. Die Selektion der Zielzellen ist über bestehende Signalwege im Nervensystem erreicht.</i>	<i>Der Verbreitungsweg der Hormone ist unspezifisch. Der Informationsgehalt der Signale wird durch die chemische Struktur der Hormone bestimmt. Zielzellen tragen Hormonrezeptoren, die das Hormon spezifisch binden können.</i>
<i>Mechanismen zur Steuerung und Regelung</i>	<i>hemmende und erregende Synapsen</i>	<i>antagonistisch wirkende Hormone</i>

- ⑤ Stellen Sie die verschiedenen Codierungen bei der Informationsübermittlung in Nervensystemen dar.

codierte Größe	Codierungen im Nervensystem
<i>Reizintensität, Reaktionsintensität</i>	<i>Sinneszelle – Rezeptorpotential Nervenzelle – Generatorpotential, AP-Frequenz synaptischer Spalt – Transmitterkonzentration</i>
<i>Reizqualität, Reaktionsqualität</i>	<i>Signalweg, Nervenbahn</i>

- ⑥ Zeigen Sie jeweils an Beispielen, dass Nucleinsäuren sowohl der Informationsspeicherung als auch der Informationsübertragung dienen.
- *Zwischen Zellteilungen und bei ausdifferenzierten Zellen hat die DNA die Funktion eines Informationsspeichers. Bei der Kernteilung dient sie als Informationsüberträger. Auch bei Viren haben Nucleinsäuren die Funktion, Information auf die infizierte Zelle zu übertragen. Generell hat die m-RNA die Funktion der Informationsübertragung.*

- ⑦ Nennen Sie Medien, die vom Menschen als Informationsträger genutzt werden, und geben Sie jeweils an, in welcher Form die Information gespeichert wird.
- *Technisch genutzt werden beispielsweise Magnetspeicher (z. B. Festplatte, Diskette, Magnetbänder wie Video- und Musikkassetten, Magnetstreifen auf Scheckkarten), optische Speicher (Buch, DVD, CD, Film), elektrische Speicher (Arbeitsspeicher für PC (RAM)), mechanische Speicher (Schallplatte, Blindenschrift, mechanisches Uhrwerk) und Halbleiterspeicher (z. B. Chipkarten, Flash-disc, Eprom).*
- ③ Zeigen Sie an einem Beispiel, dass Fortpflanzung nicht automatisch Vermehrung bedeutet.
- *Wenn bei der sexuellen Fortpflanzung zwei Partner während ihres Lebens nur einen Nachkommen erzeugen, so ist mit der Fortpflanzung keine Vermehrung verbunden. Betrachtet man allerdings Populationen, so wächst die Population zunächst nur langsamer, da Eltern und Nachkommen noch gemeinsam leben.*
- ④ Vergleichen Sie die sexuelle Fortpflanzung mit der ungeschlechtlichen Vermehrung.
- *Sexuelle Fortpflanzung bedeutet höhere Variabilität durch Neukombination der Allele in der Meiose und die Neukombination der Genome der beteiligten Partner. Als Nachteil muss das Risiko und der hohe Aufwand zum Auffinden des Sexualpartners und die Übertragung von Krankheiten genannt werden. Die ungeschlechtliche Vermehrung ermöglicht auch ohne Partner Nachkommen, die die Eigenschaften des Elternteils erhalten. Der Genpool bleibt weitgehend erhalten und nur durch Mutationen wird er in geringem Ausmaß verändert. Auf Veränderungen der Selektionsbedingungen können die weitgehend homogenen Populationen nur mit einer geringen Auswahl an Varianten reagieren.*

Prinzip: Reproduktion

Schülerbuch Seite 339

- ① Prüfen Sie, welche der genannten Beispiele in Zusammenhang mit der Reproduktion des Menschen eine Rolle spielen.
- *Replikation in der Interphase ermöglicht Mitosen, die die Stammzellen für die Keimbahn bereitstellen.*
 - *Ungeschlechtliche Vermehrung kommt beim Menschen nur bei den eineiigen Mehrlingen vor.*
 - *Der geschlechtlichen Fortpflanzung beim Menschen geht die Keimzellbildung über Meiose voraus.*
 - *Viren finden auch in menschlichen Zellen Wirtszellen für ihren lytischen und lysogenen Reproduktionszyklus. Virale Erkrankungen verändern das Reproduktionsverhalten des Menschen.*
 - *Fortpflanzungsstrategien: nur mit Zurückhaltung darf man Vergleiche zwischen dem Verhalten des Menschen und Verhaltensweisen von Tieren ziehen. Es fällt aber auf, dass in Wohlstands-Gesellschaften viele Eltern nicht mehr zahlreiche Nachkommen zeugen (R-Strategie), sondern sich auf die Betreuung von nur einem Nachkommen konzentrieren (K-Strategie).*
 - *Klonen: Das künstliche Trennen von embryonalen Zellen im 4 - 8-Zellstadium soll Mehrlinge mit identischem Erbgut (Klone) erzeugen. Künstlich kann man auch einen Zellkern mit gewünschten Erbgut in teilungsfähige Zellen übertragen. Zur Zeit ist es aber noch nicht möglich, auf diese Weise einen lebensfähigen Klon eines schon lebenden Menschen heranwachsen zu lassen.*
- ② Grenzen Sie die Reproduktion der Viren gegenüber der Reproduktion „echter“ Lebewesen ab.
- *Viren liefern nur die eigene Erbinformation. Die Reproduktion der Viren ist auf die von den Wirtszellen bereitgestellten Ressourcen angewiesen.*
- ⑤ Erläutern Sie, inwiefern die Replikation bei den genannten Beispielen eine Rolle spielt.
- *Die Replikation in der Interphase ermöglicht die Produktion von identischen und vollständigen Tochterkernen. Somit ist die Replikation die Voraussetzung zur Vermehrung von Zellen und das Wachstum von Organismen, so auch von Organismen mit identischem Erbgut (Klone). Im lysogenen und lytischen Zyklus wird das Erbgut der Viren durch Replikation vermehrt. Die Replikation fehlt zwischen der ersten und zweiten meiotischen Teilung zur Bildung der Keimzellen für die sexuelle Fortpflanzung.*
- ⑥ Begründen Sie, warum bei der Hochleistungszüchtung von Nutztieren sexuelle Fortpflanzung unerwünscht ist.
- *Bei der sexuellen Fortpflanzung kommt es in Folge der Neukombination zu einer Veränderung des Genotyps und wahrscheinlich auch zu Veränderungen des Phänotyps. Bei der Hochleistungszucht liegt aber bei den eingesetzten Eltern schon ein weitgehend optimierter Phänotyp vor. Daher riskiert man durch die sexuelle Fortpflanzung einen Verlust an gewünschten Eigenschaften.*
- ⑦ Fitness im Sinne DARWINS wird an der Anzahl fruchtbarer Nachkommen gemessen. Erläutern Sie in diesem Zusammenhang das Beispiel der Agaven.
- *In trockenen Jahren bleiben die Tochter-Klone am gleichen Standort wie die Mutterpflanze, die dort schon überleben konnte. Eine relativ geringe Anzahl von Tochterpflanzen kann von dem im Erdreich eingedrungenen Wurzelwerk der Mutterpflanze versorgt werden. Unter schwierigen Bedingungen vermeidet diese Fortpflanzungsstrategie Risiken durch Variation.*

Die Besiedlung neuer Standorte durch zahlreiche Samen mit einem neukombinierten Genotyp, die durch sexuelle Fortpflanzung entstanden sind, erfolgt in feuchten Jahren. Jetzt bieten sich den Keimlingen günstigere Voraussetzungen, eigenständige Wurzeln auszubilden, um an einem neuen Standort anzuwachsen. Diese Fortpflanzungsstrategie setzt eine höhere Zahl neukombinierter Nachkommen unter günstigen Keimungsbedingungen einem erhöhten Risiko aus. Beide Fortpflanzungsstrategien sind jeweils optimal angepasst, um unter den unterschiedlichen Umweltbedingungen den Nachkommen eine größtmögliche Chance zum Überleben zu bieten.

Prinzip: Variabilität und Angepasstheit

Schülerbuch Seite 341

- ① Geben Sie für jedes der sechs Beispiele an, ob Variabilität oder Angepasstheit auf der Ebene von Molekülen, Zellen, Organen oder Organismen beschrieben wird.

Beispiele	Ebene
Polymorphismus	Organismus
Modifikation	Organismus
Konvergenz	Organismus
Mutation	Moleküle
Klonselektion	Zellen
Rekombination	Zellen

- ② Erläutern Sie, wie Variabilität und Angepasstheit entstehen.
- Durch Rekombination, das ist die Neukombination der Erbanlagen bei der Bildung von Keimzellen und Mutationen, spontane Änderungen im Genom, entsteht phänotypisch beobachtbare Variabilität. Angepasstheit entsteht durch Selektion der Phänotypen, die am besten zu den herrschenden Umweltbedingungen passen.
- ③ Erklären Sie, wie sich zeigen lässt, dass eine Modifikation, wie z. B. die Blütenfarbe bei chinesischen Primeln, nicht erblich ist.
- Durch Kreuzungsexperimente von reinerbig roten mit roten (rot/rot), roten/weißen und weißen/weißen Primeln untereinander zeigt sich, ob die Blütenfarbe erblich ist. Die Nachkommen müssen daraufhin untersucht werden, welche Blütenfarbe sie unter bzw. über 30° C annehmen. Sind sie bei einer Temperatur von unter 30° C alle rot und über 30° C alle weiß, dann handelt es sich um Modifikationen, die nicht erblich sind.
- ④ Beschreiben Sie, auf welche Weise festgestellt werden kann, ob es sich bei den beiden Formen des Landkärtchens um zwei verschiedene Arten handelt oder nicht.
- Das lässt sich durch Paarungsexperimente

feststellen. Wenn beide Formen untereinander fruchtbare Nachkommen haben können, dann bilden sie eine Art. Ist das nicht der Fall, handelt es sich um zwei verschiedene Arten.

- ⑤ Nehmen Sie am Beispiel Konvergenz Stellung zu dem Zitat „survival of the fittest“ und der Übersetzung „Überleben des Stärksten“.
- Am Beispiel der Körperform der im Wasser lebenden Wirbeltiere wird ersichtlich, dass die Stärke nicht der springende Punkt ist. Es geht vielmehr um diejenigen Organismen, die am besten an die jeweils herrschenden ökologischen Bedingungen angepasst sind. Es geht um den Passenden (who fits).
- ⑥ Erläutern Sie die Vorgänge, die Grundlage der Variabilität sind.
- Die Schüler sollen die Grundlage der Variabilität, Rekombination und Mutation, erklären.
- ⑦ Erklären Sie, inwiefern Antikörper ein Beispiel für das Prinzip Variabilität und Angepasstheit sind.
- Es gibt etwa 10 Millionen verschiedener B-Zellen und damit genauso viele Antikörper. Daran ist die riesige Variabilität der Antikörper zu erkennen. Hat eine B-Zelle ein Antigen erkannt, so werden passende Antikörper in großer Zahl hergestellt. Das ist somit ein Beispiel für Angepasstheit.
- ⑧ Beschreiben Sie das Prinzip der Variabilität und Angepasstheit am Beispiel der Resistenzbildung von Bakterien gegen Antibiotika.
- In Bakterienkolonien können durch Mutationen einige Zellen unempfindlich gegenüber bestimmten Antibiotika sein. Behandelt man einen Patienten (oder eine Kultur von Bakterien) mit einem bestimmten Antibiotikum, so werden alle empfindlichen Zellen getötet. Die wenigen Zellen, die unempfindlich sind, werden durch diese Selektion bevorzugt und können sich vermehren. So entstehen resistente, an das Antibiotikum angepasste Bakterienstämme.
- ⑨ Sexualität beschleunigt die Evolution. Nehmen Sie zu dieser Aussage Stellung.
- Diese Aussage ist richtig, da es durch die Bildung der Keimzellen zur Neukombination der Gene (Rekombination) kommt. Dadurch entstehen neue Phänotypen, wodurch sich die Variabilität in der Population erhöht. Die Variabilität ist eine wichtige Voraussetzung dafür, dass sich Populationen durch Selektion rasch an sich ändernde Umweltfaktoren anpassen können. Daher beschleunigt Sexualität die Evolution.
- ⑩ In der pharmazeutischen Forschung werden in neuen Produkten ungezielt Moleküle verändert und dann auf eine mögliche Wirksamkeit überprüft. Vergleichen Sie diese Vorgehensweise mit der biologischen Evolution.
- Der ungezielten Veränderung der Moleküle entspricht die ungezielte Änderung des Genoms zum Beispiel durch Mutationen, die zu einer erhöhten Variabilität der Phänotypen führt. Die Überprüfung der Wirksamkeit entspricht der Selektion der am besten angepassten Phänotypen, in diesem Fall der wirksamen Moleküle.

Prinzip: Biologische Systeme

Schülerbuch Seite 343

- ① Überprüfen Sie für die beschriebenen Beispiele, inwiefern sie der zellulären Organisation, der Energieumwandlung oder dem Systembegriff zugeordnet werden können.
 - *Membranen und Kompartimente sind wesentlich für die zelluläre Organisation, sie sind an der Energieumwandlung beteiligt (z. B. bei der Fotosynthese und der Zellatmung) und sie umgrenzen biologische Systeme (z. B. Zellen und Zellorganellen). Fließgleichgewichte sind typisch für biologische Systeme. „Energie schafft Ordnung“ und Energetische Kopplung sind typisch für Energieumwandlungen in biologischen Systemen. Spezialisierung ist typisch für Zellen.*
 - ② Beschreiben Sie die Struktur der abgebildeten Membran. Erläutern Sie am Beispiel des Bakteriorhodopsins, inwiefern Membranen der Kompartimentierung in Systemen dienen können. Beschreiben Sie die Struktur des Proteins, gehen Sie dabei insbesondere auf die Bereiche mit hydrophilem und hydrophobem Charakter ein.
 - *Biomembranen bestehen aus Phospholipiden. Diese Moleküle haben sowohl einen hydrophoben Bereich, verursacht durch die beiden Fettsäuren, als auch einen hydrophilen Bereich, bedingt durch die Phosphatgruppe. Die Lipidmoleküle sind in zwei Lagen parallel angeordnet, der Lipiddoppelschicht. Bakteriorhodopsin pumpt mithilfe von Lichtenergie Protonen in den Zellinnenraum. Bedingt durch den pH Gradienten kann die ATPase diesen Gradienten für die Bildung von ATP nutzen. Der pH Gradient wird durch die Kompartimentierung aufrechterhalten.*
 - ③ Erläutern Sie am Beispiel von Chloroplasten und Mitochondrien die Bedeutung der Kompartimentierung. „Die Identität eines Zellkompartiments beruht im Wesentlichen auf spezifischen Proteinbestandteilen seiner Membran.“ Erläutern Sie diese Aussage an diesem Beispiel.
 - *Die Proteinbestandteile der Membranen bestimmen den Stoff-, Energie- und Informationsaustausch mit der Umgebung. Mögliche Beispiele: Synapse, Chloroplasten, Mitochondrien, Immunreaktion.*
 - ④ Von den Membranen bis zur Biosphäre kann man eine „Einschachtelung von Kompartimenten“ feststellen. Erläutern Sie dies und nennen Sie Beispiele.
 - *Kleinere untergeordnete Kompartimente sind häufig Bestandteile größerer übergeordneter Kompartimente. Beispiel: Thylakoid – Granum – Chloroplast – Zelle des Palisadenparenchym – Palisadengewebe – Laubblatt – grüne Pflanze.*
 - ⑤ Beschreiben Sie je ein Beispiel für ein Fließgleichgewicht auf molekularer, zellulärer und organischer Ebene.
 - *molekulare Ebene: Umsetzung eines*
- Substrats an einem Enzym bei konstanten Bedingungen, z. B. bei konstant hoher Substratkonzentration.*
- Zelluläre Ebene: Zelle der Darmwand, die Glucose aus dem Darmlumenraum aufnimmt und zum Blutgefäßsystem transportiert.*
- Organismische Ebene: adulte Lebewesen, bei denen das Wachstum beendet ist und die Seneszenz noch nicht begonnen hat.*
- ⑥ Wenn eine grüne Pflanzenzelle Fotosynthese betreibt, kann man in ihren Chloroplasten Stärkekörnern beobachten. Erläutern Sie an diesem Beispiel die energetische Kopplung, gehen Sie auch darauf ein, wie „Energie Ordnung schafft“.
 - *Licht liefert die Energie für die Bildung von Kohlenhydraten, z. B. Stärke. Dabei wird die Energie des Lichts umgewandelt in chemische Energie. Die Ausgangsstoffe der Fotosynthese sind gasförmig bzw. flüssig, weisen also eine hohe Entropie auf. Stärke besteht aus den hoch geordneten Makromolekülen Amylose und Amylopektin, zudem nimmt die Teilchenzahl stark ab, die Ordnung steigt somit*
 - ⑦ Erläutern Sie, warum die Membranen der Myelinscheide gute elektrische Isolatoren sind. Zeigen Sie an diesem Beispiel, warum diese Funktion nur von extrem spezialisierten Zellen wahrgenommen werden kann. Erläutern Sie, wie es bei multipler Sklerose zu den genannten Symptomen kommen kann. Eine Behandlungsmöglichkeit ist das Spritzen von Peptiden, deren Aminosäurezusammensetzung derjenigen der Membranen von Myelinscheiden ähnelt. Begründen Sie dies.
 - *Membranen bestehen überwiegend aus Lipiden mit unpolaren Molekülteilen und geringer elektrischer Leitfähigkeit. Durch die Umhüllung mit mehreren Membranschichten wird der Stofftransport stark eingeschränkt. Wenn bei MS die Membranen geschädigt werden, kann die Informationsleitung gestört werden. Sind sensorische Nervenbahnen betroffen, z. B. der Sehnerv, kann es zu Wahrnehmungsstörungen kommen. Sind motorische Nerven betroffen, kann z. B. die Koordination der Bewegungen gestört sein. Das Immunsystem greift die gespritzten Peptide an und schädigt so die Membranen weniger.*

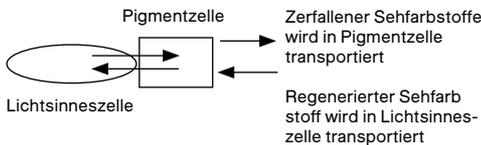
Prinzip: Wechselwirkungen

Schülerbuch Seite 345

- ① Stellen Sie die auf dieser Seite beschriebenen Wechselwirkungen in einer Tabelle zusammen.

Knoten	Wechselwirkung
Molekül-Zelle	Antigene – B-Lymphocyten
Zelle-Zelle	Lichtsinneszellen – Pigmentzellen
Gewebe-Zelle	Organtransplantation
Lebewesen-Umwelt	Entstehung autotropher Organismen vor etwa 2 Milliarden Jahren
Koevolution	Lichtsignale bei Leuchtkäfermännchen und Weibchen
Sexuelle Selektion	Weibchen wählen Geschlechtspartner nach besonders prächtigen Merkmalen (zum Beispiel Gefieder aus)

- ② Geben Sie bei den Beispielen Koevolution und sexuelle Selektion die Organisationsebenen an, zwischen denen die Wechselwirkungen stattfinden.
- Bei beiden Beispielen findet die Wechselwirkung zwischen zwei Organismen statt.
- ③ Erklären Sie, warum nur zwischen körperfremden Antigenen und B-Zellen eine Wechselwirkung erfolgt.
- Das Immunsystem kann zwischen selbst und fremd unterscheiden. B-Zellen greifen keine körpereigenen Zellen an. (Ausnahme Autoimmunerkrankungen)
- ④ Stellen Sie die Wechselwirkung zwischen einem Stäbchen und einer Pigmentzelle grafisch dar.



- ⑤ Erklären Sie, auf welche Weise die Wechselwirkung zwischen T-Zellen und einem transplantierten Organ vermieden werden kann.
- Die Immunantwort gegen das transplantierte Organ muss durch Immunsuppressiva unterdrückt werden.
- ⑥ Beschreiben Sie, worin die Koevolution beim Beispiel der Leuchtkäfer besteht.

- Es gibt eine gemeinsame voneinander abhängige Evolution der Leuchtkäfersignale. Die Männchen müssen die Signale der Weibchen deuten und umgekehrt.
- ⑦ Erklären Sie, inwiefern die Lichtsignale des Leuchtkäfermännchens als Ergebnis sexueller Selektion gedeutet werden können.
- Es ist anzunehmen, dass die Männchen, die besonders intensiv leuchten können, eine rasche Antwort eines Weibchens auslösen und so bevorzugt zu den Weibchen gelangen und sich mit ihnen paaren können. Man kann das als sexuelle Selektion bezeichnen.
- ⑧ Beurteilen Sie Wechselwirkungen der heute lebenden Menschen mit der Umwelt.
- Die Wechselwirkungen des Menschen mit seiner Umwelt ist meist katastrophal für die Ökosysteme der Erde. Beispiele: Luftverschmutzung, Treibhausgase, Abholzung der Regenwälder, Zersiedlung der Landschaft, Verschmutzung der Gewässer, der Meere, Abnahme der Biodiversität. Dem gegenüber stehen auch Anstrengungen im Umweltschutz: Beispiele: Regenerative Energie, Artenschutz, Renaturierung von Landschaften, Naturschutzgebiete, Biosphärenreservate, Walfangquoten usw.