

NATURA

BIOLOGIE FÜR GYMNASIEN

Natura Kursstufe Baden-Württemberg Lösungen

bearbeitet von

Jürgen Christner

Claudia Dreher

Roland Frank

Jürgen Schweizer

Ernst Klett Verlag

Stuttgart Düsseldorf Leipzig

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 zu § 52a UrhG: Weder das Werk noch seine Teile dürfen ohne eine solche Einwilligung gespeichert und in ein Netzwerk eingestellt werden. Dies gilt auch für Intranets von Schulen und sonstigen Bildungseinrichtungen.

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2003.
Alle Rechte vorbehalten.

Internetadresse: <http://www.klett-verlag.de>

Bearbeitet von

Dr. Jürgen Christner, Tübingen
Claudia Dreher, Stuttgart
Roland Frank, Stuttgart
Dr. Jürgen Schweizer, Stuttgart

unter Mitarbeit von

Dr. Horst Bickel, Düsseldorf
Roman Claus, Wesel
Dr. Hans-Jürgen Dobler, Tübingen
Prof. Dr. Harald Gropengießer, Hannover
Gert Haala, Wesel
Bernhard Knauer, Göttingen
Dr. Inge Kronberg, Hohenwestedt
Hans-Dieter Lichtner, Bückeburg
Uschi Loth, Burbach
Ulrich Sommermann, Münchberg
Helmut Strecker, Sao Paulo
Gerhard Ströhl, Münchberg
Dr. Wolfgang Tischer, Hildesheim
Günther Wichert, Dinslaken

Grafiken

Hess Sales Promotion, Idstein; Jörg Mair, Herrsching; Jürgen Wirth, Dreieich

Inhaltsverzeichnis

Zelle und Stoffwechsel

- 1 Die Struktur der Zelle 4
- 2 Die Inhaltsstoffe der Zelle 9
- 3 Das System Zelle 11
- 4 Enzyme – Katalysatoren des Stoffwechsels 16

Von der DNA zum Organismus

- 1 Bau und Bedeutung der DNA 21
- 2 Vom Gen zum Phän 24
- 3 Mutationen 30
- 4 Genregulation und Differenzierung 32

Angewandte Biologie

- 1 Methoden der Tier- und Pflanzenzüchtung 37
- 2 Gentechnik 39
- 3 Reproduktionsbiologie 40
- 4 Humangenetik und Erbkrankheiten 46

Netzthemen 50

Nerven, Sinne und Hormone

- 1 Reizaufnahme und Erregungsleitung 62
- 2 Neuronale Verschaltung 64
- 3 Sinne 66
- 4 Zentralnervensystem und Sinneswahrnehmung 69
- 5 Hormone 72

Immunbiologie

- 1 Grundlagen der Immunbiologie 77
- 2 Anwendungen der Immunbiologie 78

Evolution

- 1 Einführung in die Evolutionstheorie 80
- 2 Belege für die Evolution 82
- 3 Evolutionsfaktoren – Motoren der Evolution 87
- 4 Die Geschichte des Lebens 100
- 5 Das natürliche System der Lebewesen 103
- 6 Humanevolution 103

Verhaltensbiologie

- 1 Verhaltensforschung 108
- 2 Lernforschung 108
- 3 Soziobiologie 109

Zelle und Stoffwechsel

1 Die Struktur der Zelle

Bau und Funktion der Pflanzenzelle (Seite 12)

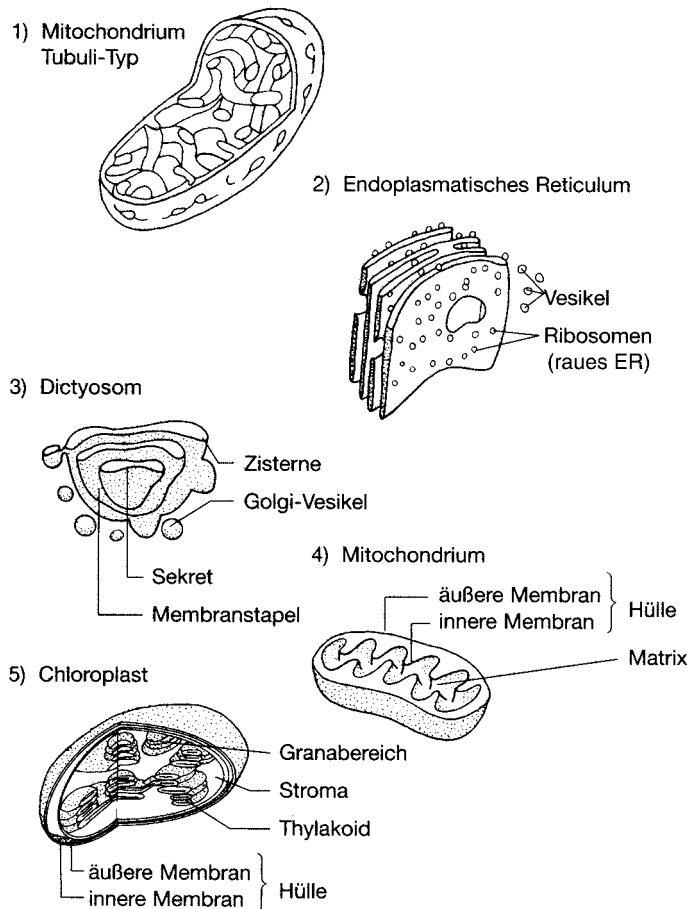
- ① Zeichnen Sie mithilfe des Textes und des Fotos der Abbildung 1 das Schema „Grundbauplan der Pflanzenzelle“. Beschriften Sie das Grundschema.
 - Schemazeichnung einer Zelle mit Zellwand, Tüpfel, Zellmembran (Plasmalemma), Cytoplasma, Zellkern, Vakuole, Vakuolenmembran (Tonoplast), ggf. Chloroplasten.
- ② a) Informieren Sie sich über die Funktion der in Abbildung 1 dargestellten Zellen und zeigen Sie, so weit möglich, den Zusammenhang zwischen Struktur und Funktion auf.
 - b) Welche Abweichungen zeigen diese Zellen vom Grundschema?
- a) *Zellen der oberen Epidermis: Mechanischer Schutz, Schutz vor UV-Licht, Transpirationsschutz. Beziehung Struktur – Funktion: Dicke Zellwände, Cuticula. Palisadenzellen: Hauptorte der Fotosynthese. Beziehung Struktur – Funktion: längliche Zellen mit großer Anzahl an Chloroplasten*
Schwammzelle: Fotosynthese, Gewebe ermöglicht Durchlüftung und Gasaustausch. Beziehung Struktur – Funktion: Unregelmäßig geformte Zellen unterschiedlicher Größe, enthalten Chloroplasten
Schließzelle: Schließzellen bilden Spaltöffnungen; Öffnen und Schließen erfolgt durch Änderungen der Zellform bei Änderung des Turgors
Beziehung Struktur – Funktion: Ungleichmäßige Zellwandstärken ermöglichen Veränderung der Zellform bei Änderung des Turgors.
Leitbündelzelle: Zum Transport von Wasser oder Assimilaten. Keine besondere Struktur-Funktions-Beziehung im Bild erkennbar.
- b) *Abweichungen vom Grundtyp: Epidermiszellen, Schließzellen und Leitbündelzellen mit geringem Chloroplastenanteil bzw. ohne Chloroplasten.*

Das elektronenmikroskopische Bild von Tier- und Pflanzenzelle (Seite 15)

- ① Suchen Sie in den Übersichtsaufnahmen nach den in den Zeichnungen dargestellten Zellbestandteilen.
 - *TEM-Aufnahme Pflanzenzelle: Zellwand, Cytoplasma, Zellkern mit großem Nucleolus, Chloroplasten, Vakuolen, evtl. Mikrobodies*
TEM-Aufnahme Tierzelle: Zellkern mit Nucleolus, Kernmembran, Kernporen, Cytoplasma, endoplasmatisches Reticulum, Mitochondrien

Bau und Funktion von Zellorganellen (Seite 17)

- ① Übertragen Sie die schematischen Abbildungen von ER, Dictyosom, Mitochondrium und Chloroplasten in Ihr Heft. Beschriften Sie die Zeichnung.
– siehe Abbildung



- ② Stellen Sie tabellarisch zusammen, welche Zellorganellen von zwei, einer oder keiner Membran umgeben sind. Welche Organellen enthalten DNA, welche sind teilungsfähig?

Organellen ohne Membran	Organellen mit einer Membran	Organellen mit zwei Membranen
Ribosomen	Dictyosomen	Zellkern
Mikrotubuli	endoplasmatisches Retikulum	Mitochondrien
Centriol	Lysosomen	Chloroplasten
Cilie	Microbodies	

- Alle Organellen, die von zwei Membranen umgeben sind, enthalten DNA und sind teilungsfähig.
- ③ Die unten stehende Abbildung zeigt ein Mitochondrium mit anderem inneren Bau als beim Cristae-Typ. Rekonstruieren Sie ein räumliches Modell unter der Voraussetzung, dass sich bei jeder Schnittrichtung vergleichbare Bilder ergeben.
- Es handelt sich um ein Mitochondrium vom Tubuli-Typ (siehe Abbildung).

Die Bakterienzelle – Procyte (Seite 19)

- ① Erstellen Sie mithilfe der Abb. 1 und 2 einen tabellarischen Vergleich von Procyte und Eucyte.

Merkmal	Eucyte	Procyte
Zellwand	vorhanden	vorhanden; enthält Murein, auch häufig mit aufgelagerter Schleimhülle
Zellmembran	vorhanden	vorhanden
Zellkern	vorhanden	frei im Plasma liegende, ringförmige DNA (Kernäquivalent und ggf. Plasmid)
Chloroplasten, Mitochondrien	vorhanden	keine Zellorganellen mit doppelter Membran; entsprechende Strukturen sind Einfaltungen der Zellmembran
Dictyosomen, ER	vorhanden	nicht vorhanden
Ribosomen	80 S	70 S
Zellgröße	typ. 8–200 μm	typ. 1–5 μm
Organisationsform der Organismen	Einzeller und Vielzeller	nur Einzeller

- ② Berechnen Sie überschlägig, wie viele Bakterien etwa in eine Eucyte passen.
- *Ausgehend von den vereinfachten Annahmen, die Zellen seien würfelförmig, die Kantenlänge der Eucyte beträgt 10 μm und die der Procyte 1 μm , so ist das Volumenverhältnis der Zellen 1000 : 1.*

Material: Forschungsmethoden der Cytologie: Das Lichtmikroskop (S. 20/21)

- ① Betrachten Sie z. B. ein Haar mit der kleinsten Vergrößerung. Entfernen Sie das Okular. Schauen Sie aus 30 cm Entfernung in den Tubus und betrachten Sie das Zwischenbild. Markieren Sie die Lage mit einem dünnen Bleistiftstrich am Tubusrand.
- *Betrachtung des Zwischenbildes im Tubus ohne Okular.*
- ② Befestigen Sie auf der Tubusöffnung ein Stück Transparentpapier. Drehen Sie langsam am Grobtrieb, bis das Zwischenbild auf dem Papier scharf erscheint. Weshalb muss die Einstellung verändert werden, obwohl zuvor bereits ein scharfes Bild zu sehen war?
- *Mit Transparentpapier ist Nachregeln erforderlich, denn das Zwischenbild liegt unterhalb der Tubusöffnung. Indem das Objektiv dem Objekt ein wenig genähert wird, verlagert sich die Bildebene des Zwischenbildes entlang dem Tubus, bis sie an der Tubusöffnung liegt.*
- ③ Betrachten Sie mit einer Lupe das Zwischenbild auf dem Transparentpapier. Beschreiben Sie, welche Veränderungen im Vergleich zu Aufgabe 2 auftreten. Was ändert sich dabei nicht?
- *Bei der Betrachtung mit der Lupe erscheint das Bild größer. Es gibt kein Vertauschen von rechts und links oder oben und unten. Das Bild erscheint unschärfer, weil es auf die vergleichsweise grobe Struktur des Transparentpapiers abgebildet wird.*
- ④ Mikroskopieren Sie ein biologisches Präparat bei hoher Vergrößerung. Legen Sie in den Beleuchtungsstrahlengang einen Blaufilter und entfernen Sie ihn wieder. Prüfen Sie seine Wirkung im Strahlengang.
- *Mit Blaufilter erscheinen die Konturen des Präparats schärfer.*
- ⑤ Die Bakterien E. coli sind ca. 2 μm lang bei einem Durchmesser von ca. 1 μm . Manchmal lagern sich zwei von ihnen aneinander, wobei noch ein Zwischenraum von etwa 1 μm bleibt. Klären Sie, ob die Bakterien beim Mikroskopieren getrennt voneinander gesehen werden können, wenn man mit einem Objektiv der numerischen Apertur 0,50 arbeitet und Licht der Wellenlänge 500 nm verwendet.
- *Das Auflösungsvermögen des Objektivs beträgt 0,5 μm . Die Bakterien sind getrennt voneinander erkennbar (sofern die Gesamtvergrößerung ausreichend ist).*
- ⑥ Ordnen Sie die Bilder oben dem jeweiligen mikroskopischen Verfahren zu, bei dem sie entstanden sind.
- *Von links nach rechts: Hellfeld ungefärbt, Hellfeld gefärbt, Phasenkontrastverfahren, Interferenzkontrastverfahren*

- ⑦ Begründen Sie, weshalb die Verwendung von teuren Phasen- und Interferenzkontrastmikroskopen sinnvoll ist.
- *Mit Phasenkontrast- und Interferenzkontrastverfahren lassen sich ohne schädigende Färbung Zellbestandteile der lebenden Zelle mikroskopisch untersuchen.*
- ⑧ Weshalb werden zur mikroskopischen Untersuchung eines Gewebes meist mehrere, mit verschiedenen Substanzen gefärbte Präparate hergestellt?
- *Unterschiedliche Farbstoffe färben meist verschiedene Zellbestandteile. Sind vor der Untersuchung der Zellen eines Gewebes die charakteristischen Strukturen nicht bekannt, so wird durch Färbung mit unterschiedlichen Farbstoffen versucht, eine günstige Darstellung der Strukturen des Präparats zu erhalten. Außerdem kann es je nach Aufgabenstellung wichtig sein, verschiedene Strukturen selektiv durch Anfärbung hervorzuheben.*

Material: Forschungsmethoden der Cytologie: Das Elektronenmikroskop (S. 23)

- ① a) Stellen Sie Vor- und Nachteile der Elektronen- im Vergleich zur Lichtmikroskopie dar.
- b) Vergleichen Sie die Präparation von Objekten für die Licht- und die Elektronenmikroskopie.
- a) *Vorteile EMI: hohes Auflösungsvermögen, Detailerkennung bis nahezu in den molekularen Bereich.*
Nachteile EMI: Keine Beobachtung lebender Strukturen möglich, bereits die Vorgänge bei der Präparation bewirken ein Absterben lebender Strukturen. Auch die Bedingungen der Abbildung (Vakuum, Elektronenstrahlen) würden keine Lebendbeobachtung ermöglichen.
 - b) *Vergleich der Präparationstechniken*

Vorgang	Lichtmikroskop	Elektronenmikroskop	
		Ultradünnschnitt	Gefrierbruch
Fixierung	chemische Fixierung (Formaldehyd)	chemische Fixierung (Formaldehyd, Osmiumtetroxid, Glutaraldehyd)	Kryofixierung durch schnelles Abkühlen bis $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$
Einblocken	Einschluss in Paraffin	Einschluss in Harz	
Schneiden	Schneiden mit Mikrotom, Schnittdicke ca. 10 μm	Schneiden mit Ultramikrotom, Schnittdicke ca. 50 nm	Aufbrechen des gefrorenen Präparats mit Schneidmesser
Kontrastieren	Färben mit Farbstoffen	Kontrastieren mit Schwermetallsalzen	Abdampfen der Eisoberfläche und Schrägbedampfung mit Kohle und Platin

- ② Stellen Sie Unterschiede und Gemeinsamkeiten von TEM und REM zusammen.

TEM	REM
Bildentstehung durch Elektronenstrahlen	Bildentstehung durch Elektronenstrahlen
Abbildung mithilfe magnetischer Linsen	Abbildung mithilfe magnetischer Linsen
Präparat befindet sich im Vakuum	Präparat befindet sich im Vakuum
Bilder nur zweifarbig (schwarz-weiß)	Bilder nur zweifarbig (schwarz-weiß)
Nur sehr dünne Präparate können untersucht werden.	Auch dicke und große Präparate können untersucht werden.
Der Elektronenstrahl ist stets auf dieselbe Stelle des Präparats gerichtet.	Der Elektronenstrahl wird zeilenweise über das Präparat geführt.
Die Elektronen, die das Präparat durchdringen, werden zur Abbildung verwendet.	Elektronenstrahlen lösen an der Oberfläche des Präparats Sekundärelektronen aus, die zur Abbildung verwendet werden.
Die Abbildungen von Präparaten, die durch Ultradünnschnitttechnik entstanden sind, erscheinen zweidimensional. Bei der Gefrierbruchtechnik entstehen Bilder mit reliefartigen Strukturen.	Die Abbildungen erscheinen dreidimensional und vermitteln eine räumliche Anschauung.

- ③ Vergleichen Sie die Anwendungsbereiche des REM und des TEM. Erläutern Sie, weshalb in der Forschung beide Gerätetypen eingesetzt werden.
- *Das REM ist zur Untersuchung von Oberflächen biologischer Strukturen geeignet, das TEM eignet sich vor allem zur Untersuchung biologischer Strukturen im Innern von Zellen. Beide Methoden ergänzen sich und können sich nicht gegenseitig ersetzen.*
- ④ a) In wie viele Scheiben kann man eine Zelle von 100 μm Dicke mit dem Ultramikrotom schneiden?
 b) Das TEM-Bild einer Leberzelle zeigt keinen Zellkern. Erklären Sie diesen Sachverhalt.
- a) *Bei einer Schnittdicke von 50 nm kann eine Zelle von 100 μm = 100 000 nm Größe in 2000 Scheiben geschnitten werden.*
 b) *Leberzellen besitzen einen Zellkern. Jedoch entstehen mit dem Ultramikrotom auch Schnitte, in denen der Zellkern nicht enthalten ist. Ein Präparat gibt nur Einblick in eine Schicht einer Zelle, in der nicht unbedingt der Zellkern liegen muss.*
- ⑤ Auf Seite 16 sehen Sie zwei verschiedene TEM-Aufnahmen des Zellkerns. Ordnen Sie den beiden Aufnahmen die jeweilige Präparationstechnik begründet zu.
- *oberes Teilbild: Ultradünnschnitt, nur zweidimensionale Darstellung.*
unteres Teilbild: Gefrierbruchtechnik, reliefartige Darstellung der Kernporen.
- ⑥ Die REM-Abbildung zeigt Erythrocyten, Leukocyten und Thrombocyten. Ordnen Sie die Begriffe den Zellen zu. Nennen Sie wichtige Strukturmerkmale eines jeden Typs.
- *Erythrocyten scheibchenförmig mit Eindellung; Leukocyt rund mit vielen Ausstülpungen der Zellmembran.*
- ⑦ Findet man mithilfe des Elektronenmikroskops Strukturen in Zellen, so könnte es sich um Artefakte handeln. Zeigen Sie Möglichkeiten, wie man Anhaltspunkte dafür gewinnen kann, dass es natürliche Strukturen und keine Artefakte sind.
- *Um natürliche Strukturen von Artefakten unterscheiden zu können, kann man verschiedene Artefakte nach diesen Strukturen durchsuchen. Insbesondere sollten sich die Strukturen, sofern es sich um keine Artefakte handelt, auch bei Variation der Präparationsbedingungen immer wieder auffinden lassen.*

Material: Weitere Forschungsmethoden der Cytologie (Seite 25)

- ① Geben Sie 10 Gramm frische Bäckerhefe in 500 ml Wasser und suspendieren Sie die Hefe im Wasser gleichmäßig.
- a) Nehmen Sie eine Flüssigkeitsprobe und mikroskopieren Sie diese. Fertigen Sie eine Zeichnung der Hefezellen an.
 - b) Füllen Sie Hefesuspension in eine Zentrifuge. Bestimmen Sie die Zeit, die Sie zentrifugieren müssen, bis sich alle Hefezellen im Sediment befinden. Ermitteln Sie diese Zeit für verschiedene Drehzahlen.
 - c) Dekantieren Sie den Überstand. Entnehmen Sie dem Sediment Hefezellen mit einer Pipette. Mikroskopieren Sie diese Probe und vergleichen Sie dieses Präparat mit dem von a). Beschreiben Sie die Wirkung der Zentrifugation.
 - d) Füllen Sie einen 250 ml-Standzylinder mit der Hefesuspension. Wie lange dauert es, bis die Flüssigkeit im Standzylinder klar ist? Vergleichen Sie diese Zeit mit den Zeiten von b). Begründen Sie die Unterschiede.
- a) *Mikroskopieren von Hefezellen.*
 b) *Beispiele zur Sedimentation der Hefezellen beim Zentrifugieren. Bis ein klarer Überstand entsteht, dauert es etwa eine Minute bei 2000 Umdrehungen pro Minute. Bei 1000 Umdrehungen pro Minute ist es etwa die vierfache Zeit.*
 c) *Im Vergleich zu a) sieht man mehr Hefezellen im Präparat. Durch die Zentrifugation werden die Hefezellen angereichert.*
 d) *Es dauert etwa einen Tag, bis die Lösung einigermaßen klar ist. Im Vergleich zum Zentrifugieren dauert der Vorgang im Standzylinder wesentlich länger, weil die Hefezellen nur unter dem Einfluss der Erdschwerebeschleunigung sedimentieren. Dagegen betragen die Beschleunigungswerte beim Zentrifugieren ein Vielfaches der Erdschwerebeschleunigung $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ (bei 1000 Umdrehungen pro Minute etwa 100 g, bei 2000 Umdrehungen pro Minute etwa 400 g).*

- ② Beschreiben Sie das Verfahren der Autoradiografie. Weshalb ist dieses Verfahren nicht durch mikroskopische Techniken zu ersetzen?
- *Beschleunigung der Autoradiografie mit Isotopenmarkierung, „Filmbelichtung“ durch radioaktive Strahlung, Filmentwicklung und mikroskopische Betrachtung. Das Verfahren dient dem Nachweis des Verbleibs markierter Substanzen. Es ist durch mikroskopische Untersuchungstechniken nicht ersetzbar, weil im Mikroskop Atome oder Moleküle nicht sichtbar sind.*
- ③ Könnte man mithilfe der Gelelektrophorese ein Gemisch aus Stärkemolekülen unterschiedlicher Größe auftrennen? Begründen Sie Ihre Ansicht.
- *Stärkemoleküle lassen sich elektrophoretisch nicht trennen, weil diese Moleküle keine Überschussladung tragen und daher im elektrischen Feld nicht driften.*

2 Die Inhaltsstoffe der Zelle

Die Analyse von Zellen (Seite 26)

- ① Der Wassergehalt von Tieren und Pflanzen beträgt durchschnittlich 60 bis 70 % des Frischgewichts. Welche Aufgaben hat das Wasser in lebenden Zellen?
- *Lösungsmittel; Speichermedium von Reserve- und Abfallstoffen, z. B. in der Vakuole; Transport von Stoffen; Aufrechterhaltung der Form von Zellen, s. Plasmolyse bzw. Deplasmolyse; Reaktionspartner bei hydrolytischen Reaktionen; Bildung von Hydrathüllen um Moleküle und Ionen; Reaktionsprodukt bei biochemischen Reaktionen.*
- ② Warum gehen Forscher davon aus, dass Leben auf fremden Planeten nur möglich ist, wenn es dort Wasser gibt?
- *Wasser hat als Lösungsmittel und Reaktionspartner so grundlegende Bedeutung, dass Leben in vergleichbarer Form wie auf der Erde ohne Wasser nicht vorstellbar ist. Allerdings ist theoretisch denkbar, dass andere Lösungsmittel an die Stelle des Wassers treten könnten. Beispielsweise zeigt Ammoniak bei tiefen Temperaturen vergleichbare Eigenschaften wie Wasser. Es ist flüssig, es weist ein Dipolmoment auf und es zeigt Autoprotolyse.*
- ③ Entwickeln Sie eine begründete Hypothese zur Erklärung der in Abbildung 2 wiedergegebenen Fakten.
- *Trockene Erbsen sind eine wasserarme Dauerform, mit der längere Zeiten überdauert werden können. Kohlenhydrate und Fette dienen als Reservestoffe und liefern die Energie für die Keimung, die Proteine dienen als Baustoffe für das rasche Wachstum der Zellen bei der Keimung. Vergleicht man die Angaben in Gewichts-% bei frischen und trockenen Erbsen für verschiedene Stoffe, so zeigt sich eine besonders deutliche Zunahme bei den Kohlenhydraten: Kohlenhydrate: $60,7 : 13,9 = 4,4$; Fette: $1,4 : 0,5 = 2,8$; Proteine: $22,9 : 6,7 = 3,4$. Vermutlich dienen die großen Mengen an Kohlenhydraten nicht nur dem Energiestoffwechsel sondern auch dem Bau von Gerüstsubstanzen bei der Keimung. Erbsen speichern relativ große Mengen an Proteinen, was sie für die Ernährung des Menschen interessant macht. Das Hühnerei ist durch seine Schale vor Austrocknung geschützt, allerdings nur für sehr begrenzte Zeit. Im Gegensatz zur Erbse ist das Hühnerei noch sehr wasserreich, Stoffwechselreaktionen können weiterhin ablaufen, seine Lebensdauer ist sehr begrenzt.*

Praktikum: Zellinhaltsstoffe (Seite 27)

Hinweis: Die Aufgaben dieser Seite gehen über die in Praktika übliche Fragestellung hinaus. Es wird versucht, die Schüler auf das vernetzte Denken vorzubereiten, das auf den Seiten 148 bis 163 in dem Kapitel „Netzthemen“ ausführlich umgesetzt wird. Teilweise wird auch auf den Stoff früherer Klassen Bezug genommen. Die Aufgaben 5 und 6 erfordern relativ sichere Chemiekenntnisse, sie könnten als Grundlage für eine GFS-Leistung dienen, durch die Schüler mit Chemie oder Physik als zweitem vierstündigen Fach eine interessante Problemstellung zu bearbeiten hätten.

- ① Die bei Versuch erhaltene Asche enthält je nach ihrer Herkunft unterschiedliche anorganische Stoffe, die in der Ökologie oft auch als Mineralstoffe bezeichnet werden. Durch welche Vorgänge in Ökosystemen entstehen derartige Stoffe? Welche Bedeutung haben sie für die Stoffkreisläufe in Ökosystemen?
 - *Mineralstoffe entstehen in Ökosystemen durch die Tätigkeit von Destruenten bzw. Mineralisierern. Mineralstoffe werden von Pflanzen aufgenommen, die sie für Wachstum und Entwicklung benötigen (s. beispielsweise Natura Baden-Württemberg 10/11, Seite 193 ff).*
- ② Phosphate aus der Landwirtschaft tragen wesentlich zur Eutrophierung von Gewässern bei. In dreistufigen Kläranlagen werden sie in der dritten Stufe ausgefällt. Informieren Sie sich über Ursachen und Folgen der Eutrophierung. Gehen Sie dabei auch auf die Rolle des Stickstoffs ein.
 - *Das Phänomen der Eutrophierung ist in Natura 10/11 Seite 196/197 beschrieben. Die Rolle des Stickstoffs ist auch auf Seite 194 dargestellt.*
- ③ Phosphationen sind wesentlicher Bestandteil des ATP bzw. ADP. Informieren Sie sich über die Entstehung und die Bedeutung dieser Stoffe bei der Fotosynthese und der Zellatmung. Stellen Sie einen Bezug zu den Aufgaben 1 und 2 her.
 - *Die biochemischen Grundlagen der Fotosynthese sind in Natura 10/11 Seite 146/147 beschrieben, Die Zellatmung auf Seite 150. Beim Abbau abgestorbener Organismen wird der chemisch gebundene Phosphor aus ATP, ADP und DNA durch Mineralisierer umgesetzt zu Phosphaten, die man in Mineralstoffen nachweisen kann. In natürlichen Ökosystemen herrscht stets ein Defizit an Phosphat. Durch Düngemittel führt der Mensch Ökosystemen zusätzliches Phosphat zu, das zur Eutrophierung beiträgt.*
- ④ Aus welchen biochemisch wichtigen Stoffen stammt der in Versuch 3 nachgewiesene Stickstoff?
 - *Chemisch gebundener Stickstoff kommt vor allem in Aminosäuren und damit auch in Peptiden und Proteinen vor. Auch die Purin- und Pyrimidinbasen der DNA enthalten Stickstoff.*
- ⑤ Eisen(II)-Ionen kommen sowohl im Häm als auch in den Cytochromen der Atmungskette vor. Warum sind gerade Eisenionen geeignete Ionen für die biochemischen Reaktionen des Häms bzw. der Cytochrome?
 - *Fe^{2+} -Ionen sind häufige Zentralionen in Komplexen. Ein derartiger Komplex ist das Häm, das im Hämoglobin, im Myoglobin und in den Cytochromen vorkommt. Im Hämoglobin wird bei der Sauerstoffaufnahme lediglich ein O_2 -Molekül locker angelagert, eine Oxidation findet nicht statt. Eine Sauerstoffabgabe im Gewebe ist so leicht nicht möglich. Cytochrome sind Bestandteile der Elektronentransportkette bei der Atmungskette bzw. bei der Endoxidation. Das Fe^{2+} -Ion wird dabei durch Elektronenabgabe zu Fe^{3+} oxidiert, durch anschließende Elektronenaufnahme wieder zu Fe^{2+} reduziert. Vergleichende Aufgabe 5 auf Seite 281.*
- ⑥ Magnesiumionen sind ein wesentlicher Bestandteil der Chlorophylle. Welche physikalischen bzw. chemischen Vorgänge laufen an den Chlorophyllen bei der Fotosynthese ab?
 - *Die lichtabhängigen Reaktionen der Fotosynthese sind in Natura 10/11 auf Seite 146 beschrieben.*
- ⑦ Calciumionen kommen in der Natur fast überall vor: in Kalkgebirgen, hartem Wasser, Knochen, an Membranen, in Muskeln. Wie kann man Calciumionen nachweisen? Erstellen Sie eine Übersicht über das Vorkommen von Calciumionen und deren Bedeutung.
 - *Gängige Nachweisreaktionen für Ca^{2+} -Ionen sind beispielsweise die Ausfällung als Calciumoxalat oder Calciumsulfat. Calciumionen kommen beispielsweise vor: in der Knochensubstanz, in den Kalkschalen von Stachelhäutern und Weichtieren, in Muskeln, als second messenger und in Synapsen.*

3 Das System Zelle

Die Zelle – ein offenes System (Seite 32)

- ① Beschreiben Sie das Fließgleichgewicht am Beispiel arbeitender Muskelzellen.
 - *Arbeitende Muskelzellen benötigen Sauerstoff und Glucose. Bei der Zellatmung entsteht Kohlendioxid und Wasser. Im zeitlichen Mittel nimmt die Zelle massengleiche Mengen an Stoffen auf wie sie aufnimmt. Die aufgenommene Energie wird in Form mechanischer Arbeit und thermischer Energie (Wärme) abgegeben.*
- ② Nennen Sie Beispiele, bei denen der Energiezufluss und Energieabfluss bei Zellen stoffgebunden und nichtstofflich erfolgt.
 - *Stoffgebundene Energiezuflüsse sind beispielsweise die Aufnahme von energiereichen Substanzen wie Kohlenhydrate oder Fette. Stoffgebundene Energieabflüsse sind beispielsweise die Abgabe von Milchsäure oder Ethanol bei Gärungsprozessen oder die Abgabe von Kohlenhydraten, die z. B. im Rahmen der Fotosynthese entstanden sind oder beim Abbau von Glykogen in Leberzellen zur Anhebung des Blutzuckerspiegels. Ein wichtiger, nicht stoffgebundener Vorgang der Energieaufnahme ist die Absorption von Licht zur Fotosynthese. Nicht stoffgebundene Energieabgabe ist die Abgabe von Wärme oder Licht (Biolumineszenz).*
- ③ Leben ist nur bei ständigem Energiezustrom möglich. Erläutern Sie.
 - *Die Makromoleküle der Zellen verändern sich spontan und zerfallen. Zur Erhaltung der Zellstrukturen und der Zellfunktionen werden ständig biologische Moleküle aufgebaut. Für diese Stoffwechselvorgänge ist Energie notwendig.*

Aufbau der Biomembranen (Seite 33)

- ① Beschreiben Sie am Beispiel einer Pflanzenzelle zwei zeitgleich verlaufende Stoffwechselreaktionen.
 - *Beispielsweise kann in einer Pflanzenzelle zugleich Zellatmung und Fotosynthese ablaufen.*
- ② Wie viele Biomembranen geben übereinander gelegt die Dicke einer Buchseite (0,08 mm)?
 - *Die Dicke einer Buchseite beträgt ca. 0,1 mm (z. B. misst man die Dicke eines Teils des Buches mit 100 Blättern). Das entspricht einem Stapel von 1,25 Millionen Elementarmembranen.*

Material: Die Energieversorgung der Zelle (Seite 38/39)

Eine detaillierte Beschreibung der Stoffwechselvorgänge ist in Natura 10/11 auf Seite 142 ff. zu finden.

Seite 38

- ① Geben Sie die Bruttogleichung für diesen Stoffwechselvorgang an.
 - *Bruttogleichung der Zellatmung: $C_6H_{12}O_6 + 6 H_2O \rightarrow 6 CO_2 + 12 H_2O$ (–2900 kJ)*
- ② Benennen Sie die Teilprozesse des Glucoseabbaus. Beschreiben Sie anhand des Schemas die wesentlichen Vorgänge bei den jeweiligen Teilprozessen.
 - *Glykolyse: Abbau von Glucose bis zur Brenztraubensäure (C_3 -Körper), Bildung von 2 Mol ATP und 4 mol $NADH_2$ je Mol Glucose.*
Oxidation von Brenztraubensäure (BTS): Oxidativer Abbau von BTS mit Decarboxylierung zu aktivierter Essigsäure (C_2 -Körper). Bildung von 2 Mol CO_2 und 2 Mol $NADH_2$ je Mol Glucose.
Tricarbonsäurezyklus: Verbindung von aktivierter Essigsäure und einem Akzeptormolekül (zu Citronensäure). Oxidativer Abbau von durch Aufnahme von 6 Mol H_2O je Mol Glucose und zweimaliger Decarboxylierung. Regeneration des Akzeptormoleküls. Bildung von 4 Mol CO_2 , 2 Mol ATP, 6 Mol $NADH_2$ und 2 Mol $FADH_2$ je Mol Glucose.
Atmungskette – Endoxidation: Reaktion des von $NADH_2$ und 2 Mol $FADH_2$ mit Sauerstoff unter Bildung von NAD und FAD sowie H_2O . Die frei werdende Energie wird (teilweise) zum Aufbau von ATP aus ADP und Phosphat eingesetzt.

- ③ Der vollständige Abbau von einem Mol Glucose zu Kohlenstoffdioxid und Wasser setzt etwa 2900 kJ Energie frei. Der Aufbau von einem Mol ATP aus ADP und Phosphat erfordert 30 kJ Energie. Ermitteln Sie, wie viel Prozent der Energie aus der Glucoseoxidation in den Aufbau von ATP überführt werden. Wie groß ist der Anteil der freigesetzten Energie, die für die Zelle nicht nutzbar ist? Was geschieht mit dieser Energie?
- *Energieübertragung auf ATP aus 1 Mol Glucose: $38 \times 30 \text{ kJ} = 1140 \text{ kJ}$. Das entspricht etwa 39,3 % der insgesamt frei werdenden Energie. Etwa 60,7% der Energie werden in Form von Wärme freigesetzt und sind für den zellulären Stoffwechsel nicht mehr verfügbar.*
- ④ Ordnen Sie einer der beiden elektronenmikroskopischen Aufnahmen Reaktionsorte der Zellatmung zu.
- *Abbildung 5 zeigt ein Mitochondrium. In der Matrix läuft der Tricarbonsäurezyklus ab, an der inneren Membran die Atmungskette.*
- ⑤ Frische Speisepilze (z. B. Austernpilze) führen Zellatmung durch. Planen Sie ein Experiment, mit dem sich dieser Stoffwechselvorgang nachweisen lässt.
- *Experiment: Zum Beispiel Nachweis des Atmungsgases Kohlenstoffdioxid mithilfe von Kalkwasser.*
- ⑥ Geben Sie die Bruttogleichungen für die Milchsäuregärung und die alkoholische Gärung an.
- *Bruttogleichung der alkoholischen Gärung: $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 2 \text{CO}_2 + 2 \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (–234 kJ)*
Bruttogleichung der Milchsäuregärung: $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 2 \text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ (–218 kJ)
- ⑦ Vergleichen Sie die Energieausbeute von Gärung und Zellatmung.
- *Die Energieausbeute der Zelle bei Abbau von einem Mol Glucose liegt bei 38 Mol ATP im Fall der Zellatmung, jedoch nur bei 2 Mol ATP bei der alkoholischen Gärung und der Milchsäuregärung.*
- ⑧ Hefezellen zeigen den Pasteureffekt, d. h. dass sie in Gegenwart von Sauerstoff Zellatmung durchführen, unter Sauerstoffabschluss jedoch gären. Welche Bedeutung hat dieser Effekt für Hefezellen? Planen Sie ein Experiment, mit dem sich der Pasteureffekt nachweisen lässt.
- *Der Pasteureffekt ermöglicht Hefe sowohl bei Gegenwart von Sauerstoff als auch bei Sauerstoffabschluss ATP für Stoffwechselprozesse zu bilden. Dementsprechend können Hefen in Lebensräumen existieren, in denen sowohl Sauerstoff vorhanden ist, als auch Sauerstoffmangel herrschen kann.*
Nachweis des Pasteureffekts beispielsweise mithilfe durchlüfteter und nicht durchlüfteter Zuckerlösung. Untersuchung auf Hefewachstum und Vorhandensein bzw. Nichtvorhandensein von Alkohol.

Seite 39

- ① Geben Sie die Bruttogleichung der Fotosynthese an.
- *Bruttogleichung der Zellatmung: $6 \text{CO}_2 + 12 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$ (+ 2900 kJ)*
- ② Beschreiben Sie die biologische Bedeutung der Fotosynthese für die Pflanze aus energetischer Sicht.
- *Pflanzen erzeugen bei der Fotosynthese mithilfe der Energie des Lichts energiehaltige Stoffe aus den energiearmen Stoffen Wasser und Kohlenstoffdioxid.*
- ③ Welche Stoffe im Schema (Abb. 3) sind Energieträger?
- *In Abbildung 3 sind im Schema energietragende Stoffe für den Stoffwechsel die Stoffe NADPH_2 , ATP sowie Kohlenhydrate.*
- ④ Ordnen Sie einem der beiden elektronenmikroskopischen Fotos die Reaktionsorte der Fotosynthese zu.
- *Abbildung 6 zeigt einen Chloroplasten. Im Stroma läuft die lichtunabhängige Reaktion ab, an der inneren Membran, der Thylakoidmembran, die lichtabhängige Reaktion.*
- ⑤ Beschreiben Sie den Vorgang, bei dem die Energie des Sonnenlichts auf Chlorophyll übertragen wird.
- *Licht geeigneter Wellenlänge regt in den Chloroplastenmolekülen, die sich in den Thylakoidmembranen befinden, Elektronen an. Es wird durch Lichtabsorption die Energie des Lichts auf Elektronen übertragen.*
Im Verlauf der lichtabhängigen Reaktionen wird die Energie in chemisch verfügbare Form überführt durch Aufbau von NADPH_2 aus NADP und Wasserstoff, der bei der Wasserspaltung frei wird.

- ⑥ Vergleichen Sie die Fotosynthese und Chemosynthese. Ermitteln Sie Unterschiede und Gemeinsamkeiten.
- *Gemeinsamkeiten von Fotosynthese und Chemosynthese: Sekundäre lichtunabhängige Reaktion (Calvinzyklus). Energetische Kopplung mit der Primärreaktion durch ATP und NADPH₂. Unterschiede von Fotosynthese und Chemosynthese: Bei der Fotosynthese ist die Energie liefernde Primärreaktion ein fotochemischer Prozess. Bei der Chemosynthese ist die Energie liefernde Primärreaktion ein biochemischer Prozess. Energielieferanten sind anorganische Stoffe aus der Umgebung der Mikroorganismen, die zur Chemosynthese fähig sind.*
- ⑦ Vergleichen Sie die Auswirkung von Fotosynthese und Chemosynthese auf den Energiehaushalt der Erde.
- *Durch Fotosynthese wird die Energie des Sonnenlichts chemisch gebunden. Damit wird die auf der Erde gespeicherte und verfügbare Energiemenge erhöht. Durch Chemosynthese werden bereits vorhandene energiehaltige anorganische Substanzen chemisch verändert und vorhandene Energie entzogen. Hier ändert sich die auf der Erde gespeicherte und verfügbare Energiemenge nicht.*
- ⑧ Informieren Sie sich über Stickstoffbakterien der Gattungen Nitrosomonas und Nitrobakter. Erläutern Sie deren Energiestoffwechsel und ökologische Bedeutung.
- *Bakterien der Gattungen Nitrosomonas und Nitrobakter leben vergesellschaftet im Boden, vor allem in Ackerböden. Nitritbakterien der Gattung Nitrosomonas nehmen aus dem Boden Ammoniak (NH₄⁺) auf, der bei Fäulnisprozessen entsteht. Durch Oxidation entsteht Nitrit (NO₂⁻), Die dabei frei werdende Energie wird zur Assimilation von Kohlenstoffdioxid eingesetzt. Nitratbakterien der Gattung Nitrobakter oxidieren das von Nitrosomonas gebildete Nitrit zu Nitrat (NO₃⁻). Frei werdende Energie kann ebenfalls zur Assimilation eingesetzt werden. Nitrat ist die Hauptquelle für die Stickstoffversorgung von Ackerpflanzen. Nitrosomonas und Nitrobakter müssen notwendigerweise gemeinsam auftreten. Nitrobakter kann ohne Nitrit von Nitrosomonas nicht leben und Nitrosomonas würde sich bei Anreicherung des Abfallprodukts Nitrit langsam vergiften.*
- ⑨ Informieren Sie sich über die Beziehungen zwischen Black Smokers, Röhrenwürmern und Chemosynthese.
- *Black Smokers sind heiße Tiefseequellen in mehreren tausend Metern Tiefe. Aus dem Erdinnern gelangen mit mehrere hundert Grad heißem Wasser gelöste Stoffe ins Meer, darunter Schwefelverbindungen. Durch Abkühlung kommt es zur Ausfällung gelöster Stoffe, wobei die vorhandenen Manganverbindungen schwarze Schwaden bilden. Daher führt die Bezeichnung für diese heißen Quellen. Hier leben Schwefelbakterien innerhalb eines speziellen Organs (Trophosom) von Röhrenwürmern. Die Bakterien erhalten Energie, indem sie im Wasser enthaltenen Schwefelwasserstoff oxidieren. Dabei entsteht elementarer Schwefel. Mit der Energie dieses chemosynthetischen Prozesses wird aus dem Wasser Kohlenstoffdioxid aufgenommen und durch Assimilation Glucose gebildet. Den Röhrenwürmern stehen so für eigene Stoffwechselprozesse Kohlenhydrate als Energielieferanten zur Verfügung. Indirekt nutzen die Röhrenwürmer die anorganischen energiehaltigen Stoffe der unterseeischen Quellen.*
- ⑩ In welcher Form kann ein Organismus Energie für Wochen oder Monate speichern?
- *Langfristige Energiespeicherung in Organismen ist erfolgt in Polysacchariden (Stärke, Glykogen) oder Fetten.*
- ⑪ Warum sterben Pflanzen nicht, wenn sie nachts ohne Licht leben müssen?
- *Pflanzen sterben nachts nicht infolge Energiemangels, weil die bei Tag gebildeten energiereichen Kohlenhydrate (wie etwa Stärke) nachts abgebaut werden und so die Energieversorgung des Organismus ermöglichen. In Chloroplasten ist Stärke zu finden, die bei Nacht abgebaut wird (transitorische Stärke).*

Material: Energetische Kopplung und Fließgleichgewicht (Seite 40/41)

Seite 40

- 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 Kartoffelextrakts 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 Frühljahrsaustrieb 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 dann 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 Kursstufe Seite 28). 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.
 - *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).*

Seite 41

- ① Beschreiben Sie den im Experiment ablaufenden Energietransfer.
 - *Chemische Energie wird umgewandelt und in Form von Licht abgegeben.*
- ② 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.*
- ③ 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.*
- ④ 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.*
- ⑤ Beschreiben Sie die Leuchterscheinung.
 - *Es entsteht ein bläuliches Leuchten, das von den Partikeln der zerkleinerten Krebschen ausgeht.*
- ⑥ 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.*
- ⑦ 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.*
- ⑧ 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.*
- ⑨ 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.*
- ⑩ 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.*

- ⑪ Vermindern Sie den Zufluss aus Gefäß (1) nach Augenmaß auf etwa die Hälfte. Messen Sie nun die neue Wasserstromstärke.
Berechnen Sie, wie lange es dauert, 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.*
- ⑫ 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.*
- ⑬ Nennen Sie Beispiele für Stoffe, die in eine Zelle ein- und austreten.
- *Beispiele für Stoffaufnahme in Zellen: Zucker, Sauerstoff, Kohlenstoffdioxid (z. B. assimilierende Zellen), Aminosäuren (Tierzellen), Mineralstoffe (darunter auch Spurenelemente). Beispiele für Stoffabgabe durch Zellen: Zucker (z. B. assimilierende Zellen), Sauerstoff (assimilierende Zellen), Kohlenstoffdioxid, Harnstoff, Zellulose (Zellwandmaterial).*

4 Enzyme – Katalysatoren des Stoffwechsels

Praktikum: Enzyme (Seite 44)

- *Versuch 1 und 2: Braunstein und Kartoffel entfalten die gleiche Wirkung, Wasserstoffperoxid wird in Wasser und Sauerstoff gespalten. Dass die Gasentwicklung auf die Gegenwart von Braunstein oder der Kartoffel zurückzuführen ist, zeigt das Kontrollexperiment (Blindprobe), bei dem der Wasserstoffperoxidlösung statt des Braunsteins Sand zugesetzt wurde. Damit der Sauerstoffnachweis mithilfe der Glühspanprobe gelingt, sollte nicht gleich nach Beginn der Gasentwicklung die Probe durchgeführt werden, sondern erst ca. 30 Sekunden später. Dann hat sich in der Regel über der Flüssigkeit genügend reiner Sauerstoff angesammelt.*
- *Versuch 3: Dieses Experiment zeigt, dass die Kartoffel bei der Zersetzung des Wasserstoffperoxids praktisch nicht verbraucht wird. Denn auch die alte Kartoffel aus dem vorangegangenen Experiment bewirkt die Spaltung der frisch zugesetzten Wasserstoffperoxidlösung. Im Vergleich zu einem frischen Stück Kartoffel ist in der Regel kein Unterschied zu erkennen, vorausgesetzt, das alte Stück Kartoffel bleibt nicht längere Zeit liegen.*
- *Versuch 4: Die im Vergleich zu Versuch 2 deutlich höhere Gasentwicklung zeigt, dass die Reaktionsgeschwindigkeit von der Oberfläche der Kartoffel abhängt. Das Zerreiben bewirkt, dass pro Zeiteinheit wesentlich mehr reaktive Wasserstoffperoxidmoleküle an die Oberfläche der Kartoffel angelagert und umgesetzt werden können.*
- *Versuch 5: Dieser Versuch zeigt die Temperaturabhängigkeit der Enzymaktivität. Bei 37°C ist eine starke Gasentwicklung zu beobachten, bei nahe 0°C nur eine sehr geringe. Wird die Kartoffel zuvor gekocht, ist aufgrund von Denaturierung der Katalase überhaupt keine Gasentwicklung (bei Zimmertemperatur) mehr zu beobachten. Wichtig ist dabei, dass die Kartoffel vor der Zugabe von Wasserstoffperoxid wirklich bis auf Zimmertemperatur abkühlt (mindestens jedoch unter 40°C), da höhere Temperaturen (ab etwa 50°C) eine Hitzespaltung des instabilen Wasserstoffperoxids bewirken. Das wäre ein irreführender Effekt.*
- *Versuch 6: Dieser Versuch zeigt die pH-Abhängigkeit der Enzymaktivität. Katalase wird sowohl bei sehr kleinen als auch bei sehr hohen pH-Werten denaturiert, sodass ihre Wirkung verloren geht, d.h. keine Gasentwicklung zu beobachten ist.*

- Versuch 7: Dieser Versuch zeigt die Denaturierung von Enzymen durch Schwermetalle, die in der Regel irreversibel ist. Sie beruht darauf, dass Schwermetalle sehr schwer lösliche Sulfide bilden, die in Gegenwart von Eiweiß dadurch entstehen, dass den Eiweißen der in ihnen enthaltene Schwefel entzogen wird, sodass ihre Tertiärstruktur zerstört wird. Wichtig für das Gelingen dieses Versuchs ist eine hinreichende Einwirkzeit der Schwermetall-Lösung auf die Kartoffel.

Untersuchung der Aktivität in Abhängigkeit vom pH-Wert (Seite 44)

- Dieses quantitative Experiment ist gut in einer Doppelstunde durchführbar, wenn die Pufferlösungen mit den entsprechenden pH-Werten nicht erst in der Stunde hergestellt werden müssen, sondern schon bereit stehen. Der Vorteil dieses Experiments besteht in dem relativ geringen Aufwand an Geräten und Reagenzien sowie in der weitgehenden Unschädlichkeit der verwendeten Chemikalien. Auch die Auswertung des Experiments ist für die Schüler einfach durchzuführen, da sie nicht mit den ihnen ungeliebten Konzentrationseinheiten rechnen müssen. Vielmehr reicht es, den Kehrwert der Zeit bis zur Entfärbung der Lösung als Maß für die Reaktionsgeschwindigkeit bzw. für den Substratumsatz einzusetzen. Denn bis zur Entfärbung der Stärkelösung wird immer die gleiche Menge Substrat umgesetzt, vorausgesetzt, die Reagenzgläser sind sorgfältig mit den richtigen Mengen befüllt worden. Je kürzer die Zeit bis zur Entfärbung, desto größer der Substratumsatz pro Zeiteinheit, d.h. die Reaktionsgeschwindigkeit. Um den Zeitpunkt der Entfärbung besser erkennen zu können, legt man weißes Papier unter den Reagenzglasständer. Diese Methode ist zwar relativ fehlerträchtig, führt aber unter schulischen Bedingungen zu brauchbaren Ergebnissen (s. Abb. 1). Eine Einschränkung gibt es allerdings dadurch, dass bei pH-Werten über 8 infolge der dann merklich eintretenden Disproportionierung des Iods keine brauchbaren Ergebnisse mehr erzielt werden. Die Lösung entfärbt sich dann auch ohne Enzymzugabe. Dadurch erhält man bei der grafischen Auswertung nur eine (die linke) Hälfte der Optimumskurve für die Amylaseaktivität in Abhängigkeit vom pH-Wert. Wenn man die Schüler auf diese Schwierigkeit aufmerksam macht, kann man auch ohne Verlust der Glaubwürdigkeit den fehlenden Teil als Lehrerinformation nachreichen.

Anhang: Zusammensetzung der Pufferkomponenten:

1. Dinatriumhydrogenphosphat, $c = 0,2 \text{ mol/l}$

2. Citronensäure, $c = 0,1 \text{ mol/l}$

Die Tabellen geben die Ergebnisse von Schülerexperimenten wieder, die zur Untersuchung der Amylaseaktivität durchgeführt wurden. Für die Experimente wurde aus Kostengründen keine reine Amylase, sondern das preisgünstige Pankreatin verwendet (z.B. bei Firma Merck erhältlich), das Amylase enthält.

Herstellung der Puffer-Lösungen:

pH-Wert	4,5	5,0	5,4	5,8	6,2	6,8	7,4	8,0
Dinatriumhydrogenphosphat-Lösung in ml	9,35	10,3	11,15	12,09	13,22	15,45	18,17	19,45
Citronensäure in ml	10,65	9,7	8,85	7,91	6,78	4,55	1,83	0,55

Übersicht über die Ergebnisse der Experimente zu den Eigenschaften der Amylase

I. Wirksamkeit in Abhängigkeit von der Temperatur

Temperatur in °C	20	25	30	35				
pH	6,8	6,8	6,8	6,8				
Zeit bis zur Entfärbung	180 s	155 s	30 s	15 s				

Temperatur in °C	35	40	50	65				
pH	6,8	6,8	6,8	6,8				
Zeit bis zur Entfärbung	45 s	30 s	20 s	10 s				

Temperatur in °C	5	10	20	25				
pH	6,8	6,8	6,8	6,8				
Zeit bis zur Entfärbung	30 min	19,5 min	13 min	6 min				

Temperatur in °C	5	20	35	45				
pH	6,8	6,8	6,8	6,8				
Zeit bis zur Entfärbung	720 s	140 s	40 s	10 s				

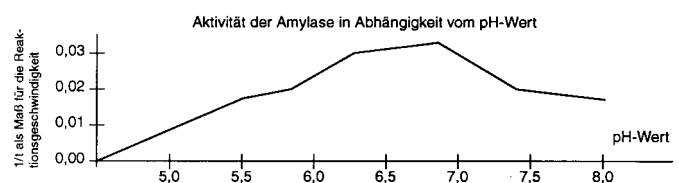
II. Wirksamkeit in Abhängigkeit vom pH-Wert

pH	4,6	5,0	5,4	5,8	6,2	6,8	7,4	8,0
Zeit bis zur Entfärbung	228 s	110 s	60 s	50 s	35 s	30 s	50 s	55 s

pH	4,6	5,0	5,4	5,8	6,2	6,8	7,4	8,0
Zeit bis zur Entfärbung	30 min	30 min	6,8 min	7,5 min	8,6 min	9,3 min	10 min	13 min

pH	4,6	5,0	5,4	5,8	6,2	6,8	7,4	8,0
Zeit bis zur Entfärbung	35min	60s	130s	20s	30s	15s	112s	115s

pH	4,6	5,0	5,4	5,8	6,2	6,8	7,4	8,0
Zeit bis zur Entfärbung	25min	460s	30s	105s	70s	120s	150s	570s



Material: Aufbau von Enzymen (Seite 45)

① Welche Rückschlüsse sind auf den Aufbau des hier eine Rolle spielenden Enzyms möglich. Begründen Sie Ihre Schlussfolgerungen konkret anhand der einzelnen Experimente.

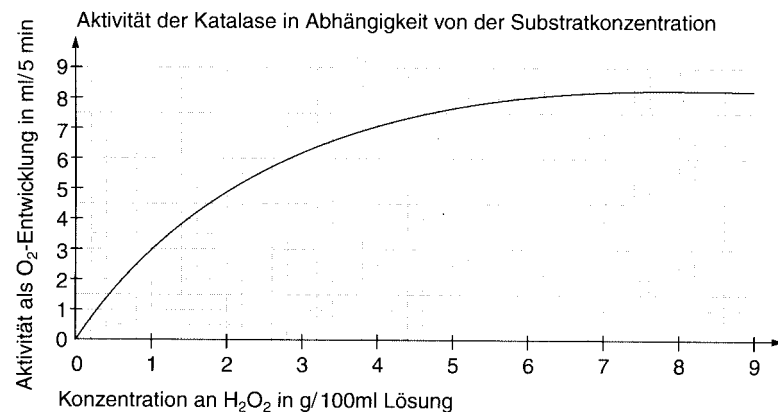
- Das Experiment von HARDEN und YOUNG zeigt
 - dass die katalytisch wirksamen Moleküle im Cytoplasma gelöst sind (c).
 - dass 2 verschiedene Moleküle bzw. Moleküluntereinheiten die Kohlenstoffdioxidentwicklung katalysieren, für sich allein aber keine Wirkung zeigen (d), dieses nur in Wechselwirkung miteinander vermögen (Versuchsreihe 2, 1. Versuch).
 - dass eine der beiden wirksamen Komponenten temperaturempfindlich (in Lösung 2 aus dem Inneren des Dialyseschlauchs) ist, die andere nicht (in Lösung 1 aus dem Gefäß, in das der Dialyseschlauch eintaucht).

Das Ergebnis zeigt ferner, dass die temperaturunempfindliche Komponente niedermolekular ist (denn sie diffundiert durch den Dialyseschlauch), die temperaturempfindliche hochmolekular ist (zu groß für die Poren des Dialyseschlauchs). Das wirksame Enzym sollte also aus einer Proteinkomponente und einer abspaltbaren Nichtproteinkomponente (Coenzym) bestehen.

Die Wirkung der Katalase in Abhängigkeit von der H_2O_2 -Konzentration

① Setzen Sie die Werte der Tabelle in eine Grafik um. Achten Sie bei der Umsetzung auf eine sinnvolle Achsenwahl und die Beschriftung.

- siehe Abbildung



② Erläutern Sie den Kurvenverlauf. Welche allgemeinen Rückschlüsse sind auf die Wirkungsweise von Enzymen möglich? Gehen Sie dabei auch auf die einzuhaltenden Versuchsbedingungen ein.

- Es handelt sich um eine typische Sättigungskurve. Um das vorliegende Ergebnis zu erhalten, wurde bei konstanter Temperatur und konstanter Enzymkonzentration die Substratkonzentration variiert und der Substratumsatz gemessen. Temperatur und Enzymkonzentration müssen deshalb konstant gehalten werden, weil auch durch sie die Reaktionsgeschwindigkeit beeinflusst wird. Will man aussagekräftige Ergebnisse erhalten, müssen also alle den Messwert beeinflussenden Größen bis auf eine (Variable) konstant gehalten werden. Bei niedrigen Substratkonzentrationen ist die Zahl der Substratmoleküle selbst der begrenzende Faktor. Die Enzymmenge ist im Vergleich so groß, dass praktisch augenblicklich alle Substratmoleküle umgesetzt werden, d.h. der größte Teil der zur Verfügung stehenden Bindungszentren ist unbesetzt. Deshalb kann zunächst auch durch Erhöhung der Substratkonzentration die Reaktionsgeschwindigkeit erhöht werden, bis die Zahl der Substratmoleküle so groß geworden ist, dass sie durch die begrenzt vorhandenen Enzymmoleküle nicht mehr sofort umgesetzt werden können. Die Kapazitätsgrenze wird nach und nach erreicht. Damit wird die Enzymmenge mit zunehmender Substratkonzentration immer mehr zum begrenzenden Faktor (abfallender Teil der Kurve), bis sie schließlich allein begrenzend wird (parallel zur x-Achse verlaufender Abschnitt). Die Kapazität der Enzyme (bestimmt durch ihre Wechselzahl) ist ausgeschöpft, d.h. alle Bindungszentren sind mit Substratmolekülen besetzt, sodass eine weitere Erhöhung der Substratkonzentration keine weitere Erhöhung der Reaktionsgeschwindigkeit mehr bewirken kann.

Bei sehr hohen Substratkonzentrationen (hier nicht dargestellt) tritt wieder eine Abnahme des Substratumsatzes ein (Substrathemmung), da die Substratmoleküle um das Bindungszentrum der Enzyme konkurrieren und sich dabei gegenseitig behindern.

Die Temperaturabhängigkeit der Ureasewirkung

- ① Begründen Sie, weshalb bei allen Versuchen mit jeweils derselben Menge Harnstoff- und Urease-lösung gearbeitet wird.
 - *Um das vorliegende Ergebnis zu erhalten, wurde bei konstanter Enzym- und Substratkonzentration und variabler Temperatur der Substratumsatz gemessen. Substrat- und Enzymkonzentration müssen deshalb konstant gehalten werden, weil auch durch sie die Reaktionsgeschwindigkeit beeinflusst wird. Will man aussagekräftige Ergebnisse erhalten, müssen also alle den Messwert beeinflussenden Größen bis auf eine, die Variable, konstant gehalten werden. Die Variable ist hier die Temperatur.*
- ② Erläutern Sie anhand der Grafik die Ergebnisse der Versuche einzeln und im Vergleich.
 - *Das Ergebnis zeigt die starke Temperaturabhängigkeit enzymatisch katalysierter Reaktionen, bei denen die Reaktionsgeschwindigkeit bei einer Temperaturerhöhung um das Zwei- bis Vierfache zunimmt (RGT-Regel). Dieser Zusammenhang spiegelt sich in den Messweltergebnissen auch wider, allerdings nur bei Temperaturen bis zu 40°C. Die grafische Auswertung der Messergebnisse zeigt deutlich, dass die Reaktionsgeschwindigkeit bei den gemessenen Temperaturen bis 40°C jeweils um mehr als das Doppelte zunimmt. Bei 50°C flacht die Kurve nach einiger Zeit stark ab, d. h. der Substratumsatz kommt zum Erliegen. Bei 60°C ist dieses schon kurz nach Versuchsbeginn der Fall, sodass insgesamt nur wenig Substrat umgesetzt wird. Ursache dafür ist die Denaturierung des Enzyms durch hohe Temperaturen, die bei 60°C schneller einsetzt als bei 50°C. Die Denaturierung bewirkt eine Zerstörung der Tertiärstruktur, was zum Verlust der Funktion führt. Die für die Funktion wichtige Passform (Schlüssel-Schloss-Prinzip) ist nicht mehr vorhanden.*

Die Reaktionsbedingungen bestimmen die Enzymaktivität (Seite 46 / 47)

- ① Bei den wechselwarmen Eidechsen kann man beobachten, dass sie sich nach einer kühlen Nacht zunächst längere Zeit an sonnigen Stellen aufhalten, bevor ihre eigentliche Aktivitätsphase beginnt. Erklären Sie diese Beobachtung.
 - *Bei wechselwarmen Organismen entspricht die Stoffwechselaktivität der RGT-Regel, da ihre Körpertemperatur weitgehend durch die Außentemperatur bestimmt wird. Bei niedrigen Temperaturen führt das zu einer mangelnden Bewegungsfähigkeit. Es ist deshalb ein Überlebensvorteil, wenn eine Eidechse nach einer kühlen Nacht an relativ sicherer Stelle ihren Körper zunächst der Sonnenwärme aussetzt, bevor sie sich, aufgeheizt und somit zu schnellen Bewegungen fähig, auf die Jagd begibt.*
- ② Nähert sich die Körpertemperatur bei hohem Fieber dem Wert von 42°C, ist dieses für den Menschen lebensbedrohend. Erläutern Sie die Gründe dafür.
 - *Bei Temperaturen über 42°C denaturiert bereits ein Teil der lebenswichtigen Enzymeiweiße, die dadurch mehr oder weniger stark ihre Funktion einbüßen. Das hat bei Anhalten dieses Zustandes den Zusammenbruch lebenswichtiger Stoffwechselfunktionen zur Folge.*
- ③ Um Milch für längere Zeit haltbar zu machen, erhitzt man sie kurzzeitig unter Druck auf etwa 115°C und füllt sie dann keimfrei ab. Weshalb wird dadurch das Sauerwerden der Milch unterbunden?
 - *Durch Temperaturen von 115°C werden die für die Milchsäuregärung verantwortlichen Bakterien vollständig abgetötet. Für das Schlechtwerden einer so behandelten Milch (H-Milch) sind andere Bakterien verantwortlich. Man kann diesen Zusammenhang durch eine einfache pH-Wert-Messung überprüfen. Verdorbene H-Milch zeigt einen leicht alkalischen pH-Wert, ist also nicht sauer, wie viele glauben. In kurzzeitig pasteurisierter Milch (Frischmilch) hingegen überleben hinreichend viele Milchsäurebakterien, sodass diese Milch tatsächlich durch die bei der Milchsäuregärung entstehende Milchsäure sauer wird (pH-Wert ca. 4).*
- ④ Setzt man Tee mit Milch noch Zitrone zu, flockt die Milch aus. Erläutern Sie das Phänomen.
 - *Milch enthält Eiweiße, die bei niedrigen pH-Werten denaturieren und ausflocken. Genau dieses wird durch die Zugabe von Zitrone (Citronensäure) bewirkt.*

Der Einfluss des Bindungspartners auf die Enzymaktivität (Seite 48 / 49)

- ① Welchen Einfluss hat eine Erhöhung der Enzymkonzentration auf die Substratsättigungskurve?
- *Wird die Enzymkonzentration erhöht, können pro Zeiteinheit mehr Substratmoleküle umgesetzt werden. Dadurch wird zum einen erst bei höheren Substratkonzentrationen die Enzymkonzentration zum begrenzenden Faktor, d.h. das Plateau der Sättigungskurve wird erst später erreicht. Zum anderen liegt die neue Sättigungskurve über dem Niveau der ursprünglichen, da durch die Erhöhung der Anzahl der Enzymmoleküle insgesamt die Kapazität des untersuchten Systems erhöht wurde.*

Von der DNA zum Organismus

1 Bau und Bedeutung der DNA

DNA – Träger der Erbinformation (Seite 54)

- ① AVERY behandelte die abgetrennte DNA zusätzlich mit proteinspaltenden Enzymen und die Proteine mit DNA-spaltenden Enzymen. Welchen Sinn hatten diese Maßnahmen?
 - Die Trennung der DNA und der Proteine waren zwar gegenüber den früheren Verfahren stark verbessert und ermöglichten überhaupt erst die Versuche AVERYS. Trotzdem blieb in der DNA-Fraktion immer noch eine kleine Menge Proteine (ca. 2 %), ebenso in der Proteinfraktion eine geringe Menge DNA. Kritische Kollegen konnten natürlich diesen kleinen Proteinmengen die transformierenden Eigenschaften zuschreiben, sodass der Nachweis der DNA als Träger der Erbinformation nicht völlig eindeutig geglückt wäre. Durch die enzymatische Zerstörung wurden auch diese Beimengungen unschädlich gemacht und konnten keinen Zweifel am Ergebnis der Experimente aufkommen lassen.
- ② Von den kapselbildenden Pneumokokken existieren Formen mit etwas unterschiedlichem Kapselaufbau, die mit I-S, II-S und III-S bezeichnet werden. Durch Mutation entsteht daraus die I-R, II-R bzw. die III-R-Form. Wie konnte AVERY zeigen, dass in seinen Versuchen tatsächlich Transformation, nicht Rückmutation für die Entstehung von S-Zellen aus R-Zellen verantwortlich war?
 - Eine Rückmutation eines III-R-Stammes müsste zu ihrem Ausgangszustand III-S zurückführen. AVERY verwendete nun aber verschiedene Formen bei seinen Transformationsexperimenten als Spender- bzw. Empfängerzellen. So gab er z. B. die DNA eines I-S-Stammes zu einem III-R-Stamm. Damit konnte er unterschiedliche Ergebnisse bei einer Transformation bzw. einer Rückmutation erwarten. Eine Transformation musste zu einem I-S-Stamm führen, von dem ja die Spender-DNA kam. Eine Rückmutation dagegen sollte einen III-S-Stamm, den Ausgangszustand der III-R-Mutanten, hervorbringen. AVERY stellte in seinen Versuchen stets die Kapselvariante fest, die durch eine Transformation, also entsprechend der Spender-DNA, gebildet werden sollte.

Praktikum: DNA auf dem Prüfstand (Seite 55)

1. Isolierung von DNA

- ① Wie sieht die DNA aus, die sich an der Phasengrenze sammelt?
 - An der Phasengrenzfläche sammelt sich eine geleeartige, Fäden ziehende Masse, die ausgefällte DNA. Die Fäden lassen sich leicht an einem Glas-, besser Holzstab aufwickeln und so aus der Flüssigkeit isolieren. Für die weiteren Versuche kann man sie am Rand eines Uhrglases abstreifen, aus dem man sie wieder aufnehmen kann.
- ② Wickeln Sie möglichst viel davon mit einem Holz- oder Glasstab auf! Sie dient als Ausgangsmaterial für die weiteren Versuche.
 - praktische Aufgabe

3. Nachweis der DNA-Grundbausteine

- ① Beschreiben und protokollieren Sie die Versuchsergebnisse. Vergleichen Sie die Ergebnisse der Versuche des DNA-Hydrolysats mit denen der Vergleichssubstanzen. Aus welchen Bausteinen ist demnach DNA aufgebaut?
 - Phosphat kann man mithilfe von Ammoniummolybdat in salpetersaurer Lösung nachweisen. Es ergibt sich ein gelber Niederschlag von Ammoniummolybdatphosphat. Für Chemiker die Formulierung:
$$2 \text{Mo}_6\text{O}_{21}^{6-} + 11 \text{H}^+ + \text{HPO}_4^{2-} + 3 \text{NH}_4^+ \rightarrow (\text{NH}_4)_3(\text{P}(\text{Mo}_3\text{O}_{10})_4)$$

Wie die Vergleichssubstanz Natriumdihydrogenphosphat, ergibt auch das DNA-Hydrolysat diesen charakteristischen Niederschlag, d.h. in der DNA ist Phosphat als ein Baustein enthalten. Mit ammoniakalischer Silbernitratlösung ergeben organische Purinbasen (in der DNA Adenin und Guanin) einen weißen, voluminösen Niederschlag. Allerdings könnte von Schülern die Kritik kommen, dass auch Chlorid mit Silberionen einen weißen Niederschlag liefert. Daher erfolgt der Kontrollversuch mit Natriumchlorid: Hier bleibt der Niederschlag aus. Durch die Komplexbildung der Silberionen mit Ammoniak wird das Auftreten eines Silberchloridniederschlags verhindert. Neben dem anderen Aussehen des Niederschlags bestätigt dieser Zusatzversuch, dass wirklich die orga-

nischen Basen dafür verantwortlich sind, nicht etwa Chlorid. In der DNA sind sie also als ein weiterer Baustein nachweisbar.

Dische-Reagenz ergibt mit Desoxyribose einen charakteristischen blauen Farbkomplex. Der Nachweis ist so genau, dass man damit den DNA-Gehalt einer Probe auch quantitativ ermitteln kann (durch Photometrie bei 595 nm). Andere Zuckerarten liefern diese Nachweisreaktionen nicht.

Die Versuche mit DNA-Hydrolysat ergeben die gleichen Ergebnisse in den Nachweisreaktionen wie die Vergleichssubstanzen Phosphat, Adenin (nicht aber Chlorid) und Desoxyribose. Diese drei Substanzen sind also auch Bestandteile der DNA.

4. Vergleich von DNA und RNA

- ① In welchen Punkten sind DNA und RNA gleich aufgebaut, wo unterscheiden sie sich?
 - RNA-Hydrolysat liefert in den ersten beiden Versuchen die gleichen Ergebnisse wie DNA. Damit sind auch für die RNA Phosphat und organische Basen als Bausteine nachgewiesen. Mit Dische-Reagenz ergibt sich aber keine Blaufärbung. In der RNA liegt also ein anderer Zuckerbaustein, die Ribose, vor (und könnte mit einer entsprechenden Reaktion, z. B. Orcein-Reagenz, nachgewiesen werden).

Bakterien und Viren – Versuchsorganismen der Genetik (Seite 59)

- ① Die US-amerikanischen Molekularbiologen A. D. HERSHEY und M. CHASE experimentierten im Jahr 1952 mit Bakterien und Bakteriophagen. Sie arbeiteten nacheinander mit Phagen-DNA, die mit radioaktivem Phosphor markiert war, sowie mit Phagenprotein, das radioaktiven Schwefel enthielt.
 - a) Zeigen Sie, dass dieses Experiment geeignet ist, um zu entscheiden, welcher der beiden Stoffe die Erbsubstanz ist.
 - b) Welches der beiden in diesem Experiment beschriebenen Verfahren ist dabei jedoch nur geeignet, die Radioaktivität nachzuweisen? Begründen Sie.
- a) Ist die Phagen-DNA mit radioaktivem Phosphor markiert, so lässt sich Radioaktivität im Innern der befallenen Bakterienzellen nachweisen, da Phagen die DNA in die Wirtszelle injizieren. Sind die Phagenproteine mit radioaktivem Schwefel markiert, so lässt sich in den befallenen Bakterienzellen keine Radioaktivität nachweisen. Die Phagenhüllen dringen nicht in die Bakterien ein. Das zeigt, dass DNA eindringt und die Veränderungen in Bakterienzellen auslöst.
- b) Durch Autoradiografie (s. Schülerbuch Seite 25) lässt sich Radioaktivität und ihre räumliche Verteilung nachweisen.

Die Entdeckung der Viren am Beispiel des TMV (Seite 61)

- ① Ordnen Sie der Grafik in der Randspalte den jeweiligen Postulaten von KOCH zu.
 - Grafik „Erreger in Kultur“: Der Erreger muss sich außerhalb des Körpers züchten lassen.
 - Grafik „Erreger im Gewebe“: Der Erreger muss sich im erkrankten Gewebe nachweisen lassen.
 - Grafik „Erreger wird auf ein Versuchstier übertragen“: Wenn die Organismen in Reinkultur Erreger sind, lösen sie nach Übertragung in einen Organismus die Krankheit aus.
- ② Stellen Sie auf einem Zeitpfeil die jeweils neu hinzugekommenen Kenntnisse über das Tabakmosaikvirus dar.
 - 1886: ADOLF MAYER benennt die Tabakmosaikkrankheit und zeigt, dass Blattextrakt infektiös ist.
 - 1892: DIMITRI IWANOWSKI entdeckt, dass Blattextrakt auch nach der Passage bakteriendichter Filter noch infektiös ist.
 - 1898: MARTINUS BEIJERINCK zeigt die Vermehrung des Erregers, die Diffusionsfähigkeit sowie die Resistenz des Erregers gegen Trocknung und Kälte.
 - 1935: W. M. STANLEY isoliert ein kristallisierbares Protein und zeigt dessen Infektiosität.
 - 1937: FREDERICK BAWDEN und NORMAN PIRIE weisen nach, dass der Erreger DNA enthält.
 - 1939: ERNST RUSKA und Mitarbeitern gelingt die erste EMI-Aufnahme des TMV.
- ③ Begründen Sie die Bedeutung der optischen Darstellung des Tabakmosaikvirus mit dem Elektronenmikroskop.
 - Die optische Darstellung des TMV ermöglicht die Bestimmung seiner Größe und ermöglicht das Wiedererkennen, falls TMV in anderen Präparaten vorhanden ist oder gezielt nach TMV gesucht wird.

Identische DNA-Replikation – aus eins mach zwei (Seite 62)

- ① Berechnen Sie die Replikationsgeschwindigkeit in Basen pro Sekunde für DNA von *E. coli* (4,2 Millionen Basenpaare), wenn ein Replikationszyklus 30 Minuten dauert.
 - Ein DNA-Ring von *E. coli* wird innerhalb von ca. 30 Minuten repliziert. (Die Generationszeit von *E. coli* liegt mit ca. 20 Minuten sogar noch darunter, da die Replikation an einem DNA-Ring bereits wieder von neuem beginnen kann, auch wenn seine Replikation noch nicht abgeschlossen ist.) Die Replikation beginnt an einer Startstelle, von da aus wandern zwei Replikationsgabeln in entgegengesetzter Richtung um den DNA-Ring. An jeder Gabel wird die Hälfte der *E. coli*-DNA verdoppelt, d. h. ca. 2,1 Millionen Basenpaare. Das bedeutet eine Replikationsgeschwindigkeit von ca. 70 000 Basenpaare pro Minute bzw. rund 1200 pro Sekunde.

Material: DNA-Verdopplung – aber wie? (Seite 63)

- ① Abbildung 2 zeigt die DNA-Arten von drei aufeinanderfolgenden Bakteriengenerationen unter Annahme eines konservativen, eines semikonservativen und eines dispersen Replikationsmechanismus. Charakterisieren Sie die Masse der dargestellten 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 würde 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 (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 statistisch 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 DNA wiederum statistisch verteilen, die Doppelstränge wären also „viertelschwer“.
- ② Welche DNA-Arten liegen nach den angegebenen Ergebnissen der Dichtegradientenzentrifugation bei den ersten beiden Bakteriengenerationen vor?
 - Nach einer ersten Replikation liegt im Versuch nur halbschwere DNA vor.
- ③ Vergleichen Sie diese Verhältnisse mit den dargestellten Möglichkeiten einer DNA-Replikation. Welcher Mechanismus der DNA-Replikation ist mit diesen Befunden nicht vereinbar?
 - 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 damit aus den Überlegungen aus.
- ④ Welche DNA-Arten liegen nach zwei Replikationen vor? In welchen Mengenverhältnissen?
 - Nach zwei Replikationszyklen liegt zur Hälfte halbschwere, zur Hälfte leichte DNA vor. Die Mengenverhältnisse können anhand der Höhe und Breite der DNA-Peaks abgeschätzt werden. Schwere DNA tritt nicht mehr auf.
- ⑤ Welche weitere Möglichkeit einer Replikation scheidet damit auch aus? Welche Ergebnisse erwarten Sie nach der dritten Replikation auf Nährmedium mit leichtem Stickstoff?
 - Mit dem Ergebnis von Aufgabe 4 scheidet auch die disperse Replikation aus. Zwar könnte man mangels eines Vergleiches den oberen Peak auch als „viertelschwere“ DNA interpretieren, doch dürfte nach den Überlegungen aus Aufgabe 1 bei einer dispersen Replikation nur eine Sorte DNA, nicht zwei verschiedene entstehen. Nach einer weiteren Replikation auf leichtem Nährmedium (nach dem semikonservativen Mechanismus, der als einziger mit den experimentellen Ergebnissen in Übereinstimmung steht) werden zu den beiden schweren Einzelsträngen zwei leichte synthetisiert. Es entstehen also zwei halbschwere DNA-Doppelstränge. Zu den 6 leichten Einzelsträngen werden ebenfalls 6 leichte aufgebaut. Es entstehen also 6 leichte Doppelstränge, halbschwere und leichte DNA wird somit im Verhältnis 1:3 gebildet.

- ⑥ Welche Ergebnisse wären bei den beschriebenen Versuchen zu erwarten, wenn die Replikation konservativ verlief?
- *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.*

Mitose – Verteilung genetischer Information (Seite 65)

- ① Ordnen Sie die Fotos der Abb. 64.1 den Phasen des Zellzyklus zu.
- ② Geben Sie für jedes Foto der Abbildung an, aus wie vielen DNA-Doppelsträngen ein Chromosom besteht.

1. Reihe von links nach rechts, Mitosephasen	(beginnende) Prophase	Telophase	Metaphase
Anzahl der DNA-Doppelstränge je Chromosom	2	1	2
2. Reihe von links nach rechts, Mitosephasen	(späte) Anaphase	(frühe) Anaphase	Telophase
Anzahl der DNA-Doppelstränge je Chromosom	1	1	1

- ③ DNA-Replikation vermehrt das genetische Material einer Zelle. Durch welchen Prozess wird es vermindert?
- *Bei der Meiose (Reduktionsteilung) wird das genetische Material vermindert.*
- ④ Stellen Sie die Unterschiede bei der Chromosomenverteilung durch Mitose bzw. Meiose heraus.
- *Im Verlauf der Mitose entstehen durch Trennung aus Zweichromatid-Chromosomen Einchromatid-Chromosomen. Dabei ist die Anzahl der Chromosomen in der Ausgangszelle so groß wie in den beiden entstehenden Tochterzellen. Bei der Meiose wird im Verlauf der ersten Reifeteilung die Anzahl der Chromosomen halbiert. In jede Tochterzelle gelangt jeweils ein Zweichromatid-Chromosom der beiden homologen Chromosomen eines diploiden Chromosomensatzes. Im Verlauf der zweiten Reifeteilung, die wie eine mitotische Teilung abläuft, werden aus den Zweichromatid-Chromosomen Einchromatid-Chromosomen.*

2 Vom Gen zum Phän

Die Ein-Gen-ein-Polypeptid-Hypothese (Seite 67)

- ① Geben Sie an, welches Gen für welches Enzym bei den in Abb. 1 dargestellten Neurospora-Typen jeweils mutiert ist.
- *Bei jeder Mangelmutterante 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. Im ersten Fall kann Neurospora nur wachsen, wenn ihr direkt Tryptophan zur Verfügung gestellt wird. Die Vorstufen dafür nützen nichts. Es kann also hier der letzte Aufbauschritt zum Tryptophan nicht vollzogen werden. Das Enzym für die Katalyse der Reaktion von Indol zu Tryptophan ist aufgrund der Veränderung in seinem Gen defekt. Im zweiten Fall funktioniert dieser Schritt. Diese Mutante wächst auch, wenn Indol (oder direkt das daraus gebildete Tryptophan) zur Verfügung steht. Indol selbst aber kann hier nicht synthetisiert werden, das Enzym für die Reaktion von Anthranilsäure zu Indol ist defekt. Entsprechend kann man von den anderen beiden Mutanten sagen, dass aufgrund ihrer Mutation die dritte keine Anthranilsäure, die vierte keine Chorisminsäure synthetisieren kann.*

- ② Der braune Augenfarbstoff Ommochrom von *Drosophila* wird nach dem unten stehenden Syntheschema aus der Aminosäure Tryptophan aufgebaut. Aus der Genetik kennt man die *Drosophila*-Mutanten vermilion (v), scarlet (st) und cinnabar (cn), bei denen die Ommochromsynthese nicht erfolgt und die Augen daher rot anstatt braunrot sind. Bei der cn-Mutante findet man das Zwischenprodukt Kynurenin angereichert, bei st das 3-Hydroxykynurenin, bei v Tryptophan selbst. Welches Gen ist bei den drei Mutationen jeweils verändert? Was sind die Folgen der Veränderung?
- Bei jeder der *Drosophila*-Mutanten reichert sich der Zwischenstoff an, der nicht mehr zum Ommochrom weiterverarbeitet werden kann, da das Enzym für diesen Schritt defekt ist. Ursache des Defekts ist wieder eine Mutation im codierenden Gen.
Reichert sich Tryptophan an, so kann es nicht weiterverarbeitet werden; aufgrund des genetisch bedingten Enzymdefekts verläuft der Reaktionsschritt zum Kynurenin nicht mehr.
Reichert sich Kynurenin an (Mutante cn), so liegt der Defekt im Gen für das Enzym, das die Umsetzung zum Hydroxykynurenin katalysiert.
Reichert sich schließlich Hydroxykynurenin an, so ist das Gen für eines der Enzyme mutiert, die für die endgültige Umsetzung zum Ommochrom verantwortlich sind.

Transkription – genetische Information wird beweglich (Seite 68)

- ① In welche m-RNA wird folgender DNA-Abschnitt transkribiert?
- 5'AACTCCGATCTATGGCTTGAAGA3'
3'TTGAGGCTAGATACCGAACCTTCT5'
- Start
- Startstelle und Transkriptionsrichtung sind markiert. Die m-RNA-Synthetase baut die m-RNA von 5' nach 3' auf. Sie lagert also die RNA-Nucleotide an den unteren Strang an, er ist der codogene. Die Basenfolge der entstehenden m-RNA ist komplementär zum unteren codogenen Strang, also gleich der des oberen DNA-Einzelstrangs. Allerdings ist zu beachten, dass RNA kein Thymin, dafür Uracil enthält. Die gesuchte m-RNA ist also 5'CUCCGAUCUAUGGCUUGGAAGA3'

Der genetische Code – Wörterbuch des Lebens (Seite 69)

- ① In welches Peptid wird folgende m-RNA übersetzt?
- 3'UUAGAUGAGCGACGAACCCCUAAAAUUUACCUAGUAGUAGCCAU5'
- Die Übersetzung der m-RNA beginnt am Startcodon AUG. Danach wird ein Triplet nach dem anderen entsprechend des genetischen Codes übersetzt. Es ergibt sich:
(Start-)Met-Ser-Asp-Glu-Pro-Leu-Lys-Phe-Thr-Stopp-Stopp-Stopp
(Dass hier mehrere Stoppcodons hintereinander folgen, entspricht durchaus den Verhältnissen in realen m-RNAs.)
- ② In welches Peptid wird folgender Abschnitt eines codogenen Strangs der DNA übersetzt?
- 5'CTGGCTACTGACCCGCTTCTTCTATC3'
- (Die Übersetzung beginnt natürlich immer am Startcodon.)
- Die vorliegende DNA-Sequenz muss zuerst in eine m-RNA „umgeschrieben“ werden. Sie hat die Basenfolge: 3'-GACCGAUGACUGGGCGAAGAAGAUAG-5'
Der Start für das entstehende Peptid ist wieder das Codon AUG. Von da an wird die m-RNA tripletweise übersetzt. Damit ergibt sich für das entstehende Peptid:
(Start-)Met-Thr-Gly-Arg-Arg-Stopp

Materialien: Der genetische Code – ein Tripletcode (Seite 70)

- ① Zeigen Sie an einem Satz im Tripletcode, z. B. „VORDERRNAISTDIEDNA“, wie durch den Wegfall, aber auch das Hinzufügen eines Buchstabens der Sinn völlig verloren gehen kann, wenn der Tripletcode beim Lesen beibehalten wird.
- Teilt man den Satz nach einem Tripletcode auf, so ergibt sich ein Sinn, der Satz ist „funktionsfähig“. Wird ein Buchstabe ausgelassen und der Code beim Lesen beibehalten, so ergeben sich von der veränderten Stelle ab veränderte Buchstabentriplets, die keine sinnvollen Kombinationen mehr liefern, z. B. VOR-D RR-NAI-STD-IED-NA. (Bei der Behandlung der Aufgabe sollte man den Buchstaben an einer vorderen Stelle des Satzes streichen.) Ähnlich ist es, wenn ein Buchstabe zugefügt und der Tripletcode beibehalten wird, z. B. VOA-RDE-RRN-AIS-TDI-EDN-A.

- ② Zeigen Sie an einer bestimmten m-RNA wie durch Wegfall eines Nucleotids der „Sinn“ verloren gehen und ein völlig verändertes Protein codiert werden kann.
- *Nimmt man eine der Beispiel-m-RNAs aus einer der vorhergehenden Aufgaben und fügt (der Deutlichkeit halber wieder an einer der vorderen Stellen) eine Base hinzu oder streicht eine, so ergibt sich beim Übersetzen in ein Peptid nach dem genetischen Code eine völlig andere Aminosäuresequenz. Man kann zusätzlich zeigen, dass unter Umständen das Starttriplett oder das Stoppcodon verändert werden kann. Es ergäbe sich dann überhaupt kein Peptid mehr oder ein viel zu langes (da die m-RNA natürlich unter normalen Verhältnissen wesentlich länger ist als in den Aufgaben gezeigt).*
- ① Zeigen Sie die Auswirkungen am Beispielsatz und der Beispiel-m-RNA auf.
- *Beim Verlust einer Base ergibt sich in der Phagen-DNA eine Rasterverschiebung, die danach gebildeten Proteine haben eine völlig andere Basenfolge als die ursprünglichen, wie man aus den Aufgaben 1 und 2 ersehen kann (–Mutante). Ebenso ist es beim Hinzufügen einer Base (+-Mutante).*
Mischt man eine +-Mutante und eine –Phagenmutante, bei denen die mutierten Stellen nicht allzu weit auseinanderliegen, so heben sich die beiden Mutationen bei einer Rekombination nahezu auf. Nur zwischen der Stelle, wo der Basenverlust auftrat, und der, wo eine Base hinzugefügt wurde, ist das codierte Protein anders als beim ursprünglichen Phagenstamm. Man kann das wieder an den Beispielsätzen der Aufgaben 1 und 2 veranschaulichen. Werden sie miteinander kombiniert, so ergibt sich z.B. VOA-RDR-RNA-IST-DIE-DNA. Auch hier ist der Sinn nur im Bereich zwischen Basenverlust und -einschub gestört.
- ② Zeigen Sie am Beispielsatz und der m-RNA, dass bei einem Tripletcode auch eine Mischung von 3 Mutanten der gleichen Art (+ oder –) wieder ein fast fehlerfreies Phagenprotein zur Folge haben kann.
- *Mischt man z. B. drei +-Mutantenstämme, bei denen die Mutationen nicht all zu weit auseinander liegen, so erfolgt insgesamt gesehen das Einfügen eines Triplets. Zwischen dem ersten und dritten Einschub ist der „Sinn“ der DNA gestört. Danach ist er wieder der alte. Das codierte Protein ist also um eine Aminosäure länger, hat im Bereich, wo die Mutationen liegen, auch eine andere Aminosäuresequenz, ist aber danach wieder dasselbe und damit unter Umständen auch wieder funktionsfähig. Im Beispielsatz könnte das so aussehen: VOA-XDX-RER-RNA-IST-DIE-DNA. Ebenso ist es, wenn drei –Mutanten ihre DNA rekombinieren können. Insgesamt gesehen erfolgt hier der Verlust eines Triplets. Danach entspricht die Triplet- und damit die Aminosäuresequenz wieder der ursprünglichen. Das Protein ist hier um eine Aminosäure kürzer und weist auf einer bestimmten Strecke (zwischen erster und dritter Mutation) wieder eine veränderte Basensequenz auf.*
- ③ Zeigen Sie am Beispielsatz im Quartettcode „HIERWIRDKLARDASSVIERKAUMGEHT“, dass eine Mischung von drei Mutanten der gleichen Art zur Wiederherstellung des Sinns der Information nicht ausreicht.
- *Bei dem Satz im Quartettcode führt eine Verschiebung um drei Buchstaben (durch Verlust oder Hinzufügen) nicht wieder zum ursprünglichen Leseraster, z. B. HIXX-ERWX-IRDK-LARD-ASSV-IERK-AUMG-EHT. In einem Quartettcode müsste eine Verschiebung um ein Quartett erfolgen. Da zu müssten 4 +- oder –Mutanten miteinander rekombinieren.*

Wie knackt man den genetischen Code? (Seite 70)

- ① 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 4 Triplets geklärt. Geben Sie sie an!
- *In der künstlichen m-RNA folgen immer die gleichen Triplets aufeinander und werden natürlich in ein Protein aus immer gleichen Aminosäuren übersetzt. Die vier Triplets und ihre Bedeutung sind: UUU = Phenylalanin, AAA = Lysin, CCC = Prolin, GGG = Glycin.*
- ② Verwendet man RNA, in der regelmäßig zwei Nucleotide abwechseln, erhält man Peptide aus jeweils 2 Aminosäuren.
- Wieso treten immer zwei Aminosäuren im Wechsel hintereinander auf? Kann man durch diese Versuche die Bedeutung weiterer Triplets eindeutig klären?
- *Durch die Versuche lässt sich die Bedeutung weiterer Triplets nicht eindeutig klären. Es ist nicht klar, an welcher Stelle die Übersetzung der Triplets in Aminosäuren beginnt. Ist A der Translationsstart, so ergibt sich die Reihenfolge der Triplets ACA-CAC-ACA-CAC... und ACA würde der*

ersten Aminosäure im Peptid entsprechen, also hier dem Histidin. Beginnt die Translation aber bei C, so ist das erste abgelesene Triplet CAC, und es entspricht der ersten Aminosäure.

- ③ Verwendet man andere, regelmäßige Polynucleotide aus längeren Untereinheiten, erhält man im Gemisch verschiedene Peptide .
Wieso werden hier jeweils mehrere verschiedene Peptide aufgebaut? Klären Sie aus den Angaben zu Aufgabe 2 und 3 die Bedeutung weiterer Nucleotide auf.
- Auch hier ist wieder nicht festgelegt, wo die Translation beginnt. Daher ergeben sich verschiedene Triplettraster und damit Peptide aus verschiedenen Aminosäuren. Im Beispiel sind je nach Startpunkt folgende Kombinationen möglich:
AAC-AAC-AAC-AAC... fi Poly-Asparagin
ACA-ACA-ACA-ACA... fi Poly-Prolin
CAA-CAA-CAA-CAA... fi Poly-Histidin
Ist der genetische Code nicht bekannt, kann man zunächst nicht zuordnen, welche Triplets welcher Aminosäure entsprechen. Erst im Vergleich mit anderen Versuchsergebnissen kommt ihre Bedeutung ans Licht. So ergibt sich im Vergleich mit Poly-AC, dass in beiden m-RNAs zwei gleiche Triplets möglich sind: In Poly-AC tritt ACA als Triplet auf, in Poly-AAC ebenso. In einer der Übersetzungen müsste also dieselbe Aminosäure im Peptid auftreten. Das ist im Beispiel Threonin, das Triplet ACA steht also für diese Aminosäure. Damit ist aber auch klar, dass dann die andere Aminosäure im Peptid aus Poly-AC (CAC), der anderen dort eingebauten Aminosäure (Histidin) entsprechen muss.
Mit dem Poly-ACC liegt der Fall nicht so einfach. Je nach Startpunkt ergeben sich wieder drei verschiedene Tripletmuster und damit drei mögliche Peptide. Unter anderem kann sich das Triplet CAC ergeben, das auch in Poly-AC auftritt. Es kommen hier allerdings sowohl Peptide aus Histidin als auch aus Threonin vor, genauso wie bei der Übersetzung von Poly-AC. Nur im Vergleich dieser beiden künstlichen m-RNAs und ihrer codierten Peptide ließe sich die Bedeutung weiterer Triplets also nicht klären. Die Versuchsergebnisse können aber zur Bestätigung der Ergebnisse mit Poly-AAC (s.o.) dienen: CAC kann auch hier für Histidin stehen.
- ④ Auch RNAs mit 4 regelmäßig wechselnden Nucleotiden wurden konstruiert. Welche Triplets lassen sich mithilfe der folgenden Polynucleotide (und der Versuche 1–3) klären?
- Mit Poly-ACCC ergibt sich nur ein Peptid. Das überrascht zunächst, weil auch hier verschiedene Startpunkte möglich sind. Doch ist hier die Art der Triplets unabhängig vom Startpunkt. Er wirkt sich nur darauf aus, welche Aminosäure als erste im Peptid steht, nicht auf die weitere Reihenfolge:
ACC-CCA-CCC-CAC-CCA-CCC-CAC-CCA-CCC
AC-CCC-ACC-CAC-CCA-CCC-ACC-CCA-CCC-ACC-C
A-CCC-ACC-CAC-CCA-CCC-ACC-CCA-CCC-ACC-CC
liefern alle dasselbe Tripletmuster.
Das Triplet CCC ist bereits geklärt (Aufgabe 1), es steht für Prolin.
Nach Prolin folgt als Aminosäure entweder wieder Prolin oder Histidin. Eine von diesen Aminosäuren entspricht also dem Triplet ACC, das immer auf das Triplet CCC folgt. Nach den Ergebnissen von Aufgabe 2 und 3 handelt es sich mit Sicherheit um Histidin.
Als nächstes Triplet folgt CAC. Es steht für die nächstfolgende Aminosäure. Das kann entweder Threonin oder Prolin sein. Im Vergleich mit den Ergebnissen von Aufgabe 2 und 3 wird deutlich, dass CAC für Threonin steht. Die folgende Aminosäure (Prolin) kann mit Sicherheit dem folgenden Triplet (CCA) zugeordnet werden.

Proteinbiosynthese bei Prokaryoten (Seite 73)

- ① Die Abb. 2 gibt die Auftrennung der RNA einer Zelle durch Gelelektrophorese und ihre Absorption von UV-Licht wieder. Welcher Gipfel dürfte r- und t-RNA entsprechen, welcher RNA entspricht die breite „Basis“? Begründen Sie.
- r- und t-RNA sind häufig vorkommende RNAs von ganz bestimmter Länge. In der Gelelektrophorese wandern gleiche Arten also gleich weit und ergeben einen scharf umrissenen, wegen ihrer Häufigkeit recht hohen Peak. Drei solcher Peaks sind zu beobachten. Alle t-RNAs sind etwa gleich lang und entsprechen daher einem Peak. Sie sind mit ca. 75 Nucleotiden relativ kurz, wandern also am weitesten. Ihnen entspricht daher der 4S-Peak. r-RNA ist länger, es gibt mehrere Arten, die in das Ribosom eingebaut werden. Ihr entsprechen also die beiden anderen scharf umrissenen Peaks bei 18S und 28S.

m-RNA kann je nach der Länge des codierten Proteins sehr verschieden lang sein, verteilt sich also in der Gelelektrophorese über das gesamte Längenspektrum und entspricht daher der breiten Basis in der Grafik.

Proteinbiosynthese bei Eukaryoten (Seite 74)

- ① Eine wichtige Anwendung der Gentechnik ist die Herstellung von menschlichen Hormonen, wie zum Beispiel dem Peptid Insulin, durch „umprogrammierte“ Bakterienzellen.
Aus welchen Gründen reicht es zur Umprogrammierung nicht aus, wenn das menschliche Insulingen in die Bakterien eingeschleust wird?
 - *Das menschliche Insulingen entspricht in seinem Aufbau den Eukaryoten-Genen. Es enthält Introns, die beim Prozessieren im Verlauf der Proteinbiosynthese in den menschlichen Zellen entfernt werden. Diesen Vorgang beherrschen Bakterienzellen wie E. coli nicht. Sie spleißen m-RNA nicht und würden die Introns mit zur Transkription verwenden. Das entstehende Peptid wäre zu lang, und ab dem Intron würde wahrscheinlich auch das Triplettraster nicht mehr dem bei der „normalen“ Translation der Insulin-m-RNA entsprechen. Darüber hinaus ist es sehr fraglich, ob die RNA-Synthetase der Bakterien die Promotoren der menschlichen DNA „verstehen“ könnte (sie sind tatsächlich sehr verschieden). Dann würde das Gen nie transkribiert.*
- ② Bei einer bestimmten Form der Bluterkrankheit Thalassämie stimmt der Anfang des β -Globinmoleküls mit dem normalen Globin überein. Ab einer bestimmten Stelle hat das Thalassämie-Globin eine andere Aminosäuresequenz und ist wesentlich länger als das normale Globin. Was könnte die Ursache sein?
 - *Bei dieser Thalassämie-Form wird der Anfang des β -Globingens bis zu einer bestimmten Stelle richtig übersetzt. Dort muss eine Veränderung des ursprünglichen Gens durch eine Mutation vorliegen. Diese Mutation könnte zweierlei Folgen haben:*
 - *Die Signalsequenz zum Ausschneiden eines Introns in der m-RNA ist verändert und kann von den Spleißenzymen nicht mehr „verstanden“ werden. Das Intron wird nicht mehr ausgeschnitten, sondern auch in Aminosäuren übersetzt. Das entstehende Peptid wird daher zu lang. Darüber hinaus wird durch das Intron, das als Basenzahl kein Vielfaches von 3 hat, das Triplettraster für den Ablesevorgang verschoben. Damit werden bei der Transkription auch nach dem Intron andere Triplets abgelesen und andere Aminosäuren als ursprünglich eingesetzt. Das ist bei der vorliegenden Mutation auch tatsächlich der Fall.*
 - *Durch Einfügen oder Wegfall einer Base wird das Triplet-Leseraster der m-RNA verschoben. So kann die veränderte Aminosäuresequenz erklärt werden. Das Protein würde zu lang, weil durch die Mutation auch das Leseraster für die Stopp-Codons verändert und diese nicht mehr erkannt würden.*

Material: Wirkung von Hemmstoffen (Seite 75)

- ① Welche Stoffe aus der Tabelle kann man als Antibiotikum einsetzen?
 - *Als Antibiotika müssen die Stoffe für eukaryotische, d. h. 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, so wie Verträglichkeit, Wirkungsdauer, Resistenzphänomene bei Bakterien.*
- ② Das wirksame Gift der Knollenblätterpilze ist Amanitin. Eine Knollenblätterpilzvergiftung wirkt oft deshalb tödlich, weil die Symptome (Erbrechen, Durchfall, Leberschäden ...) erst 8 bis 24 Stunden nach dem Verzehr auftreten. Begründen Sie diese lange Latenzzeit!
 - *Amanitin bindet an die RNA-Polymerase menschlicher Zellen und legt so die Proteinbiosynthese lahm. Besonders Leberzellen mit ihrer regen Enzymproduktion werden davon betroffen. Allerdings hat jede Zelle einen bestimmten Vorrat an Enzymen und m-RNA dafür, sodass es eine ganze Zeit lang bei ihr zu keinen spürbaren Ausfällen im Stoffwechsel kommt. Erst wenn diese Vorräte erschöpft sind und eine Neusynthese nicht mehr erfolgt, kommt es zu Ausfällen und damit zu den Symptomen der Vergiftung.*

- ③ Puromycin führt in Bakterien zur Entstehung stark verkürzter und damit unbrauchbarer Proteine. Wieso?
- Wird vom Bakterienribosom anstelle einer beladenen t-RNA in eine entstehende Peptidkette und ans Ribosom eingebaut. Der Einbau erfolgt so fest, dass keine weiteren Aminosäuren mehr angebaut werden. Damit bricht die Translation an dieser Stelle ab, das Peptid erreicht nicht die volle Länge.
- ④ „Kirromycin macht Bakterien-Ribosomen unbrauchbar.“ Begründen Sie diese Aussage!
- Kirromycin verhindert das Vorrücken der t-RNA von der A- an die P-Stelle bei der Translation. Die t-RNA wird also an der A-Stelle blockiert, eine weitere t-RNA kann dort nicht mehr binden. Da sich Kirromycin auch nicht mehr löst, ist das Ribosom dauerhaft unbrauchbar.
- ⑤ Ein Molekül Diphtherie-Toxin kann eine Zelle töten. Begründen Sie!
- Diphtherietoxin wirkt als ein Enzym, ein Biokatalysator. Es bewirkt eine chemische Reaktion, durch die es einen Translationsfaktor unbrauchbar macht, geht aus dieser Reaktion aber unverändert hervor und kann sofort eine weitere solche Reaktion bewirken. Nach und nach werden so alle Translationsfaktoren in der Zelle zerstört, Translation kann nicht mehr erfolgen, die Zelle stirbt.
- ⑥ J. D. WATSON experimentierte mit Puromycin und fand, 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. An welcher Stelle des Ribosoms und in welcher Phase der Translation dürfte Puromycin gebunden werden?
- 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 angefangene Polypeptidkette vom Ribosom lösen würde.

Molekularbiologie sichtbar gemacht (Seite 77)

- ① a) Um die Aktivität der Replikationsgabeln zu klären, wurde Zellen ein radioaktiv markiertes Nucleotid angeboten, das selektiv in die DNA eingebaut wird. Welche Base trägt dieses Nucleotid. Begründen Sie.
- b) Zeigen Sie, wie man anhand von Abbildung 76.2 zur Aussage gelangt, dass beide Replikationsgabeln aktiv sind.
- c) Zeichnen Sie Abbildung 1 schematisch. Stellen Sie die DNA-Einzelstränge dar und unterscheiden Sie farblich zwischen alten und neu synthetisierten Strängen.
- a) Die DNA-Markierung wird mit radioaktivem Thymidin durchgeführt, weil dieses Nucleotid nur in der DNA, nicht jedoch in der RNA enthalten ist.
 - b) Nach der zweiten Zugabe des radioaktiven Nucleotids während einer bereits ablaufenden Replikation werden die in Replikation befindlichen DNA-Abschnitte wesentlich stärker markiert. Diese verstärkten Markierungen sind an beiden Gabelabschnitten erkennbar. Das zeigt, dass beide Replikationsgabeln aktiv sind
 - c) Außerhalb des Bereichs, der von den zwei Replikationsgabeln begrenzt wird, liegt die DNA in Form zweier alter, gepaarter Einzelstränge vor. Zwischen den Replikationsgabeln liegt die DNA in Form zweier Doppelstränge vor, von denen jeder aus einem alten und einen neuen Einzelstrang besteht.
- ② a) Eine Bakterienzelle kann sich alle 20 Minuten teilen. Berechnen Sie die Geschwindigkeit der DNA-Replikation. Geben Sie Ihren Wert in Basenpaaren je Sekunde an.
- b) Wie lange würde es bei dieser Geschwindigkeit dauern, bis das Genom einer menschlichen Zelle repliziert wäre? Typischerweise teilen sich embryonale Eukaryotenzellen alle 24 Stunden. Klären Sie den Widerspruch.
- a) Unter der Annahme, dass die Replikation der etwa 4 Millionen Basenpaare (BP) des Bakterienchromosoms von E. coli innerhalb von 20 Minuten gleichmäßig abläuft, erhält man für die Replikationsgeschwindigkeit: $4 \text{ Millionen BP} / (20 \times 60 \text{ s}) = 3333 \text{ BP/s}$
 - b) Hypothetische Replikationsdauer bei Eukaryoten (Mensch): $3 \text{ Milliarden BP} / 3333 \text{ BP/s} = 900 \text{ 090 s}$ entspricht ca. $1500 \text{ min} = 250 \text{ Std.} = 10,4 \text{ Tage}$. Tatsächlich teilen sich die Zellen in etwa 24 Stunden einmal. Das ist nur ein scheinbarer Widerspruch, denn es verläuft die Replikation an allen Chromosomen unabhängig voneinander und an jedem Chromosom gibt es mehrere Replikationsursprünge.

- ③ a) Zeichnen Sie ein schematisches Bild von Abbildung 1. Unterscheiden Sie farblich DNA, m-RNA und Ribosomen.
 b) In welcher Richtung verläuft der Transkriptionsvorgang an der DNA? In welche Richtung verläuft die Translation an der m-RNA? Begründen Sie.
- a) *Schematisches Bild ähnlich wie die Grafik in Abb. 77.1 im Schülerband mit farblicher Markierung von DNA, m-RNA und Ribosomen.*
 b) *In Bezug auf das Schema in Abb. 77.1 im Schülerbuch gilt: Die Transkription verläuft von rechts nach links. Das ist erkennbar an der Länge der m-RNA, die rechts kürzer ist als links. Die Translation verläuft von unten nach oben. Der unterste m-RNA-Abschnitt wurde zuerst transkribiert. Er enthält ein Startcodon, an dem die Translation beginnt.*
- ④ Zeigen Sie anhand der Abbildung 1 die Mechanismen, die bewirken, dass durch das Ablesen eines Gens viele identische Genprodukte entstehen können.
- *An jedem Ribosom wird ein Polypeptid gebildet. Die vervielfachte Entstehung von Genprodukten hat zwei Ursachen: Einerseits transkribieren mehrere RNA-Polymerasen denselben DNA-Abschnitt, sodass mehrere m-RNA-Stränge desselben Gens entstehen. Andererseits translatieren jeden m-RNA-Strang mehrere Ribosomen, sodass an einem m-RNA-Strang mehrere Polypeptidmoleküle entstehen.*
- ⑤ An welchem der Ribosomen in Abbildung 1 erwarten Sie die längste Polypeptidkette, die bis zum Zeitpunkt der Aufnahme entstanden ist. Begründen Sie Ihre Meinung.
- *Die längste Polypeptidkette ist am obersten Ribosom des ganz links befindlichen Polysoms zu erwarten. Hier ist die Transkription am weitesten fortgeschritten, die m-RNA ist am längsten. Die Translation, die von unten nach oben abläuft, ist mit dem obersten Ribosom am weitesten fortgeschritten. Daher ist hier die Polypeptidkette am längsten.*
- ⑥ Weshalb sind am elektronenmikroskopischen Bild in Abbildung 4 an den Ribosomen die neu synthetisierten Polypeptidketten nicht sichtbar?
- *Die Polypeptidketten sind nicht sichtbar, weil nur DNA, RNA und Ribosomen (die r-RNA enthalten) radioaktiv markiert wurden. Die Bestandteile der Polypeptidketten, die Aminosäuren, enthalten keine radioaktive Markierung und sind somit auch nicht erkennbar.*

3 Mutationen

Kleine Fehler – große Folgen: Genmutationen (Seite 79)

- ① Bei Bakterien wirkt sich eine Punktmutation nicht immer phänotypisch aus. Oft wird die gleiche Aminosäure in das codierte Protein eingebaut wie vorher. Erklären Sie anhand Abb. 78.3 das Zustandekommen einer solchen stummen Mutation.
- *Der genetische Code ist redundant: Viele Aminosäuren, vor allem die in Proteinen häufiger verwendeten, werden durch mehrere Basentriplets verschlüsselt. Oft spielt die dritte Base des Triplets keine Rolle dafür, welche Aminosäure codiert wird. Wird sie durch eine Mutation verändert, ist in einem solchen Fall keine Veränderung im codierten Peptid zu beobachten.*
- ② Sehr schwerwiegend für eine Zelle sind die „Unsinn-Mutationen“. Eine Punkt- oder Rastermutation hat ein stark verkürztes und damit funktionsloses Protein zur Folge. Wie ist das zu erklären?
- *Die Stoppcodons werden (irreführenderweise) auch als „Unsinn-Codons“ bezeichnet, weil sie für keine Aminosäure codieren. Wird durch eine Mutation ein „normales“ Triplet zu einem Stopp-Triplett verändert oder wird das Leseraster so verschoben, dass sich im neuen Tripletraster ein Stoppcodon ergibt, wo vorher keines stand, so bricht die Synthese des Peptides natürlich an dieser Stelle ab. Ein verkürztes Peptid ist die Folge.*

Mutationen beim Menschen – Wirkungen, Diagnose, Therapie (Seite 81)

- ① PKU-Kranke fallen 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.*
- ② Was ist bei der Schwangerschaft einer PKU-kranken Frau zu beachten?
 - *Erwachsene PKU-Kranke erhalten meist eine vereinfachte 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.*
- ③ Galaktosämie ist eine genetisch bedingte Störung des Zuckerstoffwechsels. Die Betroffenen können Galaktose, einen Bestandteil des Milchkuckers, nicht abbauen. Folge ist unter anderem eine schwerwiegende Entwicklungsstörung des Gehirns. Entwickeln Sie eine Hypothese zur Veränderung der Stoffwechselvorgänge durch diese Mutation.
 - *Die Mutation bei Galaktosämie betrifft ein Gen für eines der Enzyme des Galaktose-Abbaus. Sind beide homologen Gene eines Menschen mutiert, so kann er Galaktose nicht mehr abbauen. Es ergeben sich (ähnlich wie bei PKU) giftige Abbauprodukte, die die Entwicklungsstörung des Gehirns hervorrufen. Zur Diagnose wird beim Auftreten der Krankheit in einer der Familien der Eltern ein Heterozygotentest durchgeführt. Außerdem werden die Neugeborenen untersucht, ob sie Galaktose abbauen können.*
Wird die Krankheit festgestellt, so können wieder durch die Gabe einer speziellen Diät die Folgeschäden verhindert werden. Die Kinder dürfen keine milchzuckerhaltigen Lebensmittel erhalten. Herkömmliche Babynahrung muss durch spezielle milchzuckerfreie Produkte ersetzt werden. Auch später sind Milchprodukte für die Kinder tabu.

Krebs – Folge „entgleister“ Gene? (Seite 83)

- ① Ein Testverfahren in der Arbeitsmedizin ist das Mikrokerne-Verfahren: Dabei werden Chromosomenbruchstücke in Zellen ausgezählt. Wieso kann man von ihrer Anzahl, z.B. bei Arbeitern, an einem bestimmten Arbeitsplatz, dort auf die Krebs erregende Wirkung bestimmter Substanzen schließen?
 - *Mikrokerne entsprechen DNA-Veränderungen (die natürlich nicht sofort zu Krebs führen müssen). Treten sie auf, so kann man auf mutierende Einflüsse in der Umgebung der Arbeiter schließen. Die Veränderung von DNA ist aber auch in der Lage, Krebs auszulösen.*
- ② Brustkrebs tritt bei weiblichen Mitgliedern mancher Familien so häufig auf, dass man von erblichem Brustkrebs spricht. Oft erkranken die Betroffenen schon sehr früh. Erklären Sie mithilfe der „Zwei-Treffer-Theorie“, worin die Ursache für die familiäre Häufung bestehen könnte.
 - *Eine einzelne DNA-Veränderung dürfte zur Krebsentstehung nicht ausreichen. Ist aber bereits – wie im Fall der Angehörigen aus Familien mit „erblichem“ Brustkrebs – ein Proto-Onkogen vorgeschädigt, so reicht eine weitere Mutation zur Krebsentstehung aus. Die Wahrscheinlichkeit dafür ist erheblich höher als die für zwei Mutationen in bestimmten Genen.*

Lexikon: Mutagene (Seite 85)

- ① Die genetisch bedingte Krankheit Xeroderma pigmentosum hat beim Menschen eine starke Anfälligkeit für Hautkrebs und eine hohe UV-Empfindlichkeit zur Folge. Was könnten die Gründe sein?
 - *Gegen UV-Licht wird die Haut durch Pigmente geschützt. Vor den Folgen der UV-Bestrahlung, nämlich die Bildung von Thymindimeren in der DNA, schützt vor allem das Lichtreparatursystem.*

Die Erbllichkeit der Krankheit weist auf eine Mutation hin. Die hohe UV-Empfindlichkeit bei der Krankheit könnte daher durch eine Mutation in einem Gen für die Farbstoffsynthese oder einer Mutation im Gen für das Lichtreparaturenzym zu suchen sein. Tatsächlich ist Letzteres der Fall. Durch den Ausfall des Lichtreparatursystems werden die anderen Reparatursysteme durch die Reparatur der Thymindimeren überlastet. Es tritt verstärkt die SOS-Reparatur ein, die dadurch bleibenden Mutationen in der DNA sind für die erhöhte Hautkrebshäufigkeit verantwortlich. In vielen Fällen sind die Reparatursysteme so stark überlastet, dass eine Reparatur ganz unterbleibt und es zum Absterben der geschädigten Hautzellen kommt.

4 Genregulation und Differenzierung

Praktikum: Genregulation (Seite 88/89)

Seite 88

- ① Welche Strukturen erkennen Sie?
 - Deutlich zu sehen ist der Mehlkörper und der Embryo.
- ② Welcher Teil des Präparates lässt sich färben? Welche biologische Funktion hat dieser Bereich?
 - Iodkaliumiodid-Lösung färbt den Mehlkörper blau-schwarz. Die Färbung ist ein Stärkenachweis. Stärke ist ein energiehaltiger Reservestoff. Durch Abbau dieses Energieträgers wird die für die Keimung notwendige Energie bereitgestellt.

Seite 89

- ① Berechnen Sie aus den Durchmessern der hellen Höfe die Kreisflächen. Übertragen Sie diese Werte in ein geeignetes Diagramm.
 - Berechnung der Kreisflächen ($A = \pi \cdot r^2$; Diagrammerstellung)
- ② Erklären Sie die Entstehung der hellen Höfe um die Gerstenkornhälften. Verdeutlichen Sie daran, dass die Kreisflächen geeignetere 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.
- ③ 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 embryofreien Hälften. Die Behandlung mit Gibberellinsäure steigert die Enzymabgabe. Embryofreie Hälften bilden etwas mehr Enzym als die embryohaltigen Hälften.
- ④ 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 (s. auch Schülerbuch Seite 86/87).
- ⑤ 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.

- ⑥ 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 Keimspresse. Bei dunkelgekeimten Pflanzen sind die Primärblätter kleiner, zarter und gelblich bleich (Etiollement). Je mehr Licht den Pflanzen beim Keimen zur Verfügung steht, desto mehr Chlorophyll wird gebildet.*
- ⑦ Messen Sie mithilfe eines Lineals die Länge der Sprosse der drei Ansätze. Berechnen Sie jeweils die Längen-Mittelwerte und geben Sie prozentual die Unterschiede an.
- *Messwerte für die Längenmessung; Angabe der prozentualen Abweichungen.*
- ⑧ 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.*
- ⑨ Halbieren Sie einen Salatkopf des Endiviensalates. 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 Etiollements (vgl. Aufgabe 6). Die äußeren Blätter sind groß, grün und fest. Sie entwickeln sich im Licht und bilden Chlorophyll sowie vermehrt Festigungsgewebe aus.*
- ⑩ 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.*
- ⑪ 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.*
- ⑫ 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 Anpassung der Drüsenzellen an ihre Funktion interpretierbar ist.*

- ⑬ Riesenchromosomen sind wesentlich länger als „normale“ Chromosomen in der Metaphase der Kernteilung. Betrachten Sie Seite 56/57 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.*

Differenzierung (Seite 90)

- ① Vergleichen Sie die Differenzierung in verschiedene Gewebe und Organe bei der Embryonalentwicklung mit der Kompartimentierung der Zelle.
- *Bei der Embryonalentwicklung entsteht in einem Organismus in einer bestimmten zeitlichen und räumlichen Abfolge ein Muster aufeinander abgestimmter Strukturen mit bestimmten Funktionen, durch deren Zusammenwirken die Lebensvorgänge des Organismus ermöglicht werden. Bei der Kompartimentierung der Zelle handelt es sich um ein ähnliches Phänomen auf einer niedrigeren Organisationsstufe.*
- ② Bei der Embryonalentwicklung des Hühnchens entstehen die Flügel aus Flügelknospen. die Polarisierungszone induziert die Entwicklung der Finger 3 und 4 (Abb. 2), sie enthält relativ hohe Konzentrationen an Retinsäure.
- Wie könnte man experimentell überprüfen, ob Retinsäure die Flügeldifferenzierung hervorruft?
- *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.*
- ③ In differenzierten Zellen können nur bestimmte Vorgänge ablaufen. Zwei Ursachen sind möglich: Differenzierte Zellen enthalten nur die benötigten Gene oder sie enthalten zwar noch alle Gene, nutzen aber nur die benötigten. Wie könnte man überprüfen, welche Hypothese richtig ist?
- *Enthalten differenzierte Zellen nicht mehr alle Gene, könnte in ihnen weniger DNA nachweisbar sein als in undifferenzierten Zellen. Der Zellkern einer differenzierten Zelle kann in das Zellplasma einer entkernten Zygote gebracht werden. Entwickelt sich ein vollständiges Lebewesen, hat er noch alle Gene enthalten (s. auch „Material Klonen“, Seite 135).*

Organe und Organsysteme (Seite 93)

- ① Der Preis der Differenzierung ist der Tod des Individuums. Nehmen Sie zu dieser Aussage Stellung.
- *Bei der Differenzierung entstehen in einem Organismus bestimmte Zellen, die sich zu Keimzellen entwickeln können (Keimbahnzellen). Nur diese können in der nächsten Generation weiterleben. Körperzellen dagegen verlieren schon in einem relativ frühen Stadium der Entwicklung diese Fähigkeit. Mit dem Tod des Individuums sterben alle Körperzellen ab. Die Aussage der Aufgabe 1 trifft somit zu.*
- ② Informieren Sie sich detailliert über Bau, Vorkommen, Lebensweise und Entwicklung von Volvox. Scheint es Ihnen aufgrund dieser Erkenntnisse gerechtfertigt, Volvox als Übergangsform zwischen Zellkolonie und echtem Vielzeller zu bezeichnen?
- *Volvox gehört zur Familie der Geißelalgen. Die Zellen bilden eine Hohlkugel, deren Inneres Gallerte enthält. Kleinere begeißelte Zellen dienen dem Stoffwechsel, große unbegeißelte Zellen dienen der geschlechtlichen Fortpflanzung. Daneben ist auch ungeschlechtliche Fortpflanzung möglich. Dabei bilden sich mehrere Tochterkugeln im Inneren einer Mutterkugel. Die Tochterkugeln werden erst frei gesetzt und damit selbstständig lebensfähig, wenn die Mutterkugel aufplatzt und dadurch abstirbt. „Mit Volvox ist der Tod in das Leben getreten.“ (Zitat von Herrn NEHER vom Ferdinand-Porsche-Gymnasium)*
Die Plasmabrücken ermöglichen eine Erregungsleitung zur Koordination des Geißelschlags und einen Stoffaustausch zwischen den Einzelzellen. Volvox ist eine Übergangsform zwischen Zellkolonie und echtem Vielzeller.

- ③ Man geht heute davon aus, dass im Laufe der Evolution zunächst nur Einzeller entstanden sind und erst später Vielzeller. Entwickeln Sie eine begründete Hypothese, welche Ursachen zu einer Entwicklung vom Einzeller zum Vielzeller geführt haben könnten.
- *Einzeller erreichen stets nur eine geringere Größe, maximal einige Millimeter. Sie können bestimmte ökologische Nischen nicht bilden. Da alle Lebensfunktionen in einer Zelle vereint sein müssen, bleibt ihre Leistungsfähigkeit begrenzt. Vielzeller können viel größer werden, sie erreichen eine höhere Leistungsfähigkeit, z. B. durch die Ausbildung von Sinnesorganen usw. Hinweis: Es sollte bei der Besprechung der Aufgabe darauf geachtet werden, die Einzeller sachlich darzustellen: Sie besiedeln in sehr großen Arten- und Individuenzahlen alle Lebensräume. Während der Evolution gab es über Milliarden von Jahren nur Einzeller!*
- ④ Stellen Sie in einer Tabelle die wichtigsten Organe und Organsysteme des Menschen zusammen und beschreiben Sie deren Aufgaben. Vergleichen Sie mit entsprechenden Organen von Insekten.
- *Diese Aufgabe dient der Vorbereitung des Materials „Organe und Organsysteme“ auf Seite 95. Sie sollte deshalb, wenn zeitlich möglich, als Hausaufgabe gestellt werden. Zur Lösung dieser Aufgabe siehe Biologiebücher der Sekundarstufe I.*
- ⑤ Autotrophe Einzeller bilden wie Pflanzen als Produzenten die Basis einer Nahrungskette. Heterotrophe Einzeller sind im Allgemeinen Primärkonsumenten, während Wirbeltiere in allen Ernährungsebenen auftreten können. Erklären Sie diese Tatsachen mit dem Bau dieser Organismen.
- *Wirbeltiere als die höchst entwickelten Vielzeller zeigen eine höhere Anpassungsfähigkeit an unterschiedlichste Lebensbedingungen. Heterotrophe Einzeller können schon aufgrund ihrer geringen Größe nur kleine Organismen als Nahrungsquelle nutzen, meist sind dies einzellige Algen. Allerdings gibt es auch räuberische Einzeller, die in ihren Ökosystemen aber nie die Endkonsumenten bilden.*
- ⑥ Insekten sind stets r-Strategen, in Nahrungsketten sind sie meist Konsumenten 1. oder 2. Ordnung. Wirbeltiere – speziell Vögel und Säugetiere – sind meist K-Strategen und in Nahrungsketten häufig Konsumenten höherer Ordnung. Erklären Sie dies mit dem Bau der Organismen.
- *Insekten weisen ein Außenskelett auf. Der Sauerstofftransport erfolgt in Tracheen und der Blutkreislauf ist offen. Diese Faktoren lassen nur eine begrenzte Körpergröße zu. Die Geschlechtsorgane nehmen bei den Imagines einen beträchtlichen Teil des Körpers ein, sodass viele Keimzellen gebildet werden können. Vögel und Säugetiere haben ein Außenskelett, der Sauerstoff wird an Hämoglobin gebunden und in einem sehr leistungsfähigen Blutkreislauf transportiert. So können sowohl kleine Organismen als auch Riesenformen entstehen. Der Nachwuchs der Säugetiere wird in einer Plazenta ausgetragen, bzw. die Eier der Vögel werden bebrütet. Die wenigen Jungtiere werden intensiv betreut.*

Praktikum: Organe (Seite 94)

Hinweis: Das Praktikum kann ganz oder teilweise auch bei der Besprechung der Evolutionstheorie durchgeführt werden. Sinnvoll wäre dies bei den Themen „Homologe Organe“ (Seite 256f.) und „Analoge Organe“ (Seite 258). Ein Vorteil dieser Vorgehensweise wäre, dass in dem sehr theorielastigen Kapitel Evolution ein Praktikum durchgeführt werden könnte.

Material: Organe und Organsysteme (Seite 95)

- ② Das Blutgefäßsystem übernimmt neben der Verteilung der resorbierten Nährstoffe noch weitere Aufgaben in unserem Körper. Um welche Aufgaben handelt es sich?
- *Transport von Sauerstoff, Kohlenstoffdioxid, Harnstoff, Hormonen, Blutkörperchen, Immunglobulinen sowie Temperatursausgleich.*
- ③ Wir nehmen an, ein Glucosemolekül würde in eine Darmkapillare aufgenommen und wir könnten den Weg dieses Moleküls mitverfolgen, bis es schließlich von einem Muskel aufgenommen und dort im Stoffwechsel eingebaut wird. Beschreiben Sie den Weg des Glucosemoleküls durch die verschiedenen Teile des Blutkreislaufs. Welche biochemischen Reaktionen laufen im Muskel ab, wenn das Glucosemolekül unter Freisetzung von Energie abgebaut wird?
- *Kapillare im Darm, Venole, Pfortader, Leber, Vene, rechter Vorhof, rechte Hauptkammer, Lungenarterie, Arteriolen, Kapillaren in der Lunge, Venolen, Lungenvene, linker Vorhof, linke Hauptkammer, Aorta, Arterien, Arteriolen, Kapillaren in der Muskulatur. Die biochemischen Reaktionen sind in Natura 10/11 auf Seite 150 beschrieben.*

- ④ Abbildung 2 zeigt die Organsysteme eines Insekts. Vergleichen Sie die Verdauungssysteme von Mensch und Insekt.
- *Verdauungssysteme von Insekten (Beispiel Laufkäfer) weisen folgende Abschnitte auf: Speiseröhre, Kropf, Kaumagen, Mitteldarm und Enddarm.*
- ⑤ Abbildung 3 zeigt einen schematischen Schnitt durch das Auge eines Wirbeltieres. Vergleichen Sie den Bau dieses Auges mit dem eines Menschen.
- *Gemeinsame Merkmale sind: Linse, Iris, Netzhaut, Sklera, Aufhängeband der Linse, Glaskörper, Sehnerv; nicht beschriftet sind weitere gemeinsame Strukturen: Cornea, Augenkammern, Aderhaut, blinder Fleck.*
Unterschiede zum Auge des Menschen sind der Rückziehmuskel, der an der Linse angreift, und die Struktur (blau) zwischen Aderhaut (grün) und Sklera.
- ⑥ Bei der Akkommodation zieht der Rückziehmuskel die Linse näher zur Netzhaut. Vergleichen Sie mit dem Mechanismus der Akkommodation bei Menschen. Zeichnen und erläutern Sie die Strahlengänge für Nah- und Fernakkommodation beim Menschen und obigem Wirbeltier.
- *Die Akkommodation beim Menschen erfolgt durch Kontraktion des ringförmigen Ziliarmuskels. Dadurch ziehen die Linsenbänder nicht mehr so stark an der Linse, die sich aufgrund ihrer Eigenelastizität etwa abkugelt. Ihre Brechkraft steigt, nahe Gegenstände können scharf gesehen werden (Nahakkommodation, siehe Natura 10/11 Seite 62). Beim Wirbeltier bleibt die Linsenform und damit die Brechkraft unverändert. Durch die Tätigkeit des Rückziehmuskels wird die Bildweite kleiner. Dadurch werden weiter entfernte Gegenstände scharf gesehen (Fernakkommodation).*
- ⑦ Hechte leben räuberisch in trüben Gewässern, wo sie versteckt zwischen Wasserpflanzen ihrer Beute auflauern. Könnte es sich bei dem abgebildeten Auge um ein Hechtauge handeln?
- *In trüben Gewässern spielt das Sehen auf große Entfernungen eine geringe Rolle. Ist der Muskel in Ruhe, ist das Auge auf die Nähe eingestellt (große Bildweite). Verrichtet der Rückziehmuskel Arbeit, verkleinert sich die Bildweite. Da dieser Fall im Lebensraum der Hechte selten eintritt, könnte es sich um ein Hechtauge handeln.*
- ⑧ In der vergleichenden Anatomie bezeichnet man Organe als homolog, wenn sie gleiche Grundstrukturen aufweisen und im Organismus die gleiche Lage einnehmen. Scheint es Ihnen aufgrund der beschriebenen Fakten gerechtfertigt, die beschriebenen Augen als homolog zu bezeichnen?
- *Die beschriebenen Augen weisen viele Übereinstimmungen auf, die wenigen Unterschiede sind als spezielle Anpassungen an den Lebensraum deutbar. Sie sind somit als homolog zu bezeichnen.*
- ⑨ Die Evolutionstheorie erklärt das Vorkommen homologer Organe bei verschiedenen Arten durch Abstammung von einem gemeinsamen Vorfahren, der diese Organe bereits aufwies. Sind die beschriebenen Augen auch im Sinne der Evolutionstheorie homolog?
- *Die Ähnlichkeiten zwischen dem menschlichen Auge und dem Wirbeltierauge sind eindeutig. Alle Wirbeltiere stammen von gemeinsamen Vorfahren ab. Die beiden Augen sind somit höchstwahrscheinlich homolog.*
- ⑩ Kann man den Verdauungstrakt eines Insekts und das Verdauungssystem des Menschen als homolog ansehen?
- *Die Verdauungssysteme von Mensch und Insekt weisen keine gleichen Grundstrukturen auf, die Lage im Organismus ist ebenfalls verschieden, sodass es sich nicht um homologe Organsysteme handeln kann.*

Angewandte Biologie

1 Methoden der Tier- und Pflanzenzüchtung

Modifikationen (Seite 98)

- ① Beim Russenkaninchen ist die Aktivität eines Enzyms zur Farbstoffproduktion temperaturabhängig. Erklären Sie das Aussehen dieses Kaninchens (s. Randspalte)
 - *Die Rasse Russenkaninchen ist dadurch gekennzeichnet, dass die Körperteile mit niedriger Körpertemperatur, wie Ohren, Schnauze, Pfoten, Schwanzspitze, eine schwarze Färbung haben, Teile mit hoher Körpertemperatur aber weiß sind.*
- ② Beschreiben Sie die Größenvariationskurve (Abb.1). Weshalb kommen nicht alle Knollengrößen gleich häufig vor?
 - *Die erbgleichen Individuen variieren in ihrer Größe. Je stärker sie von der mittleren Größe abweichen, um so seltener sind sie. Die Ausprägung der Größe schwankt durch umweltbedingte Veränderungen des Phänotyps. Diese Erscheinung nennt man Modifikation.*

Auslese- und Selektionszucht (Seite 99)

- ① Der Zuckergehalt in den Zuckerrüben (Abb. 1) ist seit 1920 trotz weiterer Züchtungsanstrengungen nahezu gleich geblieben. Suchen Sie dafür nach möglichen Erklärungen.
 - *Der Zuckergehalt der Rübe hängt von der genetischen Veranlagung der Pflanze und Umweltbedingungen, wie Anbaumethoden, Sonnenscheindauer, Düngung etc. ab. Die Stagnation des Zuckergehaltes seit 1920 ist darauf zurückzuführen, dass durch Züchtung die optimale genetische Ausstattung der Zuckerrübe erreicht wurde. Vermutlich würde ein noch höherer Zuckergehalt auch physiologische Probleme durch einen zu hohen osmotischen Druck in den Zellen mit sich bringen! Die für das Wachstum der Pflanze optimalen Umweltbedingungen können ebenfalls nicht mehr verbessert werden.*

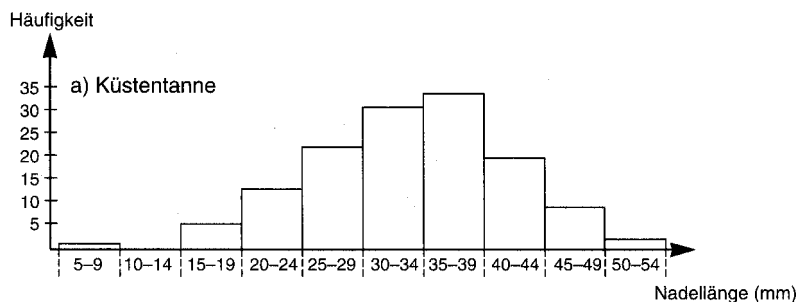
Kombinations- und Hybridzucht (Seite 102)

- ① Wie häufig erwarten Sie bei der Kreuzung AaBbCc x AaBbCc unter den Nachkommen bei freier Kombinierbarkeit den Genotyp aabbcc?
 - *In ca. 1,2% der Fälle ($\frac{1}{81}$) erwartet man den Genotyp aabbcc.*
- ② Warum sind bei der Heterosiszüchtung die heterozygoten Hochleistungssorten nicht zur Weiterzucht geeignet?
 - *Bei der Keimzellbildung wird die besondere Allelkombination wieder neu verteilt. Häufig sind die Hybriden aber unfruchtbar.*

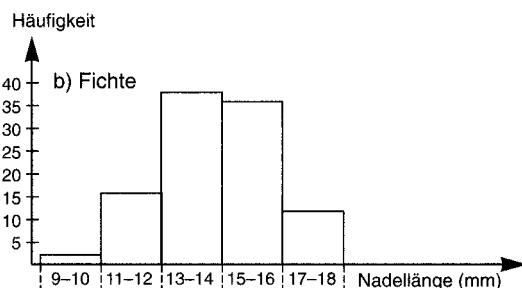
Material: Ursachen von Variabilität (Seite 104)

- ① Welche Art von Variabilität muss bei diesem Versuchsergebnis innerhalb der einzelnen Linie vorliegen? Begründen Sie Ihre Antwort!
 - *Es muss sich um modifikatorische Variabilität handeln. Dies zeigt der Versuch mit den beiden Samen aus der roten Linie. Sie haben unterschiedliche Massen, aber unter ihren Nachkommen kann kein Unterschied in der Massenvariation festgestellt werden (Abb. d im Themenheft). Wenn ein genetischer Unterschied zwischen beiden Samen vorliegen würde, müssten beim Samen mit größerer Masse auch entsprechend größere Samen unter den Nachkommen zu finden sein.*
- ② Welche Art von Variabilität liegt zwischen den verschiedenen Linien bzw. den von JOHANNSEN benutzten Ausgangssorten vor?
 - *Hier liegt genetisch bedingte Variabilität vor, weil die Nachkommen eines Samens in den Folgegenerationen immer gleiche Massenvariationskurven bilden (Abb. d im Themenheft).*

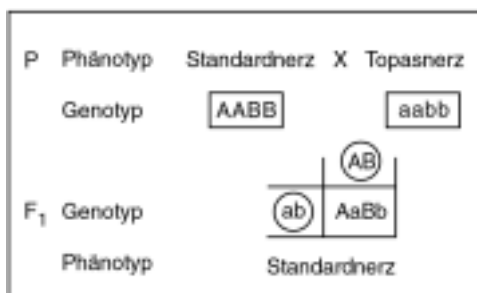
- ③ Erläutern Sie an der blauen und der orangefarbenen Kurve den Begriff „Variationsbreite“.
- Die Erbanlagen der Samen verschiedener Linien legen eine Variationsbreite fest. Innerhalb dieser genetisch bedingten Variationsbreite entscheiden die Umweltbedingungen über die tatsächliche Samengröße. Die Erbanlagen der Pflanzen der blauen und gelben Linie ermöglichen im Durchschnitt gesehen die Bildung von Samen mit größerer Masse. Die genetisch festgelegte Variationsbreite ist bei der gelben Linie größer.
- ④ Welche Art von Variation liegt hier vor? Begründen Sie die Antwort.
- Es muss sich um modifikatorische Variabilität handeln, weil alle Nadeln bzw. Zellen eines Astes gleiche Erbanlagen besitzen. Sie sind durch Mitose auseinander hervorgegangen.
Hinweis: Die Küstentanne stammt aus Nordamerika. Sie wird bei uns im Forst häufig als Ersatz für die heimische Weißtanne (*Abies alba*) angepflanzt, weil sie ihr an Widerstandskraft überlegen ist.
- ⑤ Werten Sie das Versuchsergebnis in einem Balkendiagramm aus.
- siehe Abbildung



- ⑥ Ermitteln Sie für einen Nadelbaumzweig ihrer Wahl ein entsprechendes Balkendiagramm und vergleichen Sie.
- Es ergeben sich immer Zufallsverteilungen, die um einen Mittelwert streuen. Es treten dabei unterschiedliche Variationsbreiten auf. Beispiel: Nadellänge am Zweigabschnitt einer Fichte (*Picea excelsa*): ca. 7 cm lang



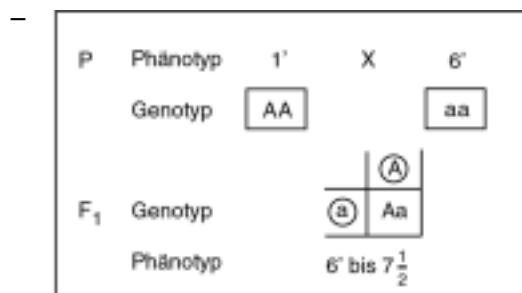
- ⑦ Ermitteln Sie aus diesen Angaben das Kreuzungsschema bis zur F₂-Generation (Genotyp und Phänotyp).



Für das Zustandekommen der dunkelbraunen Färbung eines Standardnerzes muss anscheinend wenigstens einmal das dominante Allel A und einmal das dominante Allel B im Genotyp vorliegen. Beide Allele sorgen zusammen für die Bildung der dunklen Farbe. Zuordnung der Genotypen s. Tabelle.

Phänotyp	Genotyp	Häufigkeit	Begründung
Topasnerz	aabb	1x	vgl. P-Generation; es ist kein dominantes Allel vorhanden.
Standard- nerz	AABB	1x	vgl. P-Generation; vgl. F ₁ -Generation Jedes dominante Allel ist mindestens einmal vorhanden.
	AaBb	4x	
	AABb	2x	
	AaBB	2x	
Pastell- nerz	AAbb	1x	Es ist entweder nur eines der dominanten Allele A oder B vorhanden; eines der beiden rezessiven Allele liegt homozygot vor.
	Aabb	2x	
	aaBB	1x	
	aaBb	2x	

- ⑧ Welche genetische Übereinstimmung weisen die Pastellnerze auf? Was können Sie über die Wirkung der Allelkombination aa und bb aussagen?
- *Es liegt Polygenie vor. Die beiden dominanten Allele A und B sind für die Bildung der braunen Färbung zuständig. Sind beide vorhanden, entstehen dunkelbraune Standardnerze. Beim hellbraunen Topasnerz fehlen beide dominanten Allele. Wenn nur eines der beiden dominanten Allele (A oder B) vorliegt, entstehen die mittelbraunen Pastellnerze. Alle Pastellnerze sind in einem der beiden Gene homozygot rezessiv (aa bzw. bb). Die Allelkombinationen aa bzw. bb haben die gleiche Auswirkung auf die Fellfarbe.*
- ⑨ Welche Gesetzmäßigkeit, die auch die moderne Züchtung ausnutzt, war GREGOR MENDEL aufgefallen?



Dies ist ein Beispiel für den Heterosiseffekt. Hinweis: Die Bezeichnung 6' steht für 6 Zoll. 1' entspricht etwa 2,5 cm.

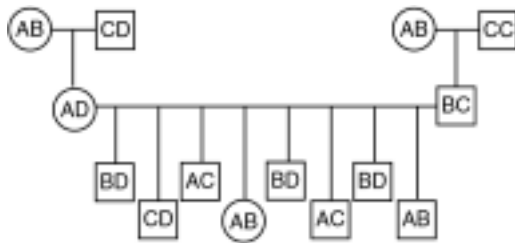
2 Gentechnik

Gentransfer (Seite 107)

- ① Bei biologischen Vorgängen kommt es häufig zum Transport und zur Aufnahme bestimmter Stoffe oder von Information. Demzufolge beginnen viele biologische Fachausdrücke mit der Silbe „Trans“, was leicht zu Verwechslungen führen kann. Charakterisieren Sie die folgenden Begriffe durch eine knappe Definition: Transduktion, Transfektion, Transfer-RNA, Transformation, Transkription, Transkriptase, Translation, Translokation.
- *Diese Aufgabe scheint als reine Wiederholungsaufgabe zunächst für die Sekundarstufe II wenig sinnvoll zu sein. Die Unterrichtspraxis hat jedoch gezeigt, dass selbst gute Schüler diese Wiederholung benötigen. Die Aufgabe kann durch entsprechende Fachbegriffe erweitert werden (s. Register auf Seite 366).*
- ② Warum werden in der Tiermedizin andere Antibiotika eingesetzt als in der Humanmedizin?
- *Beim Einsatz von Antibiotika kommt es im Laufe der Zeit zur Bildung resistenter Stämme. Würden in der Tiermedizin die gleichen Antibiotika wie in der Humanmedizin verwendet, so könnte es zur Verbreitung von Zoonosen kommen, für die dann keine Antibiotika zur Verfügung stünden.*

Genanalysen und genetische Marker (Seite 111)

- ① Abb. 110. 2 zeigt ein DNA-Bandenmuster bei Personen der F₂-Generation. Ordnen Sie den Phänotypen der P-, F₁- und F₂-Generation im eingezeichneten Stammbaum die entsprechenden Genotypen zu.
- In der Grafik sind 4 unterschiedlich lange DNA-Fragmente erkennbar, die wie 4 Allele eines Gens nach den mendelschen Regeln vererbt werden. Jede Person hat also 2 Allele und gibt eines davon an die Nachkommen weiter. Daraus ergeben sich folgende Allelkombinationen im Stammbaum:



Gentechnik für den Menschen (Seite 121)

- ① „Die Natur betreibt Gentransfer und Genmanipulation seit Milliarden Jahren, und wir überschreiten keineswegs eine ethische Grenze, wenn wir es ihr nachtun.“ Das prinzipielle pragmatische Dilemma sei allerdings, dass sich „keine logisch stimmigen Gesetze, Regeln und Verbote ableiten lassen, wie die neue Biologie mit den möglichen Folgen ihres Forschens umzugehen hätte.“ (JENS REICH)
- Erläutern Sie die Aussagen des Molekulargenetikers JENS REICH und stellen Sie Nutzen und Risiken der Gentherapie gegenüber.
- Gentransfer durch Konjugation und Transduktion usw. führt auch unter natürlichen Bedingungen zu Organismen mit neuen genetischen Eigenschaften. Rekombinationsvorgänge und durch die Umwelt induzierte Mutationen verändern die genetische Ausstattung von Organismen. Nichts anderes passiert prinzipiell in der Gentechnik, die sich zum Beispiel der Bakterien und Viren bedient, um bestimmte Produkte herzustellen oder Gene in andere Organismen einzuschleusen. Relativ unstrittig sind die Anwendungen bei der Herstellung von gentechnisch produzierten Pharmaka, kritisch steht man der Herstellung gentechnisch veränderter Nutzpflanzen und Lebensmittel gegenüber wegen der zum Teil nicht eindeutig abklärbaren möglichen Folgen. Noch kritischer stehen viele der Veränderung des menschlichen Genoms zum Zwecke der Heilung oder gar der Erzielung (vermeintlicher) positiver Eigenschaften gegenüber. Bei der Diskussion darüber sollte man klar zwischen der somatischen Gentherapie und der Keimbahntherapie unterscheiden, da Letztere auf die nächsten Generationen vererbt wird. Wenn tatsächlich schwerwiegende erblich bedingte Krankheiten, z.B. die Mukoviszidose, durch Gentherapie geheilt werden könnten, würden dieses wahrscheinlich von vielen als Fortschritt angesehen werden. Problematisch wird der Eingriff ins menschliche Genom sicherlich dann, wenn dadurch die Intelligenz (wobei nicht klar ist, was man genau darunter zu verstehen hat) verbessert werden oder gar die gewünschte Augenfarbe oder andere gewünschte äußere Merkmale den Nachkommen implementiert werden sollen.

3 Reproduktionsbiologie

Geschlechtliche und ungeschlechtliche Fortpflanzung (Seite 127)

- ① Stellen Sie die Entwicklung der Besamung innerhalb der systematischen Gruppen der Wirbeltiere anhand von Abb. 126.1 dar.
- Fische und Amphibien paaren sich im Wasser. Bei Fischen genügt eine ungefähre zeitliche Synchronisation der Keimzellenabgabe, da die Besamung frei im Wasser erfolgt. Dieser Paarungsmodus muss mit hohem Aufwand an Keimzellen kompensiert werden, denn die Verluste sind hoch. Die Eier sind demzufolge klein und zahlreich. Amphibien haben zwar immer noch eine äußere Besamung, dafür aber einen engeren Paarungskontakt. Für landbewohnende Tiere ist eine äußere Besamung nicht möglich – es sei denn, sie würden dazu ins Wasser zurückkehren. Die empfindlichen Keimzellen würden an der Luft viel zu schnell austrocknen.

Reptilien (in der Abbildung nicht berücksichtigt) haben bereits eine innere Besamung. Danach werden die befruchteten Eizellen mit Dotter versehen und mit einer Hornschicht umgeben. Die Embryonen wachsen völlig ohne Brutfürsorge auf, ausgebrütet von der Wärme der Sonne.

Vögel haben kein Begattungsorgan. Sie pressen lediglich – oft in Sekundenschnelle – ihre Kloaken aufeinander. Die Befruchtung muss im oberen Teil des Eileiters erfolgen, den die Spermien aktiv erreichen müssen. Hier werden die Spermien bis zu vier Wochen befruchtungsfähig erhalten. Auf dem Weg durch Eileiter und Uterus wird das befruchtete Ei mit Eiweiß und Schalen umgeben. Hier wäre eine Befruchtung nicht mehr möglich. Vögel betreiben Brutfürsorge.

Der Penis als Begattungsorgan wurde neben den Säugetieren in vielen Tiergruppen parallel erfunden (Plattwürmer, Egel, Schnecken und Insekten). Sehr häufig sind die Begattungsorgane nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip aufgebaut.

- ② Diskutieren Sie die Vor- und Nachteile der ungeschlechtlichen Fortpflanzung bzw. Vermehrung für die Erhaltung der Art im Vergleich zur geschlechtlichen Fortpflanzung. Informieren Sie sich in diesem Zusammenhang über den Lebenszyklus des Schweine- oder Rinderbandwurms.
- *Ungeschlechtliche Fortpflanzung ermöglicht eine rasche Vermehrung, ohne auf einen Geschlechtspartner angewiesen zu sein. Besonders Lebewesen, die unter extremen Bedingungen leben, vermehren sich häufig ungeschlechtlich. Der Vorteil liegt in der hohen Vermehrungsrate. Auf eine genetische Neukombination muss dabei verzichtet werden. Sexualität ermöglicht interchromosomale Rekombination. Die Variabilität wird damit erheblich gesteigert und die Anpassung an veränderte Umweltbedingungen verbessert.*
- ③ Erläutern Sie, ob das Hydra-Elterntier mit den ungeschlechtlich erzeugten Nachkommen einen Klon bildet. Wie verhält es sich bei einem Mutterschaf und künstlich erzeugten Mehrlingen?
- *Hydra bildet mit den ungeschlechtlich erzeugten Nachkommen einen Klon. Bei dem Schaf ist die Zygote durch Befruchtung entstanden, d.h. sie enthält mütterliche und väterliche Gene. Die Mehrlinge bilden also mit dem Muttertier keinen Klon, wohl aber untereinander.*

Material: Historische Experimente (Seite 130 /131)

Seite 130

- ① Eier, die in ihrem Entwicklungsverlauf Defekte bis zu einem gewissen Grad regulieren können, bezeichnet man als Regulationseier. Eier, bei denen die Organbildungspotenzen schon unabänderlich im Ei vorgegeben sind, nennt man Mosaikeier. Ordnen Sie Seeigel, Caenorhabditis, Frosch, Gürteltier und Mensch diesen Eitypen zu. Begründen Sie Ihre Zuordnung.
- *Die klassische Aufteilung in früh determinierte, irreversibel festgelegte Mosaikeier und Regulationseier mit später Determinierung lässt sich heute in der klaren Zweiteilung nicht mehr aufrecht erhalten. Diese Problematik soll im wesentlichen Aufgabe 3 ansprechen. Caenorhabditis wird ebenso wie beispielsweise Schmetterlinge, Fliegen, Käfer und Manteltiere dem Mosaikei-Typus zugeordnet. Die einzelnen Plasmabereiche im befruchteten Ei sind unregulierbar auf ihre zukünftige Bedeutung festgelegt. Seeigel, Frosch, Gürteltier und Mensch weisen typische Eigenschaften des Regulationseis auf, wie man an den Ergebnissen der Schnürexperimente bzw. an der Fähigkeit zur eineiigen Mehrlingsbildung ersehen kann. Beim Gürteltier stellt diese Art der vegetativen Vermehrung sogar den Normalfall dar, während er beim Menschen eher die Ausnahme bildet.*
- ② Wie verhält es sich mit der prospektiven Potenz und der prospektiven Bedeutung bei Regulationseiern und bei Mosaikeiern?
- *Bei Mosaikeiern entspricht die prospektive Potenz der prospektiven Bedeutung, während bei Regulationseiern die prospektive Potenz größer ist als die prospektive Bedeutung.*
- ③ Die Regulierbarkeit der Regulationseier unterliegt gewissen Einschränkungen. Welche sind das?
- *Der Seeigelkeim weist bei vertikaler Teilung ein sehr hohes Regulationsvermögen auf; horizontal durchteilt, verhält er sich aber wie ein typisches Mosaikei. Es lässt sich also auf eine horizontale Schichtung schließen. Das Amphibienei weist die typischen Eigenschaften eines Regulationseis nur dann auf, wenn man die Schnürhälften so legt, dass beide Teile Anteil am grauen Halbmond bekommen. Fragmente, die keinen Anteil von diesem Plasmabezirk mitbekommen, verhalten sich wie Mosaikeier. Will man die historische Einteilung in Regulations- und Mosaikeier benutzen, so muss man diese Einschränkungen berücksichtigen.*

Seite 131

- ① Erläutern Sie die Bedeutung der Experimente der Kern- und Zelltransplantationen.
 - *Die Experimente am Krallenfrosch und an Acetabularia zeigen die Bedeutung des Kerns für die Entwicklung. Sowohl A. mediterranea als auch A. wettsteinii bilden jeweils den arttypischen Hut aus, der dem zugehörigen Kern entspricht. Dazwischenliegende transplantierte Zellbereiche der anderen Art haben keinen Einfluss auf die Hutbildung. Zellkerne differenzierter Zellen behalten offenbar die Fähigkeit, die gesamte Entwicklung zu steuern, wie die Experimente am Krallenfrosch zeigen. Weitere Versuche zeigten, dass kernlose Fragmente nicht zur Entwicklung fähig sind.*
- ② Welche Rückschlüsse auf die Steuerung von Entwicklungsprozessen lassen sich aus den dargestellten Transplantationsexperimenten ziehen?
 - *Die Experimente weisen den Sitz der genetischen Information im Kern und deren entscheidende Bedeutung für die Hutbildung nach. Die Information bleibt auch in ausdifferenzierten Zellen erhalten und ist unter bestimmten Bedingungen (s. Krallenfrosch) wieder abrufbar. Die im Kern festgelegte Information muss über Plasmabereiche bis hin zum Ort der baulichen Umsetzung transportiert werden (s. Acetabularia).*
- ③ Ein Gedankenexperiment soll die Verhältnisse bei Transplantationen veranschaulichen (vergleichen Sie in diesem Zusammenhang die Experimente von SPEMANN und HARRISON). Stellen Sie sich das komplexe dreidimensionale Muster lebender Strukturbildung auf das einfache zweidimensionale Muster zweier Flaggen reduziert vor: der französischen Tricolore und der amerikanischen Flagge (s. Abb. unten). Beide Flaggen bestehen im übertragenen Sinn nur aus drei „Zelltypen“, den roten, weißen und blauen. Interpretieren Sie die „Flaggentransplantate“, und ordnen Sie sie den Experimenten von SPEMANN und HARRISON begründet zu.
 - *SPEMANN transplantierte Gewebe aus einer (frühen) Gastrula; es verhielt sich ortsgemäß. So kann sich z. B. aus Gewebe, das sich bei normaler Entwicklung zu Nervengewebe entwickelt hätte, nach der Transplantation Haut entwickeln, wenn das Transplantat an dieser Stelle liegt. Die Zelldifferenzierungen sind ortsgemäß. Im Gedankenexperiment verhält sich das Tricolore-Transplantat ortsgemäß. Die Zellen, die sich ursprünglich hätten „blau“ differenzieren sollen, realisieren durch den „Positionseffekt“ in der amerikanischen Flagge nun die „roten“ und „weißen“ Potenzen. Bei der Transplantation HARRISONS an Amphibienneurulae war die Determinierung so weit fortgeschritten, dass eine Differenzierung nur noch herkunftsgemäß ablaufen konnte. Es entwickelten sich auch an anderen Positionen Extremitäten. Ähnlich verhält sich das „Transplantat“ aus der amerikanischen Flagge. Es realisiert auch in anderer Position seine herkunftsmäßig bestimmte Potenz.*
- ④ Welche Schlüsse lassen sich über die Natur des Organisators aus dem Befund ziehen, dass auch Gelatineblöckchen, die mit Halbmondhomonat getränkt wurden, induzierende Wirkung haben?
 - *Der Organisator muss stofflicher Natur sein. Diese Stoffe können in Gelatine-Blöckchen diffundieren und verlieren dabei ihre induzierende Wirkung nicht.*

Eingriffe in die Fortpflanzung – Reproduktionstechniken (Seite 132)

- ① Informieren Sie sich über die Gesetzeslage bezüglich der oben beschriebenen Reproduktionstechniken (vgl. Embryonenschutzgesetz, 1990)
 - *s. Embryonenschutz-Gesetz*
- ② Diskutieren Sie die Vor- und Nachteile, die sich daraus ergeben. Welche Stellung beziehen Sie dazu?
 - *Die Vorteile liegen im „Aufwand“ für Mutter und Klinik. Im Wiederholungsfalle können die eingefrorenen Embryonen der Frau eingespült werden, d.h. auf alle belastenden Eingriffe (Hormongaben zur Superovulation, Eierentnahme), die vor dem Embryotransfer liegen, kann verzichtet werden. „Nachteile“ sind eher ethischer Natur. Es bleibt die ungelöste Frage nach dem Verbleib der überzähligen Embryonen, falls es schon beim ersten Mal zu einer Schwangerschaft kommt oder sich das Paar nicht zu einer Wiederholung entschließt.*

Material: Informationen zur Reproduktionstechnologie (Seite 133)

- ① Verdeutlichen Sie die medizinischen, technischen und ggf. rechtlichen Voraussetzungen, die diese Meldungen ermöglichen.
 - Neben der hormonellen Vorbereitung einer Superovulation müssen die technischen Voraussetzungen zur Entnahme der Eier und zum späteren Embryotransfer gegeben sein. Physiologisch müssen die genau abgestimmten Kulturmedien bereit stehen, um Eier und Spermien befruchtungsfähig zu erhalten.

Das Medium muss außerdem die ersten Entwicklungsschritte der Zygote ermöglichen. Da diese Vorgänge im Eileiter stattfinden, muss praktisch dessen kompliziertes biochemisches Milieu nachempfunden werden.

In rechtlicher Hinsicht schränkt das Gesetz zum Schutz von Embryonen beispielsweise das Arbeiten mit menschlichen Keimzellen und Embryonen auf die leiblichen Eltern ein. Ein Fremdtransfer wird unter Strafe gestellt. Daneben sind auch Leihmutterschaft und die Herstellung überzähliger Embryonen in Deutschland per Gesetz verboten. Es sollte vielleicht auch nicht unerwähnt bleiben, dass ein Retorten-Baby Kosten von ca. 50 000 DM verursacht. In Deutschland stehen ungefähr 10 000 Paare auf der Warteliste.
- ② Informieren Sie sich über geschlechtsgebundene Erbkrankheiten und beziehen Sie Stellung.
 - Die heute bekannten, über 200 rezessiven X-chromosomal gebundenen Erbkrankheiten führen typischerweise meist zu kranken Söhnen, während die Töchter gesund sind. Zu dieser Gruppe von Krankheiten gehören nicht nur Farbenblindheit (-schwäche), sondern auch schwerwiegende Erb-leiden, wie die geschlechtsgebundene geistige Entwicklungsstörung, die Adrenoleukodystrophie, das Lesch-Nyhan-Syndrom, die Hämophilie und die Muskelatrophie vom Typ Duchenne.
- ③ Lässt sich eine Geschlechtsbestimmung durch Embryonenselektion ethisch vertreten?
 - Die psychische Belastung ein erbgeschädigtes Kind zur Welt zu bringen, ist in Familien, in denen vermehrt Erbleiden aufgetreten sind, sicher groß. In der Naturwissenschaftlichen Rundschau 44. Jahrg. Heft 2, 1991 wird von einer neuen Methode berichtet, die pränatale Geschlechtsbestimmung bereits in die Phase des 6- bis 8-Zellstadiums zu verlegen. Den Familien wird damit weitgehend die Angst genommen, ein geschlechtsgebunden erbgeschädigtes Kind zu bekommen.

Die Frage, ob die bewusste Selektion der Mädchen in einem solchen Falle mit dem moralischen Verständnis der jeweils Betroffenen vereinbar ist, kann nur der persönlichen Entscheidung unter-liegen, zumal eine Abtreibung zu einem späteren Schwangerschaftstermin unter diesen Umstän-den rechtlich auch zulässig wäre. Eine Geschlechtsselektion aus persönlichen Gründen kann wohl kaum Akzeptanz finden (das Kinderzimmer schon blau gestrichen!).
- ④ Diskutieren Sie Argumente der beiden Parteien vor Gericht.
 - Die Frau sieht wohl unmittelbar keine Möglichkeit, sich ihren Kinderwunsch auf andere Weise zu erfüllen. Der Anwalt der Frau könnte ungefähr folgendermaßen argumentieren: Der Mann habe seine prinzipielle Einwilligung zur künstlichen Befruchtung gegeben. Die Embryonen haben als Personen ein Recht auf Leben. Dieses kann nur durch die Einpflanzung in die Gebärmutter der genetischen Mutter realisiert werden. Der Anwalt des Mannes wird vermutlich von der veränderten Rechtssituation ausgehen, die durch die Auflösung der Ehe gegeben ist. Die Embryonen würden damit zum gemeinsamen Besitz gehören. Die Frau dürfe damit nicht ohne die Zustimmung des Mannes über sie entscheiden.
- ⑤ Welche Aspekte müssten außer dem „technisch Machbaren“ bedacht werden, bevor man die Altersgrenze für Mutterglück künstlich anhebt?
 - Bei der Frau müssten die physiologischen Voraussetzungen zum ungestörten Austragen einer Schwangerschaft gegeben sein. Theoretisch ist es durch Einnahme von Hormonen inzwischen möglich, selbst die Gebärmutter einer 80-jährigen Frau auf den Zustand einer 18-jährigen zu brin-gen. Für die oben erwähnte 62-jährige Frau ist die Schwangerschaft also machbar.

Die eigene Position in dieser Kontroverse wird im Wesentlichen davon bestimmt, ob man natürliche Grenzen als gegeben anerkennt oder als Herausforderung betrachtet. Normalerweise befinden sich Menschen im Alter zwischen 20 und 35 Jahren auf dem Höhepunkt ihrer Vitalität. Es ist daher biologisch sinnvoll, die physisch und nervlich belastende Betreuung von Kleinkindern in diese Zeit zu legen. Das Gegenargument, dass auch Beispiele von hervorragender Großelternerziehung be-kannt sind, kann im Einzelfall nicht entkräftet werden. Es ist aber nicht unbedingt der Regelfall.

- ⑥ Die Manipulation an menschlichen Keimen ist in Deutschland verboten. In der Tierzucht wird diese Methode längst angewandt. Diskutieren Sie Beweggründe, die den amerikanischen Forscher zu seinen Experimenten geführt haben könnten.
- *Es liegt der Verdacht nahe, dass hier wissenschaftlicher Karrierehunger im Vordergrund steht. Einmal begonnen, wird das Machbare immer mehr zum eigentlichen Ziel erhoben. Medizinische Beweggründe, denkbar als potentes „Ersatzteillager“ für das geborene Kind, können wohl kaum diskutabel sein.*
- ⑦ Verdeutlichen Sie sich alle drei Typen von Mutterschaft, indem Sie Fälle konstruieren, die sie herbeiführen. Welche Möglichkeiten lässt die Rechtslage in Deutschland zu?
- *Die „Ei-Spenderin“ ist die biologische oder genetische Mutter. Nach der Befruchtung und von der ersten Teilung an bis zum ausgewachsenen Kind wird in jeder Zelle die Hälfte der Chromosomen von ihr stammen. Trägt sie das Kind neun Monate bis zur Geburt aus, so ist sie auch die physiologische Mutter. In Deutschland müssen per Gesetz genetische und physiologische Mutter identisch sein. Leihmutterschaft ist verboten. Die soziale Mutterschaft ist nicht mit den vorangegangenen identisch, wenn die Frau ein Kind adoptiert.*
- ⑧ Informieren Sie sich über das Gesetz zum Schutz von Embryonen, und beurteilen Sie es im Hinblick auf das bereits heute reproduktionstechnisch Machbare.
- *Das Gesetz schränkt das Machbare erheblich zum Wohle des Kindes ein. Es dürfen keine überzähligen Embryonen erzeugt werden, es darf mit ihnen nicht experimentiert werden, und auch die Übertragung auf Leihmütter ist untersagt. Darüber hinaus werden alle genetischen Manipulationen an Keimzellen und bei der Befruchtung (Chimären- und Hybridbildung) bestraft.*
- ⑨ Formulieren Sie Argumente für und gegen die Forschung an Keimen (Embryonen).
- *Argumente für die Embryonenforschung stammen aus dem wissenschaftlichen oder medizinischen Bereich, Argumente dagegen sind ethischer Natur.*

Material: Klonen (Seite 135)

- ① Beschreiben Sie die Entstehung eineiiger Zwillinge. Vergleichen Sie mit zweieiigen Zwillingen. Begründen Sie, ob es sich dabei um Individuen eines Klon handelt.
- *Eineiige Zwillinge entstehen aus einer Zygote, sie sind somit hinsichtlich ihrer Erbinformation identisch. Eineiige Zwillinge gehören genetisch zu einem Klon. Zweieiige Zwillinge entstehen aus zwei genetisch verschiedenen Eizellen, die von genetisch verschiedenen Spermien befruchtet wurden. Sie bilden somit keinen Klon (s. auch Schülerbuch Seite 140).*
- ② Welche Möglichkeiten der geschlechtlichen und der ungeschlechtlichen Fortpflanzung gibt es? Beschreiben Sie je zwei Beispiele für geschlechtliche bzw. ungeschlechtliche Fortpflanzung aus der Botanik und der Zoologie.
- *Literaturhinweis: Eine umfassende, übersichtliche Darstellung der verschiedenen Möglichkeiten geschlechtlicher bzw. ungeschlechtlicher Fortpflanzung findet man im bekannten dtv-Atlas zur Biologie Band 1.*
- ③ Stellen Sie in einer Tabelle Vorteile und Nachteile der geschlechtlichen und ungeschlechtlichen Fortpflanzung einander gegenüber.
- *Vorteil der geschlechtlichen Fortpflanzung: Rekombination; Nachteil: Partnersuche und Balz erfordern einen hohen Aufwand an Zeit und Energie. Vorteile der ungeschlechtlichen Fortpflanzung: Kein Zeit- und Energieaufwand für Partnersuche und Balz. In kurzer Zeit können viele Nachkommen erzeugt werden; Nachteil: keine Rekombination möglich.*
- ④ Informieren Sie sich über die Fortpflanzung bei Bakterien. Beschreiben Sie die Bedeutung der Konjugation der Bakterien.
- *siehe Schülerband Seite 19, 58 und 106*
- ⑤ Warum vermehren sich r-Strategen häufig ungeschlechtlich, K-Strategen dagegen geschlechtlich?
- *r-Strategen müssen in kurzer Zeit viele Nachkommen erzeugen. Aus den in Aufgabe 3 genannten Gründen ist dazu die ungeschlechtliche Fortpflanzung geeignet. K-Strategen erzeugen viele Nachkommen, die intensiv betreut werden müssen.*

- ⑥ Abb. 1 zeigt eine Methode zur Teilung von Embryonen in der Nutztier-Züchtung. Beschreiben Sie die Methode des Klonens durch Teilen des Embryos. Welchen Sinn hat es, die produzierten Eizellen in Leihmüttern austragen zu lassen? Erklären Sie dies an einem Beispiel aus der Rinderzucht. Erläutern Sie Möglichkeiten und Risiken.
- *Ausgangspunkt der Methode ist das Achtzellstadium. Der Embryo wird in acht einzelne Zellen zerlegt. Diese müssen in Leihmütter transplantiert werden, die später acht Lämmer gebären. Diese weisen gleiches Erbgut auf, bilden also einen Klon. Als Lieferantin für die Eizellen kann ein Schaf mit besonders wertvollem Erbgut verwendet werden. Dieses Schaf könnte im Laufe seines Lebens nur eine geringe Zahl von Lämmern selbst gebären. Transplantiert man jedoch dessen Zellen in Leihmütter, die selbst kein wertvolles Erbgut aufweisen, können sehr viele Lämmer mit dem Erbgut des Mutterschafes erzeugt werden. In der Rinderzucht wird diese Methode eingesetzt, um Rinder mit hoher Milchleistung und unempfindlichen Eutern zu züchten. Das Risiko der Methode ist eine Verarmung des Erbgutes bei Nutztierassen, da nur noch wenige Tiere als Quellen für die Züchtung herangezogen werden.*
Möglichkeiten: s. oben
- ⑦ Bei der Züchtung neuer Nutzpflanzensorten oder Nutztierassen legen Züchter großen Wert darauf, möglichst schnell eine hohe Zahl genetisch verschiedener Individuen zu erhalten. Warum ist dies so? Welche Möglichkeiten stehen den Züchtern dazu zur Verfügung?
- *Neue Sorten bzw. Rassen sollen sich den bereits vorhandenen durch neue, für den Menschen günstige Eigenschaften unterscheiden. Da sich nicht vorhersagen lässt, welche neue Eigenschaften durch die unten beschriebenen Methoden erzeugt werden, stellt man möglichst viele genetisch verschiedene Individuen her, in der Hoffnung, dass darunter auch solche mit den gewünschten Eigenschaften sind. Möglichkeiten s. Schülerbuch Seiten 99, 100f, 102f, 105 und 112f.*
- ⑧ Ist eine optimale Rasse bzw. Sorte erst einmal gezüchtet, versucht man sie ungeschlechtlich weiter zu vermehren. Begründen Sie. Welche Bedeutung kommt der Rekombination in der synthetischen Theorie der Evolution zu? Welchen evolutionären Vorteil bietet es, dass sich sehr viele Lebewesen geschlechtlich fortpflanzen?
- *Bei der ungeschlechtlichen Vermehrung gibt es keine Rekombination, sodass alle Nachkommen gleiches Erbgut aufweisen, wenn man spontan auftretende Mutationen außer Acht lässt. Evolutionärer Aspekt siehe Schülerbuch Seite 270.*
- ⑨ Abb. 2 zeigt einen historischen Versuch zum Klonen von Krallenfröschen. Erklären Sie anhand der Abb. die Vorgehensweise.
- *Eine unbefruchtete Eizelle wird mit UV-Strahlung behandelt. Die DNA im Zellkern wird dadurch zerstört. Einer Kaulquappe wird ein Stück Darm entnommen. Aus einer Darmepithelzelle wird der Zellkern isoliert und in das Plasma der entkernten Eizelle gebracht. Daraus entwickelt sich zunächst eine Blastula und später ein ausgewachsener Frosch.*
- ⑩ Vergleichen Sie mit der in Abb. 1 beschriebenen Methode.
- *Im Gegensatz zu Abb. 1 entsteht das Erbgut nicht über geschlechtliche Fortpflanzung, sondern es wird einer bereits differenzierten Körperzelle eines bestimmten Individuums entnommen. Es kommt zu keiner Vermehrung, allerdings wäre es auch möglich, aus dem Darmepithel mehrere Zellkerne zu gewinnen.*
- ⑪ IAN WILLMUT u. Mitarbeiter „erzeugten“ 1996 das Klonschaf Dolly mithilfe einer neuen Technik (Abb. 3). Vergleichen Sie diese mit den Vorgehensweisen aus Abb. 1 und 2. Was ist das Besondere an Dolly?
- *Die Vorgehensweise bei der Erzeugung von Dolly entspricht der bei Abb. 2. Allerdings wird der Zellkern nicht durch UV-Strahlung zerstört, sondern abgesaugt. Da es sich um den Embryo eines Säugetieres handelt, ist ein weiteres Schaf als Leihmutter nötig.*
- ⑫ Worin unterscheiden sich die Zellen eines Embryos grundlegend von z. B. Darmepithelzellen eines Schafs?
- *Embryonale Zellen sind totipotent oder zumindest pluripotent. Adulte Zellen, z. B. Darmepithelzellen eines Schafs, sind unipotent.*

- ⑬ Informieren Sie sich über die im Text erwähnten Krankheiten hinsichtlich Ursache, Verlauf, Prognose und konventioneller Therapie.
- *Empfehlenswert ist eine Information mithilfe eines Medizinlexikons (z.B. Pschyrembel), aktuelle Adressen aus dem Internet findet man in Internet-Ratgebern für Lehrer bzw. Wissenschaftler sowie in verschiedenen Computerzeitschriften.*
- ⑭ Vergleichen Sie das therapeutische Klonen hinsichtlich der Durchführung und der Zielsetzung mit den verschiedenen Möglichkeiten des reproduktiven Klonens. Welche Chancen und Risiken eröffnet das therapeutische Klonen?
- *Therapeutisches Klonen erzeugt keine Individuen, sondern ersetzt Gewebe bzw. Organe eines bereits lebenden Organismus. Das neue Gewebe ist genetisch identisch mit dem des Empfängers. Gemeinsames Merkmal ist die Übertragung von Erbmateriale in eine zuvor entkernte Eizelle. Sonst nicht heilbare Krankheiten könnten erfolgreich therapiert werden.*

Material: Ethische Aspekte der Biomedizin (Seite 137)

- *Grundlegende Informationen über die angesprochenen Krankheiten sollten sich die 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 Selbsthilfeorganisationen von Betroffenen, z. B. www.dmsg.de, www.deutsche-alzheimer.de, www.alzheimerforum.de und von den großen Wissenschaftsorganisationen, z. B. www.dfg.de*

4 Humangenetik und Erbkrankheiten

Familienstammbäume lassen Erbgänge erkennen (Seite 139)

- ① Geben Sie für alle Personen im Stammbaum (Abb. 2) die Genotypen an. Bei welcher Person kann der Genotyp nicht exakt festgelegt werden?
- *Wegen der Seltenheit von Albinismus kann man davon ausgehen, dass die Personen 2, 4, 6 und 13 den Genotyp AA aufweisen.*
Genotypen der einzelnen Personen: 1) aa, 2) AA, 3) Aa, 4) AA, 5) Aa, 6) AA, 7) Aa, 8) Aa oder AA, 9) Aa, 10) Aa, 11) AA oder Aa, 12) AA oder Aa, 13) AA, 14) aa, 15) AA oder Aa, 16) aa, 17) AA oder Aa, 18) AA oder Aa
- ② Die Singstimme hat vermutlich einen intermediären Erbgang. Sopran und Alt bzw. Tenor und Bass werden als homozygot aufgefasst, Mezzosopran und Bariton gelten als heterozygot. Geben Sie den Stammbaum einer Familie an, in der die Kinder im Chor alle möglichen Singstimmen besetzen können. Welche Genotypen haben die beteiligten Personen?
- *h = Allel für Merkmal „hohe Stimme“
t = Allel für Merkmal „tiefe Stimme“
Damit die Kinder alle möglichen Genotykombinationen haben können, müssen beide Eltern heterozygot sein:*



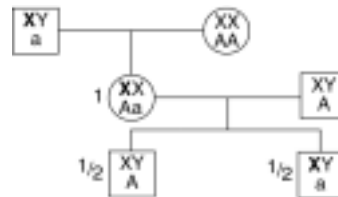
Zwillingsuntersuchungen (Seite 140)

- ① Welchen Schluss lassen die Zahlen in Abb. 3 über die genetische Bedingtheit von Körpergröße und -gewicht zu?
- Es zeigt sich eine deutlich höhere Konkordanz in der Körpergröße bei eineiigen Zwillingen als bei zweieiigen. Die Konkordanz ist bei eineiigen Zwillingen, die getrennt aufwachsen, kaum kleiner. Es muss also von einem relativ großen genetischen Einfluss auf die Körpergröße ausgegangen werden.
- Beim Körpergewicht ist kaum ein Unterschied in den Konkordanzwerten bei eineiigen und zweieiigen Zwillingen festzustellen. Dagegen besteht ein deutlicher Unterschied, wenn eineiige Zwillinge getrennt oder gemeinsam aufwachsen. Für das Körpergewicht ist folglich die genetische Komponente weniger wichtig. Entscheidender ist der Umwelteinfluss (Ernährungsgewohnheiten).

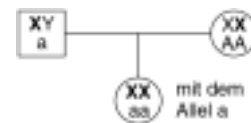
Das Erbe der Viktoria – ein gonosomaler Erbgang (Seite 143)

- ① Führen Sie eine Stammbaumanalyse für die Bluterkrankheit beim ZAREWITSCH ALEXEI durch. Welchen Genotyp hatte seine Urgroßmutter Queen VICTORIA?
- Die Bluterkrankheit (Hämophilie A) wird X-chromosomal-rezessiv vererbt. Söhne können nur erkranken, wenn ihre Mütter Konduktorinnen sind.
- a = Allel für die Bluterkrankheit
 ALEXANDRA, die Mutter des ZAREWITSCH ALEXEI muss deshalb Konduktorin gewesen sein (Aa), Zar NIKOLAUS II. war hemizygot gesund (A). Weil der Vater von ALEXANDRA (Ludwig von Hessen) ebenfalls gesund war (A), muss ihre Mutter ALICE ebenfalls Konduktorin gewesen sein (Aa). Gleiches gilt für Prinz ALBERT (A) und Queen VICTORIA (Aa). Sie war Konduktorin für die Bluterkrankheit.

- ② Mit welcher Wahrscheinlichkeit haben die Enkel söhne eine Rot-Grün-Seh schwäche, wenn der Großvater mütterlicherseits auch davon betroffen war?
- Die Rot-Grün-Seh schwäche wird X-chromosomal-rezessiv vererbt:
- a = Allel für Rot-Grün-Seh schwäche
 X = X-Chromosom mit dem Allel a
 Gesamtwahrscheinlichkeit = Produkt der Einzelwahrscheinlichkeiten: $1 \times \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$
 fi Die Wahrscheinlichkeit beträgt 50 %.

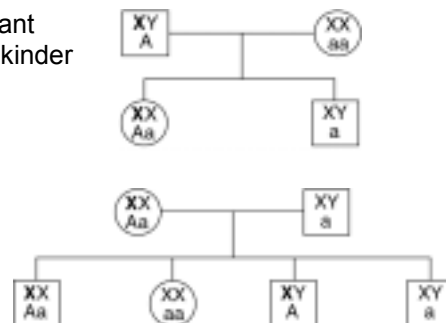


- ③ Erklären Sie durch ein Erbschema, wie in sehr seltenen Fällen (1:100 000 000) auch Frauen bluterkrank werden können.
- Eine X-chromosomal-rezessive Krankheit kann bei einer Frau nur auftreten, wenn ihr Vater erkrankt ist und ihre Mutter Konduktorin für diese Krankheit ist:
- a = Allel für die Bluterkrankheit
 X = X-Chromosom mit dem Allel a



- ④ Eine Zahnschmelzverfärbung wird X-chromosomal-dominant vererbt. Welche Folgen erwarten Sie für Kinder und Enkelkinder eines betroffenen Mannes?
- A = Allel für das Merkmal „Zahnschmelzverfärbung“
 X = X-Chromosom mit dem Allel A

Alle Töchter dieses Mannes werden ebenfalls die Zahnverfärbung haben, weil sie vom Vater das X-Chromosom mit dem dominanten Allel A bekommen. Die Söhne sind nicht von diesem Merkmal betroffen, weil sie von der gesunden Mutter das X-Chromosom bekommen und vom Vater das für die Zahnschmelzverfärbung unwichtige Y-Chromosom. Die Kinder dieser Söhne werden ebenfalls eine normale Zahnschmelzfärbung haben. Die Kinder der Töchter können jedoch von der Verfärbung betroffen sein: 50 % dieser Enkelkinder sind von der Verfärbung betroffen.



Down-Syndrom (Seite 143)

- ① Im Gegensatz zu Jungen sind Mädchen mit dem Down-Syndrom oft nicht steril. Welche Folgen erwarten Sie für die Kinder einer Frau mit freier Trisomie 21?
 - Bei der Paarung der homologen Chromosomen in der Prophase der Meiose findet ein einzelnes Chromosom 21 keinen Partner. In der Anaphase der 1. Reifeteilung entscheidet der Zufall, ob dieses Chromosom in das Polkörperchen kommt oder in der Eizelle bleibt. Im ersten Fall werden die Kinder gesund sein, im zweiten Fall sind sie vom Down-Syndrom betroffen. Es besteht also eine Wahrscheinlichkeit von 50 %, dass die Kinder diese genetisch bedingte Erkrankung bekommen.
- ② Erklären Sie, warum die absolute Anzahl der Kinder mit Trisomie 21 bei den 45-jährigen Müttern niedriger liegt als bei den 30-jährigen.
 - Die Wahrscheinlichkeit, ein Kind mit dem Down-Syndrom zu bekommen, nimmt zwar für Frauen mit einem Alter über 35 Jahren zu, aber die Zahl der Geburten insgesamt in der Lebensaltersgruppe dieser Frauen verringert sich deutlich. Da das Durchschnittsalter der Mütter in Deutschland zwischen 27 und 32 Jahren liegt, wird auch von dieser Altersgruppe die absolut höchste Zahl mit Kindern mit dem Down-Syndrom geboren.

Gonosomale Chromosomenabweichungen (Seite 144)

- ① In welcher Reifeteilung muss bei der Entstehung der Spermienzellen eine Nondisjunction stattfinden, damit bei anschließender Befruchtung das Diplo-Y-Syndrom zustande kommen kann?
 - Die 1. Reifeteilung verläuft normal. Es entsteht eine Zelle mit einem X- und eine Zelle mit einem Y-Chromosom. Wenn die beiden Y-Chromatiden dieser Zelle in der 2. Reifeteilung nicht getrennt werden (Nondisjunction), entsteht ein Spermium mit zwei Y-Chromosomen, das bei Befruchtung einer normalen Eizelle zum Diplo-Y-Syndrom (47, XYY) führt.
- ② Erklären Sie die beiden Erbgänge in der Randspalte. Geben Sie dabei die Genotypen der Personen an und zeigen Sie, welche besonderen Vorgänge bei der Keimzellenbildung stattgefunden haben müssen.
 - Die Bluterkrankheit (Hämophilie A) wird X-chromosomal rezessiv vererbt:
 a = Allel für die Bluterkrankheit
 X = X-Chromosom mit dem Allel a

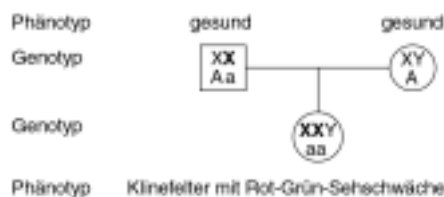


Durch Nondisjunction in der 1. Reifeteilung können Spermien mit beiden Gonosomen oder Spermien ohne Gonosom entstehen. Wenn eines der gonosomenfreien Spermien zufällig eine Eizelle befruchtet, die in der 1. Reifeteilung das X-Chromosom mit dem Allel a erhielt (X), entsteht ein Turner-Mädchen (45, X0). Dieses Mädchen ist hemizygot (a) von der Bluterkrankheit betroffen.

Die Rot-Grün-Sehschwäche wird X-chromosomal rezessiv vererbt:

a = Allel für Rot-Grün-Sehschwäche

X = X-Chromosom mit dem Allel a



Die Rot-Grün-Sehschwäche kann bei einem Klinefelter Sohn nur auftreten, wenn beide X-Chromosomen das rezessive Allel a tragen. Es muss deshalb bei der Entstehung der Eizelle in der 2. Reifeteilung der Meiose zu einer Nondisjunction beim X-Chromosom mit dem Allel a gekommen sein. Diese Eizelle (24, XX) wurde von einem Spermium (23, Y) befruchtet.

Von Eugenik zum Rassenwahn (Seite 146)

- ① In den USA bieten „Samenbanken“ das Sperma erfolgreicher Männer zur künstlichen Besamung an. So soll „hochwertiger“ Nachwuchs gezeugt werden. Was halten Sie aus genetischer bzw. ethischer Sicht von solchen Bestrebungen?
- *Aus genetischer Sicht muss man zunächst einmal bezweifeln, dass „Erfolg“ vererbt werden kann. Aber auch bei einer solchen Annahme wäre die Maßnahme genetisch sinnlos, weil sich „Erfolg“ aus einer Vielzahl körperlicher und psychischer Faktoren ergibt (Gesundheit, Durchsetzungsvermögen, Intelligenz, Risikobereitschaft u. a.). Außerdem kommen die Allele der Mutter hinzu. Aus ethischer Sicht ist eine solche Maßnahme ebenfalls abzulehnen, da sie eine unzulässige Wertung menschlicher Eigenschaften vornimmt.*

Netzthemen

Struktur und Funktion (Seite 149)

① Stellen Sie Struktur und Funktion der dargestellten Beispiele tabellarisch zusammen.

– *tabellarische Übersicht der Beispiele:*

Beispiel	Struktur-Funktions-Beziehung
Laubblatt	gezähnte Blattränder greifen ineinander – Bildung eines Fangkäfigs
Blüte	Orchideenblüte mit Gestalt (und Geruch) von weiblichen Insekten – Anlockung männlicher Insekten, Bestäubung der Blüte mit fremdem Pollen
Körpergestalt	aufgelöste Körperkontur – Tarnung
Organe	Darmzotten und Lungenbläschen – Oberflächenvergrößerung an Organen, an denen Stoffaufnahme oder/und Stoffabgabe stattfindet
Organellenstruktur	Membranstrukturen – Membranfaltungen zur Oberflächenvergrößerung, Membranporen zur Permeabilität
Zellstruktur	Anreicherung bestimmter Organellen – Leistungssteigerung spezifischer Stoffwechselleistungen

② Zeigen Sie an spezialisierten Organen von Blütenpflanzen und Wirbeltieren weitere Struktur-Funktions-Zusammenhänge.

– *Beispiele spezialisierter Organe:*

bei Pflanzen:

Oberflächenreduktion zur Einschränkung der Transpiration, Fraßschutz. Bei Pflanzen Metamorphosen von Spross und Blatt:

- *Sprossdornen (z.B. Weißdorn), Blattdornen (z.B. Berberitze, Kakteen)*
- *Sprossknollen (z.B. Kartoffel) – Speichergewebe*
- *Sprossranke (z.B. Passionsblume) – Verankerung an Strukturen der Umgebung*

bei Tieren:

Lufttröhre: Knorpelspangen – Erhaltung des Lumens

Knochen: dichte Struktur des Knochengewebes, Kalkeinlagerung – Stabilität, Festigung

Blutzellen ohne Gewebeverband – Verteilbarkeit in alle Körperregionen

③ Nennen Sie weitere Beispiele für Tarnung im Tierreich. Ordnen Sie diese Beispiele in geeignete Kategorien.

– *Tarnung durch Färbung:*

- *Frischlinge bei Wildschweinen*
- *Gefieder bei Stockenten (Hennen)*
- *Fellfarbe bei Hasen*
- *grüne Farbe bei Tieren, die im Gras leben (z.B. Heuschrecke)*
- *wechselnde Färbung der Körperoberfläche (z.B. Chamäleon, Octopus)*

Tarnung durch Nachahmung anderer Tiere:

- *Genießbare oder ungiftige Arten ahmen in Form, Farbe und Verhalten ungenießbare nach (Batessche Mimikry); z.B. giftiger Monarchfalter – ungiftiger Fleckenfalter; giftige Echte Korallenschlange (Micrurus frontalis brasiliensis) – ungiftige Falsche Korallenschlange (Simophis rhinostoma).*
- *Verschiedene ungenießbare Arten ähneln einander stark in Form und Farbe (Müllersche Mimikry); z.B. verschiedene Arten von Fleckenfaltern.*

Tarnung durch Nachahmung der Umgebung:

- *Schmetterling Ordensband: Vorderflügel entsprechen in Form und Struktur der Borke von Bäumen.*
- *Blattschmetterling Callima: Flügelunterseiten gleichen einem welken Blatt.*
- *Stabheuschrecken zeigen Farbe und Gestalt kleiner Zweige.*
- *Lianenschlagen (z.B. Ahaetulla, Oxybelis): Körperform und Körperfärbung entsprechen dem Stängel einer Liane.*

④ Sammeln Sie Merkmale, mit denen Tiere auffallen. Gruppieren Sie diese Merkmale nach ihrer biologischen Bedeutung.

- *Wartracht: Wehrhafte oder giftige Tiere warnen durch Färbung, z.B. Echte Korallenschlangen (auffällige gelb-rot-schwarze Ringelmuster), Feuersalamander, Hornissen, Wespen (gelb-schwarz-Muster)*

*Schrecktracht: Ungefährliche Tiere schrecken durch scheinbar bestimmte Muster, z.B. Tagpfauen-
auge, Abendpfauenauge – große Augenmuster auf den Flügeln*

*Sexualdimorphismen: Auffällige Merkmale findet man bei Männchen. Sie dienen dem Werben um
eine Geschlechtspartnerin, die diese Merkmale nicht zeigt. (Oft sind auffällige Körperfärbungen der
Männchen besonders während der Paarungszeit ausgeprägt. Beispiele: Schmuckfedern (Stock-
ente, Pfau), große Eckzähne (Paviane), Geweih (Hirschböcke), Mähne (Löwe, Affen), Körperfär-
bung (Zauneidechse, Stichling).*

- ⑤ Welchen differenzierten Zellen von Tieren und Pflanzen können Sie aufgrund der mikroskopischen
Struktur Funktionen zuordnen? Beschreiben Sie. Warum gelingt dies nicht bei allen Zelltypen?

– *Beispiele für die Interpretation der Funktion differenzierter Zellen:*

Epidermis von Laubblättern: dicke Zellwände an der Oberfläche – Transpirationsschutz

Palisadenparenchym von Laubblättern: große Anzahl von Chloroplasten – Fotosynthese

Kollenchym im Spross: an bestimmten Stellen verdickte Zellwände – Festigung

Tierzellen:

Sehnengewebe: Faserbündel (Kollagenfasern) – Zugfestigung

Nervenzellen: lange Ausläufer – Signalleitung

Spermien: Geißel – Fortbewegung

*Die Zuordnung gelingt, wenn die Differenzierung deutliche strukturelle Veränderungen zur Folge
hat. Ist die Differenzierung physiologischer Natur, so gelingt es meist nicht, die Funktion zu er-
schließen. Typische Beispiele sind die Inselzellen der Langerhans'schen Inseln der Bauchspei-
cheldrüse und Lymphocyten: Aufgrund ihrer Struktur war die Funktion dieser Zellen nicht zu er-
schließen und blieb daher auch lange Zeit nach ihrer Entdeckung unbekannt.*

- ⑥ Stellen Sie weitere Beispiele aus der Biologie für das Prinzip der Oberflächenvergrößerung zu-
sammen.

– *Biologische Beispiele zur Oberflächenvergrößerung:*

– *Faltung des Großhirns bei Säugetieren: Hauptsächlich im Bereich der Oberfläche liegen die
Zellkörper.*

– *Faltungen der Riechschleimhaut*

– *Form roter Blutzellen: Im Vergleich zur Kugelform ist die Oberfläche vergrößert.*

– *Emulgieren von Fetten durch Gallensäuren im Dünndarm.*

– *Blätter von Sprosspflanzen: Eine große Oberfläche ist günstig für Lichtabsorption und Gasaus-
tausch.*

- ⑦ Zeigen Sie an Beispielen aus Haushalt und Technik, wo das Prinzip Oberflächenvergrößerung
angewendet wird.

– *Einige technische Beispiele zur Oberflächenvergrößerung:*

– *Rippen und Rohrschlangen von Heizkörpern*

– *Rippen an Kühlkörpern von Halbleiterbauelementen*

– *Rohrschlangen in Kühlschränken*

– *Zotten an Frotteehandtüchern*

– *gefaltetes Filterpapier oder kleinkörniges Filtermaterial in Filterpatronen*

– *Sand o.ä. als Bindemittel für Flüssigkeiten*

Kompartimentierung (Seite 151)

- ① Nennen Sie Analogien zwischen Organen und Organellen.

– *Organe sind abgegrenzte Bereiche innerhalb des Körpers, die gegenüber anderen Organen abge-
grenzt sind, meist eine definierte Form und Feinstruktur aufweisen und immer spezifische Aufga-
ben erfüllen. Zwischen den Organen werden Stoffe und Information kontrolliert ausgetauscht. Ihre
Zusammenarbeit macht die Funktion des Körpers aus.*

*Organellen sind abgegrenzte Bereiche innerhalb der Zelle, die gegenüber anderen Organellen ab-
gegrenzt sind, meist eine definierte Form und Feinstruktur aufweisen und immer spezifische Auf-
gaben erfüllen. Zwischen den Organellen werden Stoffe und Information kontrolliert ausgetauscht.
Ihre Zusammenarbeit macht die Funktion der Zelle aus.*

- ② Führen Sie entscheidende Vorteile auf, die kompartimentierte Strukturen bieten.
- *In verschiedenen Kompartimenten können ganz unterschiedliche Reaktionen gleichzeitig ablaufen, es herrschen verschiedene Reaktionsbedingungen (pH-Wert, Enzymausstattung, Substrate). Produkte können getrennt voneinander gespeichert und kontrolliert transportiert werden.*
- ③ „Die Identität eines Zellkompartiments beruht im Wesentlichen auf spezifischen Protein-Bestandteilen seiner Membran.“ Begründen Sie diese Aussage. Inwieweit ist sie auf andere Kompartimente übertragbar?
- *Die Proteine der Membran bestimmen einerseits deren Permeabilität – den aktiven und den passiven Transport durch die Membran; viele Membranproteine sind als Enzyme aktiv, als Baustoffe beeinflussen sie die Form der Membran.*
- ④ Zeigen Sie am Beispiel eines Lymphknotens, wie durch Kompartimentierung eine Arbeitsteilung ermöglicht wird.
- *Lymphknoten gliedern sich in Bereiche mit unterschiedlichen Zellformen: Die äußere Rinde enthält vor allem B-Lymphocyten, die innere Rinde T-Zellen, im Mark findet man Plasmazellen, die Antikörper herstellen und abgeben. Die Bereiche unterscheiden sich in ihren Aufgaben: Die Lymphfollikel sind Ansammlungen antigen-sensitiver B-Lymphocyten. In den Keimzentren der Follikel vermehren sich die B-Zellen, dort reifen sie auch. In den Marksträngen wird die aus dem Gewebe kommende Lymphe auf Antigene überprüft, bevor sie in die Blutbahn gelangt. Hier treffen die verschiedenen Zellen des Immunsystems zusammen, die gebraucht werden, um eine Immunreaktion auszulösen. Muskelzellen der Kapsel kontrahieren den Lymphknoten und transportieren so die Lymphe. Durch die Lymphgefäße können Antikörper und Lymphocyten die Lymphknoten verlassen.*
- ⑤ Welchen Beitrag leistet die Endosymbiontentheorie, um die Entstehung der Zellkompartimentierung zu erklären?
- *Nach der Endosymbiontentheorie entwickelten sich Mitochondrien und Chloroplasten aus Prokaryoten (Bakterien und Cyanobakterien)), die in eine größere Zelle als Endosymbionten aufgenommen wurden: Die innere Membran leitet sich von der Zellmembran der Endosymbionten her, die äußere Membran entstand aus der Zellmembran der Wirtszelle, die die Endosymbionten umhüllte. So ist zwanglos zu erklären, warum Mitochondrien und Chloroplasten ringförmige DNA-Moleküle besitzen, warum ihre Ribosomen denen der Bakterien gleichen und warum sie nur durch Teilung aus ihresgleichen entstehen können.*
- ⑥ Grenzflächen sind Barrieren und Brücken: Zeigen Sie am Beispiel der menschlichen Haut, wie Stoff- und Informationsströme selektiv abgeblockt bzw. geleitet werden.
- *Die menschliche Haut ist für viele Stoffe weitgehend undurchlässig, so für Wasser, wasserlösliche Chemikalien und Parasiten. Der Säureschutzmantel der Haut wehrt Bakterien ab. Pigmente absorbieren Licht und UV-Strahlung. Das Fettgewebe der Unterhaut dient der Wärmeisolation und als Druckpolster. Schweiß und Talg werden durch Drüsen aktiv nach außen transportiert. Information wird durch Tast- und Temperatursinn von außen nach innen weitergeleitet und verstärkt, andere Information, wie elektromagnetische Strahlung (Licht) und Schall, wird nicht aufgenommen. Durch Erröten und Erblassen kann die Haut Information nach außen abgeben.*
- ⑦ Suchen Sie nach Analoga der Kompartimentierung in Schule, Wohnung und Betrieben. Welche Funktionen hat jeweils die Kompartimentierung? Wieweit entsprechen diese Funktionen denen der Kompartimentierung der Lebewesen?
- *In den verschiedenen Klassen-, Fach- und Sammlungsräumen einer Schule befinden sich unterschiedliche Gruppen von Menschen, jeweils andere Ausstattung durch Möbel und Geräte, oft haben sie unterschiedliche Grundrisse. Die Durchführung verschiedener Aufgaben wird durch optische und akustische Isolierung erleichtert. Türen ermöglichen Austausch von Menschen und Materialien.*
- ⑧ Auch Ökosysteme sind in Kompartimente unterteilt. Warum sind die Kompartimente eines Ökosystems, z. B. Freiwasser-, Ufer- und Tiefenzone eines Teichs, nur bedingt mit den Kompartimenten einer Zelle vergleichbar?
- *Die Zonen eines Ökosystems sind nicht durch Grenzflächen gegeneinander abgetrennt, sie gehen vielmehr meist allmählich ineinander über und können sich verschieben. Der Austausch vieler Organismen und Stoffe ist leicht und meist unkontrolliert möglich.*

- ⑨ Beschreiben Sie an verschiedenen Beispielen den Zusammenhang zwischen Kompartimentierung und Oberflächenvergrößerung.
- *Mitochondrien sind von einer Doppelmembran begrenzt. Die innere Membran erfährt durch Einstülpungen, die plattenartig oder röhrenförmig (Cristae oder Tubuli) in den plasmatischen Innenraum, die Mitochondrienmatrix, ragen, eine starke Oberflächenvergrößerung. Die Membranen sind von unzähligen gestielten Körperchen besetzt. Die Membranen tragen Enzyme der Atmungskette. Auch Chloroplasten sind von einer Doppelmembran begrenzt. In der Grundsubstanz (Stroma, Matrix) des Chloroplasten liegen flache Membranzisternen, die Thylakoide. An verschiedenen Stellen falten sie sich, oft sind sie als Stapel übereinandergelagert, sodass ein vielschichtiges Hohlraumssystem entsteht. An die Thylakoidmembranen ist das Chlorophyll gebunden, das Licht absorbiert. Der Dünndarm ist Hauptumschlagplatz der Nährstoffaufnahme. Seine Innenfläche beträgt beim Menschen 200 m², sie ist mit mehreren Transportsystemen ausgestattet und darauf spezialisiert, die Nährstoffe in den Körper einzuschleusen.*
 - In diesen Beispielen bedeutet Kompartimentierung immer auch Oberflächenvergrößerung: Die Kompartimente sind durch Membranen oder Epithelien voneinander abgetrennt, die innere Oberflächen im Körper bzw. in der Zelle darstellen. Sie greifen aktiv in den Stoffwechsel oder den Transport von Stoffwechselprodukten ein. Oft sind die Grenzflächen gefaltet, sodass die Oberflächen weiter vergrößert werden.*

Spezifische Molekülinteraktionen (Seite 153)

- ① Erstellen Sie tabellarisch eine Übersicht der gegebenen Beispiele. Benennen Sie dazu die interagierenden Moleküle bzw. Strukturen sowie sich einstellende Reaktionen oder Wirkungen.
- *tabellarische Übersicht der Beispiele:*

	Beispiel	Molekül 1	Molekül 2	Wirkung
1.	Enzyme	Enzym	Substrat	Reaktion, beschleunigte Einstellung des Reaktionsgleichgewichts
2.	Viren	Proteinmolekül der Virushülle	Rezeptormolekül der Zellwand (Bakterien, Pflanzen) oder der Zellmembran	Adsorption des Virus; Voraussetzung zur Infektion der Wirtszelle
3.	Immunsystem	Rezeptoren auf B- und T-Zellen, Antikörper (verschiedene IG-Typen)	Antigene (Makromoleküle)	Biochemische Prozesse aktivieren den Ablauf der Immunabwehr; Agglutination
4.	Basenpaarung	Purinbase (A, G)	Pyrimidinbase (C, T)	Bildung eines stabilen Doppelstrangs
5.	Synapse	Neurotransmitter, z.B. ACH, Adrenalin, Serotonin, Glycin	Kanalprotein	Öffnen oder Schließen von Ionenkanälen
6.	Hormonrezeptor	Hormon (meist Proteohormone, die nicht in die Zelle eindringen)	Rezeptor	Kaskade, Stoffwechsel, Genaktivierung

- ② Geben Sie soweit wie möglich an, zu welchen Stoffgruppen die interagierenden Moleküle gehören. Welche Stoffgruppe tritt besonders häufig auf? Entwickeln Sie dafür eine Erklärung.
- *Stoffgruppen; häufig treten Proteine auf: Die Strukturen von Proteinen sind sehr vielfältig aufgrund hoher Variabilität der Primärstruktur.*

	Beispiel	Molekül 1	Molekül 2
1.	Enzyme	Enzym: Protein oder Protein mit nichtproteinogenem Anteil	Substrat: variabel
2.	Viren	Proteinmolekül der Virushülle	Rezeptormolekül der Zellwand oder der Zellmembran: Protein, Glycoprotein, Kohlenhydrat
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.	Hormonrezeptor	Hormon: u.a. Proteine	Rezeptor an der Zellmembran: Protein

- ③ Welche Methoden zur Strukturaufklärung von Makromolekülen sind Ihnen bekannt? Beschreiben Sie.
- Zur Strukturaufklärung eines Moleküls kommen mehrere Methoden zur Anwendung (siehe z.B. *Elemente Chemie II*, Klett Verlag, Klett Nr. 07567, Seite 16–32): Chromatografie, Elektrophorese, Massenspektroskopie, Infrarotspektroskopie, NMR-Spektroskopie, Röntgenbeugung.

- ④ Nennen Sie Beispiele für historisch bedeutende Ergebnisse der Strukturaufklärung von Makromolekülen.
- Beispiele für die Strukturaufklärung von Makromolekülen:

Molekül	Jahr	Wissenschaftler
DNA	1953	JAMES WATSON, FRANCIS CRICK, MAURICE WILKINS, ROSALIND FRANKLIN
Hämoglobin, Myoglobin	1960	MAX PERUTZ et al
Lysozym	1965	PHILLIPS et al, erste Strukturaufklärung eines Enzyms

- ⑤ Nennen Sie weitere Beispiele für spezifische Molekülinteraktionen. Stellen Sie die Bedeutung dar.
- Weitere Beispiele für spezifische Molekülinteraktion:
 - Hormon-Proteinkomplex – DNA: Genaktivierung, z.B. Thyroxin (s. Schülerbuch Seite 210)
 - Pharmaka, Drogen, Gifte – Kanalproteine an Synapsen
 - Pharmaka – Enzyme, z.B. Allopurinol hemmt Xanthinoxidase (s. Schülerbuch Seite 48)

- ⑥ Welche der dargestellten spezifischen Molekülinteraktionen sind in der Biotechnik und in der Medizin von Bedeutung? Erläutern Sie.

- Beispiele für biotechnische und medizinische Anwendungen:

Enzyme:

- Herstellung alkoholischer Getränke (Hefe, Zymase)
- Lebensmittelherstellung (Käse – Chymosin = Labferment), Brot – Amylasen u.a., Fruchtsaft – Pektinasen)
- Waschmittel (Proteasen und/oder Lipasen)
- Blutzuckerbestimmung (Glucoseoxidase, s. Schülerbuch Seite 51)
- biochemische Tests, z.B. Elisa, Nachweis geringer Stoffmengen durch „enzymatische Verstärkung“ (s. Schülerbuch Kasten Seite 239)

Antigen-Antikörper-Reaktion (Immunreaktion):

- aktive Immunisierung bei der Schutzimpfung
- passive Immunisierung z.B. bei Verdacht auf Infektion mit FSME oder bei Vergiftungen nach Schlangenbiss
- Elisa-Test, Nachweis von Antikörper gegen HIV (s. Schülerbuch Seite 239)
- Anwendungen monoklonaler Antikörper (s. Schülerbuch Seite 240)

Synapse:

- Wirkung von Pharmaka und anderen Stoffen an Synapsen (s. Schülerbuch Seite 207)
- Gift, z.B. E 605, Curare (s. Schülerbuch Seite 240/241)

Hormonrezeptoren:

- Behandlung von Krankheiten, die durch Hormonmangel hervorgerufen werden, z.B. Diabetes, Myödem (s. Schülerbuch Seite 214/215)
- Pheromone bei der Bekämpfung von Schädlingen, z.B. Borkenkäfer, Weinbergtraubenwickler (s. Schülerbuch Seite 218)

Informationsträger (Seite 155)

- ① Klären Sie die Begriffe Information, Signal und Informationsträger. Wenden Sie diese Begriffe soweit möglich auf die dargestellten Beispiele an.
- Information kann man definieren als eine Mitteilung, die aus einer räumlichen oder zeitlichen Folge von Signalen besteht, die beim Empfänger ein bestimmtes Verhalten bewirkt. Information vermittelt Wissen über unbekannte Zustände und mögliche Ereignisse.
Als Signal bezeichnet man die physikalische Darstellung von Nachrichten oder Daten, durch die Information übertragen und gespeichert werden kann. Die Bedeutung der Signale wird durch einen Code festgelegt.

Der Informationsträger dient zur Speicherung von Information. Bei der Informationsübertragung kann der Träger gewechselt werden, die selbe Information kann beispielsweise geschrieben oder gesprochen sein.

Träger der genetischen Information ist die DNA. Ein DNA-Molekül besteht aus einer Kette von vier verschiedenen Nucleotiden. Durch die Nucleotidsequenz eines DNA-Abschnitts wird die Aminosäuresequenz eines Proteins festgelegt. Jedes Nucleotid stellt ein Signal dar. Die Zuordnung einer bestimmten Aminosäure zu einem Basentriplett bezeichnet man als genetischen Code.

- ② Erläutern Sie die genannten Informationsträger. Welcher Art ist die Information, wie wird sie gespeichert und wie erfolgt ihre Weitergabe?

	Art der Information	Speicherung	Weitergabe/ Übertragung
DNA	Erbinformation (Aminosäuresequenz der Proteine, Steuerungsgene)	Nucleotidsequenz der DNA	Replikation und Mitose bzw. Meiose Transkription und Translation
Immunität	Struktur der Epitope von Antigenen	B- und T-Gedächtniszellen, Antikörper	Bildung von Plasma, T-Zellen und Antikörpern
Gehirn	Erfahrung, Erlerntes, Ererbtes	Langzeitpotenzierung, Ausbildung neuer Synapsen, angeborene „Verschaltungsstrukturen“	Langzeitpotenzierung, Ausbildung neuer Synapsen, Gene
Reflexe	Handlungsablauf	neuronale Verschaltung	neuronale Verschaltung, Gene
Phytochromsystem	Belichtungsverhältnisse	Struktur des Phytochroms	Auslösung oder Hemmung von Stoffwechselvorgängen
Genpool	genetische Information	Allele der Angehörigen der Population	Vererbung

- ③ Um eine Langtagpflanze im Winter zur Blüte zu bringen, genügt es, sie während der Dunkelperiode kurz zu belichten. Erläutern Sie.
- *Langtagpflanzen kommen zur Blüte, wenn die Nacht kürzer als die kritische Dunkelperiode ist. Durch eine kurze Belichtung während der Dunkelphase kann die Nacht künstlich verkürzt werden. Eine Bestrahlung mit Hellrot führt zur Umwandlung von P_{660} in P_{730} , wodurch eine Blütenbildung ausgelöst wird.*
- ④ Beschreiben Sie weitere Informationsträger in biologischen Systemen.
- *Hormone sind Informationsträger, die ihre Funktion aber nur erfüllen, wenn sie in der Zielzelle von spezifischen Rezeptoren sicher erkannt werden.*
- ⑤ Listen Sie Medien auf, die als Informationsträger genutzt werden.
- *Technisch genutzt werden beispielsweise Magnetspeicher (z. B. Festplatte, Diskette, Magnetbänder wie Video- und Musikkassette, Magnetstreifen auf Scheckkarten), optische Speicher (z. B. Buch, DVD, CD, Film), elektrische Speicher (z. B. Arbeitsspeicher für PC (RAM)), mechanische Speicher (z. B. Schallplatte, Blindenschrift, mechanisches Uhrwerk) und Halbleiterspeicher (z. B. Chipkarten, Flashdisc, Eprom).*

Kommunikation (Seite 157)

- ① Kommunikation kann intrazellulär, interzellulär, intraspezifisch oder interspezifisch erfolgen. Ordnen Sie die Beispiele soweit möglich in diese Kategorien ein.
- *Nervensystem und Hormonsystem dienen der Kommunikation innerhalb des Organismus.*

intrazelluläre Kommunikation	intraspezifische Kommunikation	interspezifische Kommunikation
gap-Junctions	Sprache	Fledermaus-Schmetterling
	Pheromone	

- ② Vergleichen Sie Informationsübertragung mittels Nerven- und Hormonsystem. Stellen Sie tabellarisch Merkmale 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
Selektion der Zielorgane, Zielzellen	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.	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.
Mechanismen zur Steuerung und Regelung	hemmende und erregende Synapsen	antagonistisch wirkende Hormone

- ③ Stellen Sie die verschiedenen Codierungen bei der Informationsübermittlung in Nervensystemen dar.

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

- ④ Beschreiben Sie am Beispiel von Insulin und Glucagon die Decodierung von Hormonsignalen in einer Zelle.
- Die Zielzellen besitzen spezifische Rezeptoren für die Proteohormone Insulin und Glucagon. Verbindet sich Insulin mit dem Insulinrezeptor, so werden Enzyme aktiviert. Dadurch kommen Stoffwechselprozesse in Gang, welche die Aufnahme von Glucose in Zellen bewirken und so den Blutzuckerspiegel senken. Verbindet sich Glucagon mit den Glukagenrezeptor, so werden Enzyme aktiviert, die Glykogen zu Glucose abbauen. Die aus der Zelle freigesetzte Glucose steigert den Blutzuckerspiegel.
- ⑤ Beschreiben Sie weitere Beispiele für Pheromone und ihre Bedeutung.
- Pheromone sind Botenstoffe, die in geringsten Konzentrationen bei Individuen der gleichen Art spezifische Verhaltensweisen auslösen. Beispiele sind Duftmarkierungen staatenbildender Insekten wie Bienen und Ameisen, Alarmpheromone von Blattläusen, Eiablage hemmende Pheromone der Fruchtfliege und Sexualhormone der Schmetterlinge. Letztere sind chemisch betrachtet meist primäre Alkohole mit einer geraden Kohlenstoffkette, die aus 10 bis 18 Kohlenstoffatomen besteht. Die Kohlenstoffkette weist meist eine oder mehrere Doppelbindungen auf. Häufig ist die Alkoholgruppe verestert.
Die Sexualhormone der Schmetterlingsweibchen bestehen in der Regel aus einem Substanzgemisch. Das Mischungsverhältnis ist artspezifisch und charakteristisch. Nur wenn die Männchen alle Komponenten wahrnehmen, wird das Sexualverhalten ausgelöst.
- ⑥ Informieren Sie sich über den Einsatz von Pheromonen in Wald- und Landwirtschaft.
- Pheromone werden vor allem zur Bekämpfung von Schadschmetterlingen eingesetzt. Zu den Schädlingen gehören einbindiger Traubenwickler, bekreuzter Traubenwickler, Fruchtschalenwickler, Apfelwickler und Pflaumenwickler.
Pheromonfallen können zum Monitoring eingesetzt werden. Sie sind eine einfache Möglichkeit, um den Flug von männlichen Tieren zu überwachen. Entsprechend den Fangergebnissen kann rechtzeitig gegen den aufgetretenen Schädling vorgegangen werden.

Mit der Verwirrtechnik lässt sich verhindern, dass die Schmetterlinge sich paaren. Durch das Ausbringen einer großen Anzahl von Duftstoffen gelingt es den Männchen nicht mehr, die Weibchen zu lokalisieren. Dadurch bleiben sie unbefruchtet und ohne Nachwuchs.

Mit den Pheromonfallen, die in großer Dichte aufgestellt werden, lassen sich die Männchen wegfangen, sodass dabei durch lokales Abschöpfen der Männchen die Vermehrung verhindert wird. Diese Einsatzform wird beispielsweise beim Borkenkäfer angewendet.

- ⑦ 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 (DNA, RNA) die Funktion, Information über die infizierte Zelle zu übertragen. Generell hat m-RNA (Name) die Funktion der Informationsübertragung.
- ⑧ Informieren Sie sich über das Verhalten von Einzellern wie Euglena („Augentierchen“) und Paramecium („Pantoffeltierchen“). Welche Informationen werden innerhalb der Zelle transportiert? Bilden Sie Hypothesen zu Sender, Empfänger und möglichen Signalen.
- Euglena zeigt Phototaxis, in Gegenwart von CO₂ Chemotaxis und bewegt sich bei mechanischer Reizung von der Reizstelle weg. Zwischen den Reizrezeptierenden Strukturen und dem Effektor, der schlagenden Geißel, gibt es Signalübertragung. Hypothetisch lässt sich annehmen, dass am Ort der Reizrezeption in der Zelle Stoffe gebildet werden, die zum Basalkorn, an dem die Geißel entspringt, diffundieren, hier mit Molekülen in Wechselwirkung treten, sodass der Geißelschlag verändert wird.
Paramecien zeigen beispielsweise Chemotaxis und Thermotaxis. Auch bei ihnen stehen die Cilien mit Basalkörpern in Kontakt. Ebenso lässt sich zur Erklärung für diese Verhaltensweisen hypothetisch annehmen, dass eine Signalübertragung zwischen dem Rezeptor und Effektor durch Moleküle stattfindet. Denkbar wäre die Aktivierung von Enzymen, deren Wirkung zu Stoffen führt, die die Wimpernaktivität hemmen. Dann wären Cilien, die näher am Bildungsort liegen, stärker gehemmt als weiter entfernte.

Regulation (Seite 159)

- ① Stellen Sie verschiedene Regulationsprozesse im menschlichen Körper (z. B. die Pupillenreaktion, die Regelung eines Hormonspiegels im Blut) in einem Funktionsschaltplan dar.
- Pupillenreaktion s. Abb. 191.1; Blutzuckerregulation s. Abb. 213.2.; weitere geeignete Beispiele: Regelung des Blutdrucks, der Körpertemperatur und des Grundumsatzes.
- ② Zeigen Sie, dass auch Bewegungsvorgänge des menschlichen Körpers auf Regelung angewiesen sind.
- Bewegungen unterliegen immer einer Rückkopplung: über die Augen oder über die Sinnesorgane der Haut, in Muskeln und Sehnen. Nur so wird gewährleistet, dass Ablauf und Ausmaß der Bewegung korrekt sind. Das Kleinhirn erhält Meldungen aus den Gelenken, dem Labyrinth im Innenohr und den Augen, um den Bewegungsablauf zu justieren und Bewegungen fein aufeinander abzustimmen. Die motorischen Zentren des Großhirns sind eng mit sensorischen Zentren verbunden. Haltere reflexe, wie der Kniesehnenreflex, sorgen über Regelkreise dafür, dass die aufgezwungene Dehnung eines Muskels durch eine Kontraktion dieses Muskels und ein Erschlaffen seines Antagonisten beantwortet wird. Eine Dehnung der Sehnen bewirkt über Rückkoppelungsprozesse ein Nachlassen der Muskelspannung und hilft so Muskel- und Sehnenrisse zu vermeiden.
- ③ An welchen zentralen Punkten unterscheiden sich Regelprozesse in einem Organismus (z. B. Regelung des Blutdrucks) von der Regelung in Ökosystemen (Zahl der Füchse in einem Wald)?
- Regelprozesse im Organismus haben ein Führungsglied, der einen Sollwert vorgibt. Führungsglied und Sollwert fehlen in Ökosystemen – manche Modelle geben allerdings einen „Referenzwert“ oder einen „Optimalwert“ an, mit dem der Istwert verglichen wird.
- ④ 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 Parallelen zu biologischen Systemen auf.
- Beispiele sind die Regelung des Wasserstandes, die Regelung der Temperatur in einem Kühlschrank oder die Regelung der Raumtemperatur: Im Zimmer misst ein Thermometer, der Mess-

fühler, die Temperatur. Dieser Istwert wird an den Regler weitergegeben, der den eingestellten Sollwert mit der tatsächlichen Temperatur vergleicht. Ist die Temperatur im Zimmer niedriger als der Sollwert, so gibt der Regler einen elektrischen Impuls, den Stellwert, an den Brenner, das Stellglied, weiter. Dieser wird eingeschaltet. Die erzeugte Wärme wirkt als Stellgröße auf die Regelgröße, die Zimmertemperatur, ein. Ist der Sollwert erreicht, so wird der Stromfluss zum Brenner unterbrochen. Wie bei biologischen Systemen wirkt das System nach dem Prinzip der negativen Rückkopplung auf sich selbst zurück. Der Vorgang kann mit demselben Regelkreisschema beschrieben und illustriert werden wie einfache Regulationsvorgänge im menschlichen Körper.

- ⑤ Zeigen Sie an konkreten Beispielen, wo durch menschliche Eingriffe natürliche Rückkopplungsprozesse gestört wurden.
- *Im menschlichen Körper: Der Ausfall einer Instanz kann den Regelkreis zum Erliegen bringen: Wenn durch Iodmangel in der Nahrung kein Thyroxin hergestellt wird, kann der Grundumsatz nicht geregelt werden.
Alkohol kann die Totzeit (Zeit zwischen dem Beginn der Änderung der Regelgröße und dem Start der Wirkung der Stellgröße) verlängern und die Stellgröße steigern.
Im Ökosystem: Entfernen von Gliedern eines Regelkreises z.B. durch Vergiften; unspezifisches Vergiften aller Tiere (aller Insekten) eines Areals kann den Räuber doppelt treffen, durch drastische Reduktion der Populationsgröße und durch Entfernen seiner Beuteorganismen.
Im Ökosystem: Einbringen neuer Arten (Neozoen, Neophyten) lässt neue Regelkreise entstehen, welche die alten, eingespielten Regelkreise stören können.*
- ⑥ Suchen Sie nach Beispielen für positive Rückkopplung in Natur und Gesellschaft.
- *Beispiele für positive Rückkoppelung findet man in Natur, Technik und Gesellschaft. Ein Beispiel aus der Biologie ist das exponentielle Wachstum einer Population, wie es bei Vermehrung von Bakterien während der exponentiellen Wachstumsphase beobachtet werden kann. Die Zunahme der Population ist umso größer, je mehr Bakterien da sind und je länger der Wachstumsprozess anhält.
Im Hormonhaushalt tritt positive Rückkoppelung kurzzeitig auf, z. B. kurz vor dem Eisprung.
Ausrottung: Wird eine Tier- oder Pflanzenart selten, so hat sie wachsende Probleme mit der Fortpflanzung: Die Partnersuche wird immer schwieriger, die genetische Variabilität geringer. Das Aussterben ist vorprogrammiert.
Bei der Kernspaltung in Atombomben oder bei aus der Kontrolle geratenen Atommeilern gibt es positive Rückkopplungsprozesse: Je mehr Atome gespalten werden, umso mehr Neutronen werden frei, die neue Kernspaltungen auslösen können.
In der Gesellschaft: Modetrends verstärken sich einige Zeit selbst.*
- ⑦ Stellen Sie an einem historisch belegten Beispiel dar, wie Wissenschaftler vorgehen, um Regulationsprozesse im menschlichen Körper aufzuklären.
- *Ein geeignetes Beispiel ist die Erforschung der Regulation des Blutzuckerspiegels. Einige Stationen: LANGERHANS entdeckt die Inselzellen, MERING und MINKOWSKI finden den Zusammenhang zwischen Entfernung der Bauchspeicheldrüse und Diabetes, PAULESCO stellt Bauchspeicheldrüsen-Extrakte her, BANTING und BEST gewinnen gereinigtes Insulin, usw. Heute können Insulinpumpen, die mit einem Messfühler im Blutstrom verbunden sind, den Zuckerhaushalt von Diabetikern regulieren.*
- ⑧ Stellen Sie in einem Vortrag den Unterschied zwischen Proportional- und Integralreglern dar und ordnen Sie Regelvorgänge im menschlichen Körper zu.
- *Beim Proportionalregler (P-Regler) ist die Stellgröße eine Funktion der Regelabweichung (der Differenz zwischen Istwert und Sollwert). Im einfachsten Fall ist die Stellgröße proportional zur Regelabweichung. Das Stellglied ist nur aktiv, solange der Istwert vom Sollwert abweicht. Eine konstant einwirkende Regelabweichung kann nicht voll kompensiert werden.
Beim Integralregler (I-Regler) veranlasst eine Abweichung der Regelgröße eine Änderung der Stellgröße, deren Geschwindigkeit proportional zur Höhe der Regelabweichung ist. Bei konstanter Regelabweichung steigt die Stellgröße mit konstanter Geschwindigkeit an. Die Regelung mit einem I-Regler kann die Regelabweichung vollständig reduzieren, denn die Stellgröße ändert sich, solange eine Abweichung besteht.
Biologische Regelkreise arbeiten fast ausschließlich nach dem Prinzip der P-Regler.*

Selektion (Seite 161)

- ① Vergleichen Sie die Konsequenzen der verschiedenen beschriebenen Selektionsvorgänge für das Individuum und für die Populationen.
 - *Natürliche und künstliche Selektion greifen an Individuen an und verändern den Genpool der Population.*
Resistenzbildung: Überlebende Individuen gründen neue, resistente Populationen.
Klon-Selektion im Immunsystem: Nur Zellen die mit dem Antigen reagieren können sich vermehren, das Individuum kann die Attacke durch Mikroorganismen abwehren.
Selektive Wahrnehmung: Das Individuum nimmt bevorzugt Dinge wahr, die vom Gehirn für wesentlich (für das Überleben) gehalten werden.
Evolutionsstrategie: Bewährte Strategien werden weiterentwickelt, andere werden aufgegeben.
- ② Prüfen Sie die Eignung des Begriffs „Überleben des Stärkeren“ zur Beschreibung der Selektion.
 - *Überleben des Stärkeren: In Ausnahmefällen kann sich in der Natur der Stärkere gegenüber Schwächeren durchsetzen und den höheren Fortpflanzungserfolg erzielen (z. B. beim Kampf der Hirsche um einen Harem. Meist entscheiden jedoch ganz andere Faktoren über die Fitness – das sind bei jeder Art andere und bei jeder Art sehr viele verschiedene Eigenschaften, wie z. B. die Färbung, die Fähigkeit Hungerperioden zu überstehen, die Sorgfalt bei der Pflege der Nachkommen, eine Gestalt oder eine Verhaltensweise, die zur Verwechslung mit einem gefährlichen Wesen führt. Der Ausdruck „Überleben des Stärkeren“ ist daher eine sehr unvollkommene und unzutreffende Umschreibung der Selektion.*
- ③ Nennen Sie einige Anpassungen männlicher Tiere, die als Folge sexueller Selektion entstanden sind.
 - *Sexuelle Selektion: Geweih der Hirsche, Federpracht männlicher Hühnervögel (Fasan, Pfau), Gesang der Singvogelmännchen, Zirpen der Grillen, Imponierverhalten männlicher Primaten (s. Seite 352) usw.*
- ④ Beschreiben Sie, wie sich durch Anwendung eines Antibiotikums resistente Bakterienstämme bilden. Machen Sie deutlich, wie weit die Resistenz eine Folge der Selektion ist.
 - *Durch Mutation oder genetische Rekombination werden einzelne Bakterien einer Population resistent gegen ein Antibiotikum. Wird das Antibiotikum angewandt, so sterben alle Bakterien bis auf die wenigen resistenten ab. Diese haben nun den ganzen freigewordenen Lebensraum für sich und können sich stark vermehren. Das Antibiotikum ist der Selektionsfaktor, der in kurzer Zeit resistente Bakterienpopulationen entstehen lässt. Entsprechendes gilt für Insekten und Insektizide, Pilze und Fungizide.*
- ⑤ Zeigen Sie, wie der Mensch natürliche Selektionsbedingungen für andere Arten verändert.
 - *Bei der Züchtung von Kulturpflanzen und Nutztieren, durch Ausrottung von Tier- und Pflanzenarten, durch Transport von Tieren und Pflanzen in andere Lebensgemeinschaften, durch Störung (Pollution, Erwärmung) oder Zerstörung von Lebensräumen, durch Schaffung neuer Lebensräume (Stadt, Wiese, Acker), durch Verwenden von Giften und Antibiotika.*
- ⑥ Stellen Sie die historische Entwicklung des Selektionsgedankens in der Evolutionstheorie dar.
 - *Einige Stationen: MALTHUS (Populationsgröße wird durch Nahrungsangebot begrenzt), DARWIN (Selektion in der Tier- und Pflanzenzüchtung), DARWIN und WALLACE (natürliche Selektion als universelles biologisches Prinzip, Triebfeder der Evolution), DARWIN (geschlechtliche Selektion), WYNNE-EDWARDS (Gruppenselektion), DOBZHANSKY (Auslese kann experimentell bewiesen werden), HALDANE (Verwandtschaftsauslese), DAWKINS (das egoistische Gen), ERNST MAYR (Selektion als zweistufiger Prozess, als schöpferische Kraft), GUTMANN (Dominanz der inneren Selektion).*
- ⑦ Die konstruktive Evolutionstheorie hält die Selektionsfaktoren, die von der Umwelt ausgehen, für wenig wirksam im Vergleich zu den „inneren Selektionsfaktoren“, die von der Konstruktion des Lebewesens ausgehen. Informieren Sie sich über diese Theorie. Stellen Sie die Konstruktionstheorie der Evolution zusammenhängend dar, veranschaulichen Sie diese an einem Beispiel und versuchen Sie die Theorie zu bewerten.
 - *Prinzipien der konstruktiven Evolutionstheorie:*
 - *Organismen sind energiewandelnde, hydraulische Konstruktionen.*
 - *Evolution ist ein organisations- und struktur-determinierter Prozess.*
 - *Die Organismen selbst richten die Evolution und suchen die passenden Umweltbereiche auf.*
 - *Evolution ist ein ständiges Optimierungs- und Ökonomisierungsgeschehen.*

- Konstruktionen können sich diversifizieren.
- Evolution ist irreversibel.

Geeignete Beispiele zur Veranschaulichung: Evolution der Schwämme; Konstruktion und Evolution der Hohltiere; Evolution des Menschen und des aufrechten Ganges; Evolution der Vögel und des Vogelfluges

Ökonomie (Seite 163)

- ① Erläutern Sie, inwiefern man bei den genannten Beispielen von Ökonomie sprechen kann.
 - *Bei den Beispielen der Seite 162 steht der Aspekt der Realisierung mit wenigen Mitteln im Vordergrund, auf Seite 163 finden sich Beispiele, die den Aspekt der Wirtschaftlichkeit, des sparsamen Umgangs mit Ressourcen, verdeutlichen.*
- ② Zeigen Sie anhand von Beispielen, dass bei Proteinen beide Aspekte der Ökonomie auftreten.
 - *Proteine sind Polymere, die aus einer Kette von ähnlichen Bausteinen, den Aminosäuren, bestehen. Dabei finden sich in Proteinen nur etwa 20 verschiedene Aminosäuren, die sich lediglich in der Seitenkette am α -C-Atom unterscheiden. Bei einer typischen Länge von über 100 Aminosäuren ergibt sich eine ungeheure Anzahl möglicher Sequenzen.*
Proteine erfüllen in der Zelle verschiedenste Funktionen, etwa als Enzyme oder kontraktile Proteine, aber auch als Struktur-, Speicher- und Transportproteine sowie als Rezeptor-, Regulator- oder Signalproteine.
Signalproteine, wie Hormone oder Wachstumsfaktoren, wirken in geringsten Konzentrationen, da auch wenige Enzymmoleküle eine große Anzahl von Substratmolekülen umsetzen können.
- ③ Die ersten Blütenpflanzen waren windbestäubt, später auftretende Pflanzen gingen zur Tierbestäubung über. Erläutern Sie diese Veränderung unter dem Gesichtspunkt der Ökonomie.
 - *Windbestäubung setzt eine Massenproduktion von Pollenkörnern voraus, denn nur wenn eine genügend große Pollenmenge erzeugt und ausgestreut wird, ist gewährleistet, dass eine Bestäubung und Befruchtung häufig genug zu Stande kommt. Transportieren dagegen Insekten oder andere Tiere den Pollen zu den weiblichen Geschlechtsorganen der Blüte, ist die Befruchtung weniger dem Zufall überlassen als bei der windvermittelten Bestäubung. Die Effektivität der Reproduktion wird durch eine Tierbestäubung erhöht.*
Der geringeren Pollenzahl stehen bei tierbestäubten Blüten jedoch Investitionen in Reiz- und Lockmittel gegenüber. Erst die Produktion von Blütenfarb- und Duftstoffen sowie von Nektar und Pollen als Belohnung stellt sicher, dass die Besucher auf die Blüte aufmerksam werden und diese regelmäßig und lange genug besuchen.
- ④ Beschreiben Sie weitere biologische Strukturen und Verhaltensweisen, die sich unter dem Gesichtspunkt der Ökonomie interpretieren lassen.
 - **DNA:** *Die DNA-Moleküle speichern die genetische Information und geben sie auch weiter. Verschlüsselt ist sie in der Nucleotidsequenz des DNA-Strangs, dabei genügen nur vier verschiedene Basen, um die gesamte Erbinformation zu codieren.*
Aktionspotential-Folgen: *Die Erregungsleitung in Neuronen erfolgt über Aktionspotentiale. Die Art des Signals, das durch das Axon weitergeleitet wird, ist stets die gleiche, unabhängig von seiner Bedeutung. Durch Frequenzmodulation und Kanalspezifität können verschiedene Reizqualitäten und Reizintensitäten übermittelt werden.*
Thermoregulation: *Zahlreiche wasserlebende Säugetiere und Vogel senken ihren Energieverbrauch, indem sie den Wärmeverlust über die Extremitäten durch einen Gegenstrom-Wärmeaustausch minimieren. Arterien, die warmes Blut in die Extremitäten führen, sind umgeben von Venen, die abgekühltes Blut zurück in den Rumpf transportieren. Diese Gegenstromanordnung erleichtert den Wärmeaustausch zwischen Arterien und Venen über die gesamte Länge der Blutgefäße.*
- ⑤ Führen Sie Beispiele an, die Ihnen unökonomisch erscheinen.
 - *Beispielsweise erscheinen Prachtgefieder ebenso wie zahlreiche andere Merkmale, die durch sexuelle Selektion ausgelesen werden, häufig unökonomisch. Generell scheinen biologische Vielfalt, also die Fülle der Arten, aber auch die genetische Variabilität innerhalb der Arten, im Widerspruch zur Ökonomie zu stehen (vergleiche Aufgabe 9).*

- ⑥ Der Laich eines Froschweibchens enthält bis zu 3000 Eier, von denen nur wenige überleben. Würden Sie dies als unökonomisch bezeichnen? Begründen Sie.
- *Die Leistungsfähigkeit einer Flechte übertrifft die Summe der Fähigkeiten ihrer beiden Symbionten, Alge und Pilz, bei weitem. Erst die Symbiose ermöglicht ein Leben an extremen Standorten mit Bedingungen, unter denen weder Pilze noch Algen alleine existieren können.*
- ⑦ Geben Sie Beispiele für emergente Eigenschaften, die auf verschiedenen Organisationsebenen am Gesamtsystem Organismus hervortreten.
- *Ein Organismus ist ein in mehreren Ebenen strukturiertes System. Auf jeder Ordnungsstufe treten neue Eigenschaften hervor, die sich nicht unmittelbar aus den Merkmalen der einzelnen Systemelemente ergeben.*
- ⑧ Der Laich eines Froschweibchens enthält bis zu 3000 Eier, von denen nur wenige überleben. Würden Sie dies als unökonomisch bezeichnen. Begründen Sie.
- *Aufgrund der hohen Sterblichkeit sichert erst die große Zahl von Eiern ein Fortbestehen der Art. Zu der Unsicherheit bei der äußeren Befruchtung kommt bei fehlender Brutpflege und -fürsorge eine starke Bedrohung durch Fressfeinde.*
- ⑨ Genetische Vielfalt und Ökonomie – ein Widerspruch! Nehmen Sie Stellung zu dieser Aussage.
- *Biologische Vielfalt birgt das kreative Potential der Natur, mit Veränderungen fertig zu werden und Neues hervorzubringen. Diversität sichert das Fortbestehen der Arten. Je größer die Vielfalt, desto eher sind Organismen vorhanden, die mit veränderten Lebensbedingungen zurecht kommen. Genetische Variabilität ist die Basis für die Evolution der Arten durch Selektion.*

Nerven, Sinne und Hormone

1 Reizaufnahme und Erregungsleitung

Prinzip der Reizrezeption (Seite 167)

- ① Ordnen Sie den in der Grafik genannten Reizen die jeweilige Energieform zu.
- *Licht: Energie der elektromagnetischen Wellen (elektrische und magnetische Feldenergie)*
Druck: mechanische Energie
Schall: mechanische Energie
chemischer Stoff: chemische Energie

Praktikum: Nervenzelle (Seite 169)

- ① Vergleichen Sie die beiden Abbildungen in ihrer Aussagekraft. Weshalb erscheinen im Foto die Axone in ihrer vollen Länge?
- *Auf dem Mikrofoto sind nur einzelne Neurone scharf zu erkennen. Auch die Fortsätze der Nervenzellen sind zum großen Teil nur undeutlich abgebildet. Im Hintergrund erscheinen viele verschiedenfarbige „Körnchen“, bei denen es sich auch um Nervenzellen oder andere Zellen handeln könnte. Die übersichtliche Zeichnung gibt dagegen ein sehr klares Bild vom Aussehen und der komplizierten Struktur der Nervenzellen mit allen ihren weitverzweigten Dendriten und ihren Neuronen.*
Die Unschärfe im Mikrofoto ist durch die geringe Tiefenschärfe des Mikroskops zu erklären. Es kann immer nur einen bestimmten Bereich (eine Ebene) scharf abbilden. Man arbeitet beim Mikroskopieren deshalb immer mit der Hand am Triebad für die Schärfereinstellung. Durch „Hin-und-herfokussieren“ erhält man Informationen über die Beschaffenheit des Objekts in den verschiedenen Schärferebenen. Mit dieser Arbeitsmethode war es CAJAL möglich, Axone und Dendriten, die nicht in einer Ebene liegen, in voller Länge scharf abzubilden. Hinzu kommt die Erfahrung des Zeichners, mit der er das im Mikroskop erscheinende Bild interpretiert hat. So werden in der Zeichnung beispielsweise unwichtige Informationen weggelassen. Durch die Reduktion auf das Wesentliche wird die Zeichnung übersichtlicher als das Foto.

Das Aktionspotential (Seite 173)

- ① Erläutern Sie, weshalb man bei der Depolarisation, die zur Bildung des Aktionspotentials führt, von einem sich selbst verstärkenden Vorgang spricht (s. Randspalte).
- *Durch die Änderung der Spannung an der Membran steigt die Wahrscheinlichkeit, dass einige Na^+ -Ionenkanäle für eine kurze Zeit geöffnet werden. Die einströmenden Na^+ -Ionen verstärken die Veränderung der Membranspannung und führen somit zu einer größeren Wahrscheinlichkeit für die kurzzeitige Öffnung weiterer Na^+ -Ionenkanäle in der Umgebung. Dies geht so lange, bis alle Na^+ -Ionenkanäle in der Umgebung inaktiviert vorliegen.*

Fortleitung des Aktionspotentials (Seite 175)

- ① Erklären Sie, weshalb bei der saltatorischen Erregungsleitung weniger Energie benötigt wird als bei der kontinuierlichen Fortleitung am nicht myelinisierten Axon.
- *Bei der saltatorischen Erregungsleitung wird das Aktionspotential auf einer gleich langen Strecke gegenüber dem kontinuierlichen Auslösen bei nicht myelinisierten Axonen seltener ausgelöst. Der Energiebedarf hängt jedoch nicht direkt von der Auslösung, sondern von den ATP-verbrauchenden Na^+ - K^+ -Pumpen ab, deren Pumprate von der intrazellulären Na^+ - und extrazellulären K^+ -Ionenkonzentration abhängt.*

Messung der Fortleitungsgeschwindigkeit (Seite 175)

- ① Die Erregung (rot markiertes Gebiet) verläuft vorbei an Elektrode 1 und Elektrode 2. Erläutern Sie, weshalb am Messgerät eine unterschiedliche Polarität bei den beiden Kurven angezeigt wird.
 - Eine unterschiedliche Polarität wird angezeigt, weil jeweils die andere Elektrode die Bezugselektrode ist.

Codierung durch Aktionspotentiale (Seite 176)

- ① Weshalb gilt das Alles-oder-Nichts-Gesetz nicht für das Rezeptorpotential?
 - In den Bereichen, in denen Rezeptorpotentiale entstehen, findet man keine spannungsabhängigen Na^+ -Ionenkanäle. Diese findet man erst am Axonhügel. Die Öffnungswahrscheinlichkeiten der spannungsabhängigen Na^+ -Ionenkanäle steigt ab einem Schwellenwert und führt zur Auslösung der Depolarisation an der benachbarten Stelle. Da die Anzahl dieser Kanäle pro mm^2 begrenzt ist, kann somit nur eine bestimmte Ladungsmenge verschoben werden. Es entstehen Aktionspotentiale nach dem Alles-oder-Nichts-Gesetz. In der für einen Reiz spezialisierten Region eines Neurons werden jedoch, je nach Reizstärke, unterschiedlich viele Ladungen durch die Membran verschoben, die zu unterschiedlichen Amplituden führen.
- ② Erklären Sie anhand der Abbildung 1 den Zusammenhang zwischen den Reizstärken, den Rezeptor- und Aktionspotentialen und beschreiben Sie den Einfluss der Reizdauer.
 - Je größer der Reiz, desto höher die Amplitude des Rezeptorpotentials; je länger der Reiz, desto länger ist die Dauer des Rezeptorpotentials, dessen Amplitude leicht absinkt. Dies lässt sich über die veränderte Anzahl der intrazellulären Na^+ -Ionen erklären. Mit zunehmender Amplitude des sich elektronisch ausbreitenden Rezeptorpotentials wird der Schwellenwert bei den spannungsabhängigen Na^+ -Ionenkanälen mehr oder weniger lange anhaltend erreicht und löst daher viele oder wenige Aktionspotentiale aus.

Praktikum: Neuronen (Seite 177)

- ① Beschreiben Sie die Abhängigkeit (Abb. 1) und erklären Sie diese auf molekularer Ebene.
 - Wird die extrazelluläre Kaliumionenkonzentration verändert, so verändert sich auch das Membranpotential der Nervenzelle: Bei niedrigen extrazellulären Kaliumionenkonzentrationen ist die Membran stärker polarisiert als bei höheren Konzentrationen. Die Höhe des Membranpotentials ist abhängig vom Konzentrationsunterschied der Kaliumionen. Bei gleichbleibender 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 Ionentheorie 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 würden?
 - 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 Na^+ - K^+ -Ionenpumpe arbeitet nicht mehr. Zunächst hat dies noch keine Auswirkungen auf das Ruhepotential und die Auslösbarkeit von Aktionspotentialen, da die Ionensorten intrazellulär und extrazellulär ungleich verteilt sind. Im Vergleich zu diesen Konzentrationsunterschieden genügen wenige Ionen, um eine De-, Um- und Repolarisation der Zellmembran zu bewirken. Werden die Konzentrationsunterschiede schließlich kleiner, wird das Ruhepotential ebenfalls kleiner.

- ⑥ Berechnen Sie die Leitungsgeschwindigkeit.
- Gegeben ist der Abstand der Orte, an denen je ein Stromstoß gesetzt wurde mit $27\text{ cm} = 0,27\text{ m}$. Die Zeitdifferenz lässt sich aus dem oszillographischen Bild 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 Leiten Sie aus den Daten der unten stehenden Tabelle 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.
- ⑧ Erklären Sie die energetischen Vorteile, die myelinisierte Nervenfasern aufweisen.
- Für die gleiche Leitungsgeschwindigkeit der Aktionspotentiale ist ein geringerer Axonquerschnitt erforderlich, im Vergleich zu nicht myelinisierten Axonen. Daher wird zum Aufbau myelinisierter Axone weniger Material und weniger Energie benötigt. Bei Erregung treffen nur an den Schnürringen Ionenströmungen auf. Die übrigen Bereiche sind durch die Schwann'schen Zellen isoliert. Im Vergleich zu nicht myelinisierten Axonen müssen weniger Ionen durch die Axonmembran zurückbefördert werden, um die Konzentrationsunterschiede aufrecht zu erhalten. Dadurch ist der Energieverbrauch geringer.

2 Neuronale Verschaltung

Synapsen (Seite 178)

- ① Erklären Sie den Unterschied zwischen den Natriumkanälen in der Axonmembran und im synaptischen Spalt.
- In der postsynaptischen Membran befinden sich Rezeptorproteine, zu denen die Transmittermoleküle wie ein Schlüssel zum Schloss passen. Dies führt zu einer kurzen Formveränderung des Rezeptorproteins. Je mehr Transmittermoleküle abgegeben werden, um so größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass sich die Ionenkanäle öffnen. Im Gegensatz zum Axon sind im Bereich des Zellkörpers keine spannungsabhängigen Ionenkanäle vorhanden (die auf das elektrische Feld reagieren), sondern erst am Axonhügel. Erst wenn die Depolarisation einen bestimmten Schwellenwert erreicht hat, wird am Axonhügel ein Aktionspotential ausgelöst.
- ② Welche Bedeutung hat die hohe Geschwindigkeit, mit der in den synaptischen Spalt abgegebene Transmittermoleküle gespalten werden?
- Die Transmittermoleküle wirken auf die Ionenkanäle im synaptischen Spalt. Würden sie nicht sehr schnell abgebaut, würden sich die ankommenden Impulse immer weiter addieren und es gäbe keine Abklingphase in der Erregung.

Codewechsel bei der Informationsleitung (Seite 179)

- ① Ordnen Sie dem Schema die Begriffe analoge und digitale Codierung zu.
- Die Begriffe analoge und digitale Codierung stammen aus der Informationstechnik. Bei analoger Codierung folgt das Ausgangssignal stetig dem Eingangssignal, während es bei digitaler Codierung nur diskrete Zustände für die Ausgangsgröße gibt.
 Eine analoge Codierung liegt vor:
 - an der Sinneszelle: das Rezeptorpotential
 - am Neuron: das postsynaptische Potential
 - im synaptischen Spalt: die ausgeschüttete Transmittermenge
 Eine digitale Codierung erfolgt dagegen am Axon. An einer Nervenzelle ist das Aktionspotential eine immer wieder in der selben Weise auftretende Signalform, wobei weder Dauer noch Amplitude abhängig sind von der Reizstärke. Es gibt nur zwei Möglichkeiten: Aktionspotential oder kein Aktionspotential.

Material: Synapsengifte und Arzneimittel (Seite 181)

- ① Erläutern Sie die Zusammenhänge zwischen der Bildung von Antikörpern, die sich gegen den Acetylcholinrezeptor richten, und dem Auftreten der oben beschriebenen Symptome.
 - *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 Aktionspotential auszulösen; eine Kontraktion der Muskelfaser unterbleibt.*
- ② Schlagen Sie auf dieser Grundlage mögliche medikamentöse Behandlungsmethoden vor.
 - *Acetylcholinesterasehemmer, z. B. Neostigmin, 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.*
- ③ Informieren Sie sich z. B. im Internet über gängige Therapieverfahren und erläutern Sie diese.
 - *Informationen findet man zum Beispiel bei: www.dmg-online.de, www.myasthenia-gravis.de, www.m-wv.de/krankheiten/innere_krankheiten/myasthenia_gravis.html*
- ④ Beschreiben Sie das Experiment und die Beobachtungen.
 - *Durch schonendes Abschnüren wird die Blutversorgung eines Beins 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 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.*
- ⑤ Welche Aussage über den Wirkort von Curare können Sie machen? Begründen Sie.
 - *Die Versuche von BERNARD zeigen, dass Curare die Erregungsübertragung zwischen Nerv und Muskelfaser an den motorischen Endplatten blockiert.*
- ⑥ Welche Eigenschaften eines synaptischen Hemmstoffs sind eine wesentliche Voraussetzung für einen therapeutischen Einsatz?
 - *Die Wirkung des Hemmstoffs muss genau bekannt und vor allem reversibel sein.*
- ⑦ Was spricht gegen die Verwendung von Alkylphosphaten, wie E 605, um die Wirkung von Tubocurarin aufzuheben?
 - *Alkylphosphate wie E 606 hemmen das Enzym Acetylcholinesterase irreversibel.*
- ⑧ Was können Sie aufgrund der Wirkung von Neostigmin über den genauen Wirkort von Curare bzw. Tubocurarin aussagen? Begründen Sie.
 - *Eine Hemmung der Acetylcholinesterase erhöht die Wirkungsdauer des freigesetzten Transmitters und hebt die Wirkung von Curare bzw. Tubocurarin auf. Daraus lässt sich folgern, dass Curare die Acetylcholinrezeptoren der postsynaptischen Membran reversibel besetzt, ohne die Natriumionenkanäle zu öffnen. Wird der enzymatische Abbau des Transmitters gehemmt, können dennoch genügend Kanäle geöffnet werden, um eine ausreichende Depolarisation der Muskelfaser und somit eine Kontraktion auszulösen.*
- ⑨ Atropin wird häufig vor Untersuchungen des Auges auf das Auge getropft. Suchen Sie nach einer Erklärung. Sehen Sie einen Zusammenhang zur wissenschaftlichen Bezeichnung der Tollkirsche.
 - *Wird Atropin in den Bindehautsack des Auges geträufelt, erreicht es durch Diffusion die Iris und den Ziliarmuskel des Auges. Hier blockiert es die Signalübertragung an den parasymphatischen Synapsen. Der Ziliarmuskel erschlafft und die Pupille weitet sich, wodurch eine Untersuchung des Augenhintergrunds erleichtert wird. Früher wurde Atropin aus kosmetischen Gründen zur Pupillenerweiterung eingesetzt, das erklärt die wissenschaftliche Bezeichnung Atropa belladonna (bella donna, ital.: schöne Frau).*
- ⑩ Eine rasche Gabe von Atropin kann als Gegenmaßnahme bei einer Vergiftung mit Alkylphosphaten wie E 605 helfen. Erläutern Sie.
 - *Alkylphosphate hemmen die Acetylcholinesterase. Da die Transmittermoleküle nicht abgebaut werden, bleiben die Natriumionenkanäle der postsynaptischen Membran geöffnet und es kommt zur Dauerdepolarisation. Atropin hat eine lindernde Wirkung, da es die Natriumkanäle besetzt und so den Natriumioneneinstrom verringert.*

Reflexe (Seite 185)

- ① Lösen Sie den Kniesehenreflex aus. Achten Sie auf die Reihenfolge von Reaktion und bewusster Wahrnehmung.
 - *Hinweis: Ursachen für das Nichtgelingen des Versuches können das Nichttreffen der Grube unter der Kniescheibe sein oder die Tatsache, dass die Beinmuskeln nicht entspannt sind. Bei richtiger Durchführung kann die Versuchsperson wahrnehmen, dass das Hochschnellen des Unterschenkels erst wahrgenommen wird, nachdem die Reaktion erfolgt ist.*
- ② Neugeborene zeigen einen Greifreflex, der sich durch Berühren der Handinnenflächen auslösen lässt. Klassifizieren Sie den Reflex und geben Sie seine biologische Bedeutung an.
 - *Wird die Hand als Körperteil aufgefasst, muss der Greifreflex als Eigenreflex gelten, allerdings werden zum Greifen wesentlich die Fingermuskeln angespannt, die nicht Ort der Reizung sind (Fremdreflex). In jedem Falle handelt es sich um einen polysynaptischen Reflex, da die Muskeln aller Finger beteiligt sind, und zwar jeweils Agonist und Antagonist.*
- ③ Der Herzschlag wird beim Menschen durch ständige, periodische Signale eines Nervenknötens (Sinusknoten) ausgelöst. Vergleichen Sie diesen Vorgang mit dem Ablauf eines Reflexes.
 - *Die rhythmische Kontraktion beruht auch auf einer einfachen Nervenverschaltung, wird aber nicht durch singulär auftretende Außenreize ausgelöst.*
- ④ Beschreiben Sie anhand von Abb. 2 die Fortleitung der Erregung beim Reflexbogen.
 - *Eine kurze, schnelle Dehnung der Muskelspindel depolarisiert das sensorische Neuron. Das Rezeptorpotential breitet sich elektrotonisch am Zellkörper aus. Die Schwelle des Membranpotentials wird überschritten, und es folgen hochfrequente Aktionspotentiale am Axon des sensorischen Neurons. An den Synapsen im Rückenmark wird daraufhin Transmitter freigesetzt, wodurch postsynaptische Potentiale (PSP) an motorischen Neuronen ausgelöst werden. An deren Axonhügeln werden Aktionspotentiale ausgelöst, die saltatorisch zu den motorischen Endplatten fortgeleitet werden. Dort wird Transmitter ausgeschüttet, worauf es an den Muskelfasern zum Endplattenpotential kommt. Die Muskelfaser kontrahiert.*

3 Sinne

Lichtsinnesezellen (Seite 189)

- ① Vergleichen Sie die in Abbildung 2 dargestellten Zustände der Lichtsinneszelle tabellarisch und stellen Sie die Unterschiede zu einer primären Sinneszelle heraus.

	Dunkelheit	Helligkeit
Rhodopsin und Transducin	nicht aktiviert	aktiviert
sekundäre Botenstoffe	vorhanden	abgebaut
Natriumionenkanäle	geöffnet	geschlossen
Membranpotential	-30 mV	-70 mV
Transmitterausschüttung	ja	nein

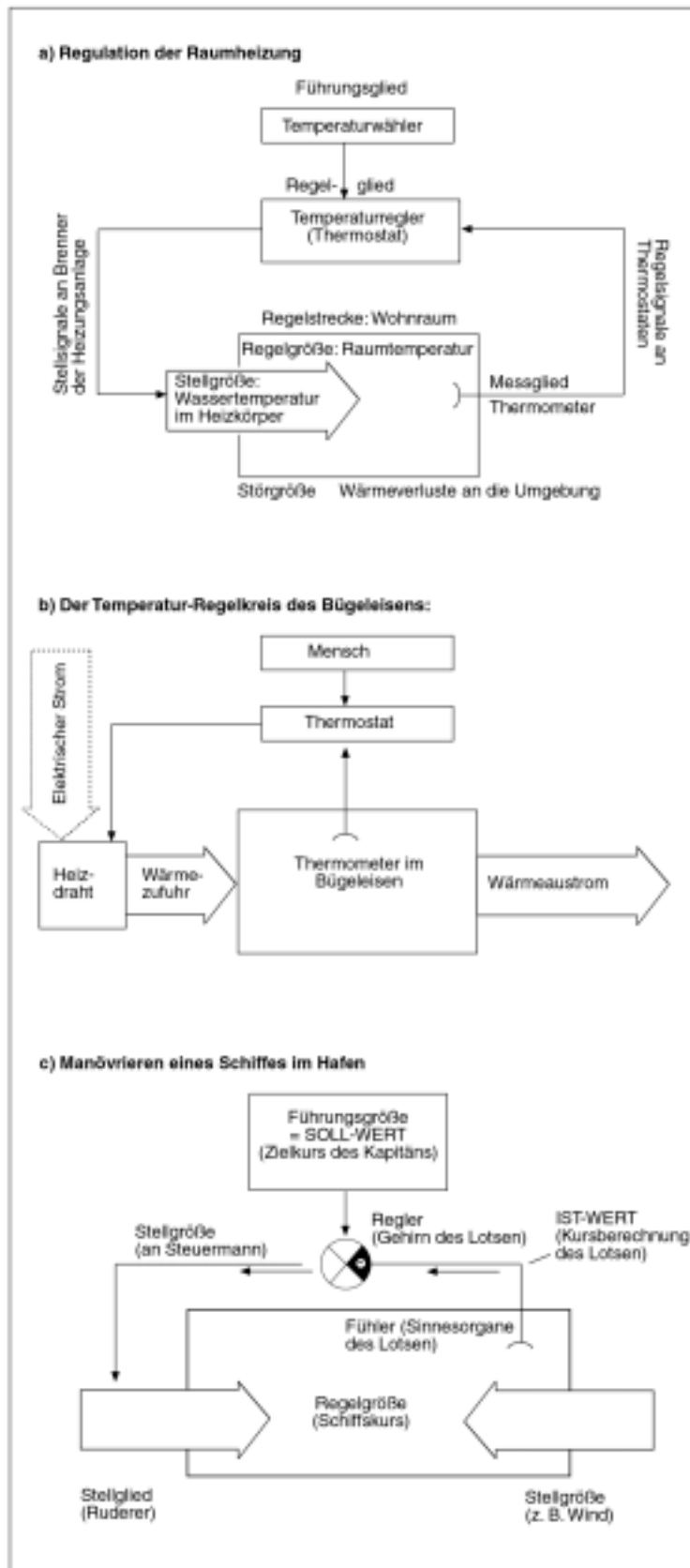
Primäre Sinneszellen, z. B. die Riechsinneszellen der Wirbeltiere, leiten die Erregung über ein eigenes Axon anderen Neuronen zu. Lichtsinneszellen sind sekundäre Sinneszellen. Ihr Zellkörper nimmt Reize auf, besitzt jedoch kein eigenes Axon. Die Erregung wird von nachgeschalteten Neuronen abgegriffen und weitergeleitet. Auch bei den Mechanorezeptoren des Dreh-, Schwere- und Gehörsinns sowie den Geschmackssinneszellen der Wirbeltiere handelt es sich um sekundäre Sinneszellen.

Adaptation (Seite 190)

- ① Nachts sind Navigationsinstrumente auf Schiffsbrücken oder in Flugzeugcockpits oft rot beleuchtet. Warum wählt man keine weiße Beleuchtung (s. Abb. 192.1)
 - *Die Augen sind dunkeladaptiert, d. h. es ist viel Sehpurpur aufgebaut, was das Auge für Blendung sehr empfindlich macht. Das Rotlicht (550–600 nm) regt die rotempfindlichen Zapfen an, während die Stäbchen für diesen Spektralbereich fast unempfindlich sind. So wird Blendung vermieden und die Empfindlichkeit erhalten.*

Steuerung und Regelung (Seite 191)

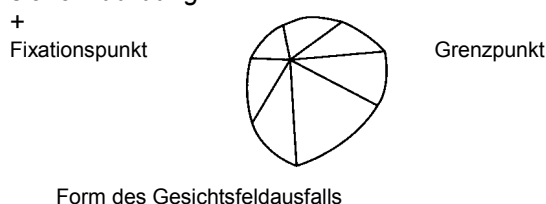
- ① Stellen Sie, analog zu Abbildung 1, verschiedene technische Regelkreise dar.
– siehe Abbildung



- ② Eine wesentliche Eigenschaft der Regelkreise ist ihre Totzeit. Was könnte dies bedeuten?
- *Totzeit bei Regelkreisen ist die Zeit, die von der Feststellung des Istwertes bis zum Eintritt der Stellwirkung verstreicht. Sie spielte z.B. bei der Steuerung des sowjetischen Mondautos Lunochod von der Erde aus eine wichtige Rolle. Im Zusammenhang mit der Totzeit steht die Intensität der Arbeit des Stellglieds, Verstärkung (V) genannt. Ist $V = 2$, so wird während der Totzeit das zweifache der Regelabweichung kompensiert, bei $V = 0,5$ jedoch nur die Hälfte des Abweichungsbetrages. Eine allmähliche Annäherung des Istwertes an den Sollwert ist also nur bei besonders kleiner Verstärkung möglich, andernfalls beginnt der Regelkreis zu schwingen und dann zu entgleisen (s. Abb. 2 im Schülerbuch).*

Praktikum: Gesichtsfeld (Seite 193)

- ① Halten Sie den Kopf still, schließen Sie das linke Auge und fixieren Sie mit dem rechten Auge einen Punkt. Was Sie nun zu Gesicht bekommen, wird rechtes einäugiges Gesichtsfeld genannt.
- *Das Gesichtsfeld des rechten Auges wird bei frontaler Ausrichtung teilweise durch Nase und Augenbraue begrenzt. Die weiteren Grenzen lassen sich durch die von außen herangeführte Fingerspitze verdeutlichen.*
- ② Zur Ausmessung des Gesichtsfeldes benötigt man ein Perimeter: Aus fester Pappe oder dünnem Sperrholz (Maße: 50 cm x 25cm) wird ein Halbkreis mit einem Radius von 25cm hergestellt. Links und rechts vom Mittelpunkt werden zwei Vertiefungen für die Nase angebracht. 0 Grad befindet sich auf der Symmetrieachse und wird durch eine Visiereinrichtung (z.B. eine Nadel) markiert. Der Halbkreis wird entsprechend der Skizze alle 10 Grad geteilt und beschriftet. Das Perimeter wird von der Versuchsperson horizontal gehalten und der 0-Grad-Punkt einäugig fixiert. Eine andere Person führt von hinten und unten in zufälliger Reihenfolge schwarze, weiße, rote, grüne und blaue Sichtmarken langsam von 90 Grad in Richtung 0 Grad. Ein Versuchsleiter überwacht von vorn die starre Fixation. Durch mehrfache Annäherung wird der Winkel ermittelt, bei der die Versuchsperson erstens überhaupt eine Testmarke sieht und zweitens deren Farbe angeben kann. Stellen Sie das Ergebnis grafisch dar (s. auch Seite 187).
- *Die gemessenen Gesichtsfeldgrenzen sind individuell unterschiedlich und können nach dem Muster der Zeichnung in Abb.1 dargestellt werden.*
- ③ Halten Sie das obige Testbild in ca. 25cm Entfernung vor das Gesicht. Fixieren Sie einäugig mit dem rechten Auge das Kreuz der Figur. Bewegen Sie das Testbild langsam vor Ihrem Auge vor und zurück, bis die Maus nicht mehr zu sehen ist. Erklären Sie diese Erscheinung.
- *Das Licht der abgebildeten Maus fällt dann auf den blinden Fleck (die Durchtrittsstelle des Sehnervs durch die Netzhaut), wo sich keine Lichtsinneszellen befinden. Deshalb ist die Maus nicht zu sehen.*
- ④ Fixieren Sie erneut einäugig mit Ihrem rechten Auge aus gleichem Abstand 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 beidäugigen Sehens kann auch das andere Auge diese Information liefern.*
- ⑤ 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 linken 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 Ihres Gesichtsfeldausfalls und verbinden Sie diese zu einer Fläche.
- *siehe Abbildung*



- ⑥ Decken Sie die Buchseite bis auf die Abbildung 3 mit weißen Blättern ab. Markieren Sie rechts neben der Abbildung ein Kreuz. Fixieren Sie für 30 Sekunden aus ca. 30cm Abstand den weißen Punkt im Bild, danach das schwarze Kreuz daneben. Beschreiben und erklären Sie.
- *Anschließend ist ein negatives Nachbild zu sehen. Durch das Fixieren der Abbildung werden einzelne Bereiche der Netzhaut in unterschiedliche Adaptationszustände versetzt. Blickt man dann auf eine einheitliche Fläche, wirkt sich dieser einheitliche Reiz unterschiedlich aus.*
- ⑦ Beim Mikroskopieren lautet ein Ratschlag, durch das Mikroskop hindurch auf das Objekt wie auf einen weit entfernten Gegenstand zu blicken, weil das Auge sonst schnell ermüdet. Begründen Sie.
- *Bei Fernakkommodation ist der Ziliarmuskel entspannt, die Linse wird über die Zonulafasern flachgezogen. Ein entspannter Muskel ermüdet nicht.*
- ⑧ Betrachten Sie kritisch die Ausdrucksweise „auf etwas blicken“. In welcher Beziehung stehen Auge und Gegenstand?
- *„Auf etwas blicken“, oder „einen Blick werfen“ legt die Vorstellung nahe, dass etwas vom Auge ausgeht. Die Beziehung des Gegenstandes zum Auge besteht aber darin, dass Licht vom Gegenstand in das Auge fällt.*
- ⑨ Zerlegen Sie mithilfe eines Prismas weißes (Sonnen-) Licht und projizieren Sie das Spektrum auf ein weißes Blatt Papier. Nennen Sie die Abfolge der Farben.
- *Neben den Spektralfarben nehmen wir auch noch Purpurtöne wahr, wenn rotes und blaues Licht gleichzeitig in unser Auge trifft. Auch Braun ist keine Spektralfarbe.*
- ⑩ Drei Diaprojektoren mit blau-, grün- bzw. rot durchlässigem Filter werden so aufgestellt, dass sich ihre Lichtkegel auf einer Projektionswand teilweise überschneiden. Verändern Sie den Abstand einzelner Projektoren von der Projektionswand (und damit die Intensität des Lichtkegels auf der Leinwand) so, dass im Überschneidungsbereich aller drei Lichtkegel weiß zu sehen ist. Stellen Sie die in den Überschneidungsgebieten von je zwei Lichtkegeln wahrnehmbaren Farben fest. Setzen Sie Ihre Wahrnehmungen in Beziehung zu den in Aufgabe 1 wahrgenommenen Farben.
- *Überschneidungsgebiet Violett-Blau/Rot: Wahrnehmung Purpur
Überschneidungsgebiet Violett-Blau/Grün: Wahrnehmung Blau
Überschneidungsgebiet Rot/Grün: Wahrnehmung Gelb
Die Mischfarben Blau und Gelb sind mit unseren Augen nicht von den Spektralfarben Blau und Gelb zu unterscheiden.*

4 Zentralnervensystem und Sinneswahrnehmung

Räumliches Sehen (Seite 201)

- ① Betrachtet man im Gebirge bei klarer Luft einen weiter weg liegenden Berggipfel, so versagt häufig unsere Entfernungsabschätzung. Erläutern Sie.
- *Die Größe des Berggipfels ist nicht bekannt, sodass die Größenkonstanz versagt. Da der Gipfel sehr weit entfernt liegt, stehen die Augen nahezu parallel und der Gipfel wird auf fast korrespondierende Netzhautstellen abgebildet. Außerdem streut in der klaren Gebirgsluft das Licht sehr wenig, sodass entfernte Objekte zu nah erscheinen.*

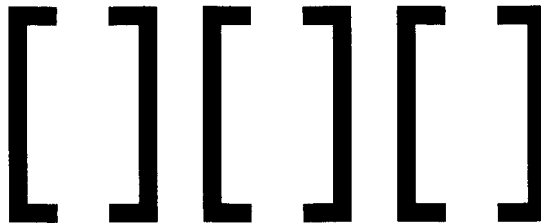
Praktikum: Optische Täuschung (Seite 203)

- 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. Um als gleich groß wahrgenommen zu werden, müsste das Netzhautbild der oberen Linie deutlich kleiner sein als das der unteren.

unten: Auch die Müller-Lyer'sche Täuschung beruht auf einer räumlichen Interpretation durch das Gehirn. Bedingt durch Erfahrungen im dreidimensionalen Raum werden entferntere Gegenstände unbewusst vergrößert. 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 angedeutete 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 einem 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 beidem 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

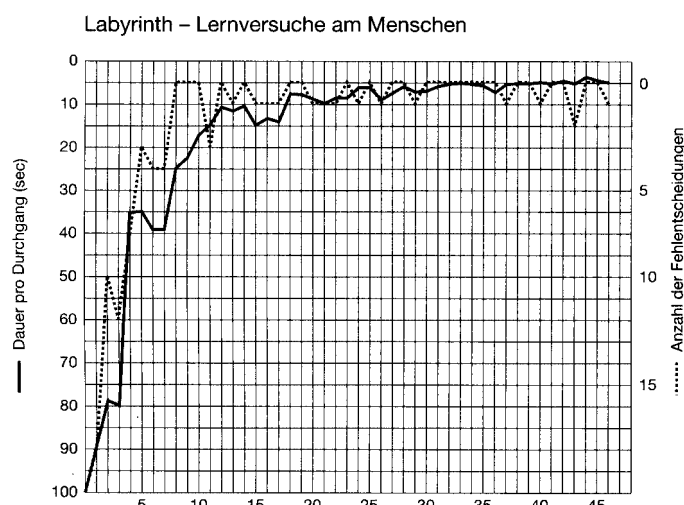


- ⑩ Vergleichen Sie die Grautöne in den Teilabbildungen miteinander.
 - Das kleine Quadrat besitzt in allen Teilabbildungen den selben Grauton. Vor einem schwarzen Hintergrund wirkt es jedoch deutlich heller als vor einem hellgrauen Hintergrund.
- ⑪ Welche Folgerung können Sie aus dieser Betrachtung 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: Gesicht 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° 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.*

Praktikum: Menschliches Lernen (Seite 205)

- ① Stellen Sie die Versuchsergebnisse in Form einer Lernkurve dar, tragen Sie dazu in einem Schaubild die Anzahl der Fehler über der Versuchszahl auf.
- *siehe Abbildung*



- ② Der Versuchsleiter dreht das Labyrinth, sodass Start und Ziel vertauscht werden, und die Versuchsperson beginnt erneut mit 15 Durchgängen. Deuten Sie das Ergebnis im Vergleich zur ersten Versuchsreihe.
- *Ein Teil der Schüler erlernt das gedrehte Labyrinth nach den Vorerfahrungen deutlich schneller.*
- ③ Wenden Sie den Karton, sodass das Labyrinth gespiegelt wird. Führen Sie die gleichen Versuche durch, während der Versuchsperson über Kopfhörer laut ihre Lieblingsmusik vorgespielt wird. Welche Veränderungen treten gegenüber den obigen Lernkurven auf?
- *Laute Musik führt bei vielen Schülern zu Konzentrationsschwierigkeiten, ein Lernerfolg stellt sich langsamer und auf geringerem Niveau ein.*
- ④ Teilen Sie sich in Gruppen auf und entwerfen Sie einen Lerntypentest, mit dem Sie ermitteln können, welcher der oben genannten Eingangskanäle von einer Testperson individuell bevorzugt wird.
- *Material: Löffel, Gabel, Radiergummi, Lineal, Bleistift, Heft, Buch, Spitzer, Pinsel, Schwamm, Tafellappen, Apfel, Orange, Banane, Kartoffel, Zitrone, Kochlöffel, Rührbesen, Knopf, Garnrolle, Schere, Zahnbürste, Seife, Waschlappen, Kieselstein, Schraubendreher, Hammer, Zollstock, Gummischnur, Zeitung, Schal. 2 Blätter, beschrieben mit 10 Begriffen, Zettel mit den Namen der Gegenstände des 5. Versuchs.*
Durchführung: Teilen Sie den Kurs in drei Gruppen ein. Die erste Gruppe übernimmt die Aufgabe des Versuchsleiters, die anderen beiden sind die Testpersonen. Die zweite Gruppe darf die Namen der vorgestellten Gegenstände zwischen Lernen (Merken) und Aufschreiben laut wiederholen. Die dritte Gruppe spricht leise nach dem Vorstellen der Begriffe die Reihe 2, 4, 6, 8, 10 usw.; die Reihe 3, 6, 9, 12 usw.; die Reihe 4, 8, 12, 16 usw. Jeweils nach 30 Sekunden schreiben die Testpersonen die gemerkten Gegenstände (Begriffe) auf. Die Anzahl der Begriffe wird für die Versuche in einer Tabelle festgehalten.

1. Versuch: Lassen Sie die Testpersonen die nachfolgenden 10 Begriffe lesen, wobei sie jedes Wort 5 Sekunden lang anschauen dürfen: Hose, Mehl, Mantel, Schal, Bluse, Stuhl, Lineal, Meer-schweinchen, Zahnbürste, Hamster.
2. Versuch: Lesen Sie Ihrer Testperson laut und deutlich im Abstand von je 5 Sekunden die fol-genden Worte vor: Sessel, Katze, Teppich, Schrank, Tisch, Buch, Reis, Hund, Gries, Linsen.
3. Versuch: Legen Sie der Testperson die folgenden Gegenstände im Abstand von 5 Sekunden auf den Tisch: Kieselstein, Gummischnur, Zeitung, Banane, Hammer, Schere, Spielzeugmaus, Waschlappen, Pinsel, Rock.
4. Versuch: Geben Sie der Testperson, der Sie die Augen mit einem Schal verbinden, die folgen-den Gegenstände jeweils 5 Sekunden lang in die Hand. Sie darf sie ertasten: Radiergummi, Blei-stift, Apfel, Röhrbesen, Schwamm, Garnrolle, Gabel, Seife, Löffel, Kartoffel.
5. Versuch: Geben Sie nun alle 5 Sekunden einen Gegenstand in die Hand der Testperson, lassen Sie den Gegenstand befühlen und betrachten. Zusätzlich legen Sie einen kleinen Zettel mit dem Namen des Gegenstandes auf den Tisch und sprechen den Namen laut und deutlich vor: Heft, Spitzer, Tafellappen, Orange, Kochlöffel, Zitrone, Schraubendreher, Zollstock, Knopf, Kartoffel.

⑤ Führen Sie diesen Test mit Versuchspersonen aus einer anderen Gruppe durch.

– *Ergebnisse einer Schülergruppe:*

Personen	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Versuch 4	Versuch 5
A	10	8	9	8	8
B	9	8	8	8	8
C	9	8	9	9	10
D	10	9	10	10	9
E	10	10	8	8	8

⑥ Untersuchen Sie, wie sich das gleichzeitige Darbieten einer Information über mehrere verschiede-ne Kanäle auf die Behaltensquote auswirkt. Machen Sie begründete Vorschläge zur Optimierung des Lernens in der Schule.

– *Bei Versuch 1 treten sowohl bei Gruppe 1 und 2 hohe Werte auf. Dies kann darauf deuten, dass hier sowohl der wichtigste Eingangskanal des Menschen, das Auge, benutzt wird, als auch die Co-dierung des Gedächtnisinhaltes durch die Aufnahme eines Begriffes erleichtert wird. Das Vorlesen der Worte erbringt bei beiden Gruppen niedrigere Werte. Dies lässt vermuten, dass der akustische Eingangskanal alleine zu schlechteren Gedächtnisleistungen führt. Das Beobachten der originalen Gegenstände über den optischen Eingangskanal zieht höhere Gedächtnisleistungen nach sich als beim akustischen Kanal alleine. Im vierten Versuch konnten die Versuchspersonen die Gegen-stände in die Hand nehmen, mussten sie dabei aber haptisch erkennen. Die Gedächtnisleistung liegt etwa auf der Höhe, wenn nur über den akustischen Kanal Informationen aufgenommen wur-den. Im fünften Versuch wurden alle drei Eingangskanäle verwendet, die Gedächtnisleistung er-reichte aber nicht die Werte des optischen Eingangskanals kombiniert mit der Begriffsbildung, wel-che die Abspeicherung im Gedächtnis erleichtert.*

Konsequenzen: Jeder Schüler sollte feststellen, über welche Eingangskanäle er gut Informationen aufnehmen kann und durch welche Art der Aufbereitung sie für die Einspeicherung in das Ge-dächtnis optimal vorbereitet werden.

⑦ Vergleichen Sie die Ergebnisse beider Gruppen. Welche Schlüsse ziehen Sie daraus für Ihr per-sönliches Lernverhalten?

– *Die Schüler der ersten Gruppe erzielten im Mittel 5,6 Punkte und damit eine höhere Punktzahl als die der zweiten Gruppe mit rund 4,1 Punkten. „Eselsbrücken“ oder selbst erfundene Merkverse er-höhen die Behaltensquote.*

⑧ Tauschen Sie sich darüber aus, welche Lernstrategien von den Mitgliedern der zweiten Gruppe angewendet wurden und beurteilen Sie deren Erfolg.

– *Hilfreich sind Querverbindungen oder Zusammenhänge zu bekannten Begriffen. Schüler mit Lateinkenntnissen profitieren bei dieser Aufgabe ungemein.*

5 Hormone

Die Hierarchie der Botenstoffe (Seite 209)

- ① Die hormonelle und nervöse Informationsübertragung werden oft mit der in Rundfunk und Telefon verglichen. Erläutern Sie.
- *Nervöse Informationsübertragung–Telefon:*
 - a) *Stärken des Vergleichs, weil Übereinstimmung vorliegt: Die Informationsübermittlung ist schnell; direkte Verbindung durch Kabel bzw. Nerven; die Informationsübertragung basiert auf elektrischen Signalen; die Information muss codiert, übertragen und wieder decodiert werden.*
 - b) *Schwächen des Vergleichs, weil gravierende Unterschiede vorliegen: Nerven können Information lediglich in einer Richtung weitergeben, am Telefon ist ein Dialog möglich; nervöse Informationsübermittlung geschieht an den Synapsen auch auf chemischem Weg.*
 - Hormonelle Informationsübertragung–Radio:*
 - a) *Stärken des Vergleichs, weil Übereinstimmung vorliegt: Die Informationsübermittlung geht „in alle Richtungen“; die Informationsaufnahme ist an spezielle Empfänger (Antenne, Rezeptor) gebunden.*
 - b) *Schwächen des Vergleichs, weil gravierende Unterschiede vorliegen: Die hormonelle Informationsübertragung geschieht relativ langsam, die über Radio hat Lichtgeschwindigkeit; die hormonelle Informationsübertragung ist an chemische Substanzen (Polypeptide, Steroide, AS-Derivate) gebunden, Radiowellen sind elektromagnetischer Natur; bei der hormonellen Informationsübertragung sind Rückkopplung (z.B. Thyroxin, TRF und TSH sowie Sexualhormone) und Vervielfachung der Informationsdichte (Hierarchie und Kaskadenwirkung) wichtige Prinzipien, bei der Informationsübertragung durch das Radio ist beides nur theoretisch vorstellbar.*

Zelluläre Wirkungsweise (Seite 210)

- ① Stellen Sie stichwortartig die unterschiedliche Wirkungsweise der beiden Hormontypen in den Zielzellen zusammen.

Lipidunlösliche Proteine	Lipidlösliche Nicht-Proteine
Können die Zellmembranen nicht passieren und nicht in die Zellen eindringen.	Hormone passieren die Zellmembran und dringen in die Zellen ein.
Hormone werden von Rezeptoren, die in den Zellmembranen der Zielzellen vorliegen, gebunden.	Im Cytoplasma der Zielzellen befinden sich Rezeptoren.
Hormon-Rezeptor-Komplex aktiviert Adenylatcyclase auf der Zellinnenseite.	Hormone bilden mit Rezeptor Komplex (Hormon-Protein-Komplex)
Adenylatcyclase wandelt ATP in c-AMP um.	Hormon-Protein-Komplex kann Kernmembran passieren.
c-AMP sekundärer Botenstoff c-AMP aktiviert bestimmte Gene.	Hormon-Protein-Komplex löst Proteinsynthese aus.

Diabetes mellitus (Seite 214)

- ① Stellen Sie die beiden Diabetes-Hauptformen einander tabellarisch gegenüber.

Merkmale	Typ-1-Diabetes	Typ-2-Diabetes
Alter bei Beginn der Erkrankung	gewöhnlich unter 20	gewöhnlich über 40
Anteil an der Gesamtheit der Diabetiker	weniger als 10%	mehr als 90%
Auftreten von Symptomen	akut	langsam
Fettleibigkeit	selten	fast immer
Anzahl der b-Zellen	verringert	verschieden
Insulinmenge	verringert	verschieden
weiße Blutzellen in den Langerhans'schen Inseln	anfangs vorhanden	keine
Diabetes in der Familie	selten	fast immer
Antikörper gegen Inselzellen	ja	keine

Material: Diabetes mellitus (Seite 215)

Der Blutzuckerspiegel

- ① Unter welchen Umständen kann eine Hypoglykämie auftreten? Begründen Sie.
 - *Häufige Ursachen einer Hypoglykämie (Unterzuckerung) sind:*
 - zuviel Insulin gespritzt
 - vermehrte körperliche Anstrengung
 - zu wenig Kohlenhydrate gegessen
 - zu große Zeitspanne zwischen Spritzen und Essen
 - zu viel Alkohol getrunken, wodurch die Leber bei der Glucosemobilisierung gehemmt wird
- ② Welche Symptome weisen auf eine Unterzuckerung hin? Erläutern Sie die biologischen Zusammenhänge.
 - *Mögliche Symptome einer Unterzuckerung sind Schweißausbrüche, Zittern und Herzklopfen infolge eines erhöhten Adrenalinpiegels. Eine Glucoseunterversorgung des Gehirns führt zu Kopfschmerzen, Sehstörungen, Verwirrtheit und Schwindel. In schweren Fällen kann es auch zu Bewusstlosigkeit und Krämpfen kommen. Schwere Unterzuckerungen können auch wie ein Schlaganfall ablaufen. Die Krämpfe werden gelegentlich als epileptischer Anfall fehlgedeutet.*
- ③ Stellen Sie eine Liste mit Verhaltensregeln zusammen, wie man in einer solchen Situation einem Diabetiker helfen kann.
 - *Für Laien ist es anhand der unterschiedlichen Symptome schwierig zu unterscheiden, ob es sich um eine Unter- oder eine Überzuckerung handelt. Ein Messen der Blutwerte und Hilfe durch einen Arzt sind hier unbedingt notwendig. Eine Unterzuckerung muss sofort mit Kohlenhydraten, die schnell ins Blut gelangen, behandelt werden. Geeignet sind Traubenzucker, gesüßte Säfte oder Weißbrot. Eine Injektion des Hormons Glucagon führt zur Freisetzung von Glucose aus der Leber.*

Gefäßerkrankungen durch Hyperglykämie

- ① Erläutern Sie, warum es durch Mikroangiopathie zu den auf Seite 214 beschriebenen Folgeschäden wie Erblindung und Nierenversagen kommen kann.
 - *Der erhöhte Blutzuckerspiegel führt zu einer Verengung der großen Nierengefäße, auch die kleinen Nierengefäße werden verändert, sie werden porös. Das führt zu einer erhöhten Ausscheidung von Proteinen im Urin. Diabetische Nierenerkrankungen treten häufig mit einem erhöhten Blutdruck auf. Die Verengung der großen Nierengefäße verstärkt diesen Effekt. Eine Schädigung der kleinen Blutgefäße der Netzhaut führt zu einem Nachlassen der Sehkraft bis hin zur Erblindung.*
- ② Durch welche Maßnahmen kann sich ein Diabetiker vor Folgeschäden schützen?
 - *Wichtig ist eine genaue Einstellung der Glucosekonzentration im Blut durch exakte Messungen und dementsprechende Insulindosierung sowie eine richtige Ernährung.*

Diabetes – eine Wohlstandskrankheit

- ① Wie erklären Sie sich die drastische Zunahme der Diabetesfälle auf der Insel Nauru?
 - *Ursache für die rasche Zunahme der Diabetes-Fälle sind zum einen die veränderten Lebensbedingungen, die durch reichliche Nahrung und mangelnde Bewegung gekennzeichnet sind. Zum anderen ist die Anfälligkeit für Typ-2-Diabetes genetisch bedingt.*
- ② Inwiefern könnte Typ-2-Diabetes einen Selektionsvorteil darstellen? Welchen Zusammenhang zur raschen Zunahme der Diabetesfälle sehen Sie?
 - *Für die Vorfahren der heutigen Bewohner war es ein immenser Vorteil, wenn sie Dank einer leistungsfähigen Bauchspeicheldrüse nach einer reichhaltigen Mahlzeit energiereiche Nahrungsbestandteile möglichst rasch und in großer Menge aufnehmen und Energie für eine Hungerphase speichern konnten. Der Wohlstand führte jedoch zu einer Dauerstimulierung und demzufolge zu einer Überreizung der β -Zellen; Insulinresistenz und Zuckerkrankheit waren die Konsequenz. Es kommt also auf die Umwelt an, ob die diabetesfördernden Gene sich positiv oder negativ auswirken.*
- ③ Das orale Antidiabetikum Metformin vergrößert die Resistenz gegenüber Insulin und reduziert, vorbeugend eingenommen, laut entsprechender Studien das Risiko einer Erkrankung um 30%. Schlagen Sie weitere Maßnahmen vor, um die Wahrscheinlichkeit einer Erkrankung zu verringern.
 - *Auch bei einer entsprechenden Veranlagung bricht bei ballaststoffreicher Ernährung und ausreichender Bewegung die Krankheit nicht aus.*

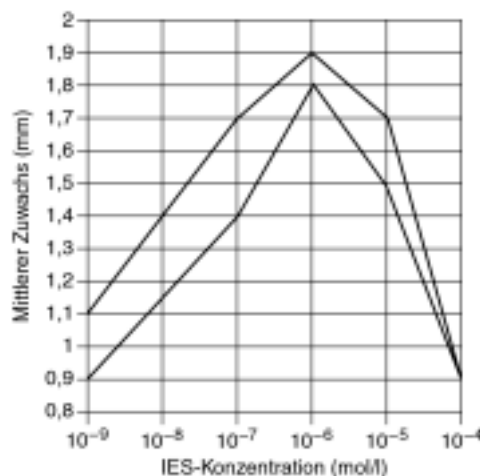
Stress (Seite 217)

- ① Nennen Sie Unterschiede und Gemeinsamkeiten von Fight-or-Flight-Syndrom und Stress.
- *Gemeinsamkeiten: Unter dem Einfluss von Adrenalin und Noradrenalin kommt es zu veränderten Organfunktionen (Herzschlag, Muskeldurchblutung, Fettabbau zu freien Fettsäuren erhöht, Verdauungsorgane gehemmt).*
Unterschiede: Beim Fight-or-Flight-Syndrom verschwinden die alarmierenden Außenreize, die Hormone werden rasch abgebaut, die Organfunktionen kehren auf das Normalniveau zurück (spontane Alarmreaktion). Beim Stress, der die längerfristige Belastung des Gesamtorganismus als Antwort auf zahlreiche anhaltende oder immer wiederkehrende Auslöser (Stressoren) ist, kommt es zur Organveränderungen (Vergrößerung der Nebennieren, Bluthochdruck, veränderte Blutzusammensetzung, vermehrte Glukocorticoideausschüttung). Diese fasst man zusammen zum AAS (Allgemeines Anpassungssyndrom).

Praktikum: Phytohormone (Seite 219)

- ① Welche Rückschlüsse auf den Bildungsort der Wuchsstoffe können Sie aus den Ergebnissen ziehen?
- *Wird die Sprossspitze mit den Keimblättern entfernt, unterbleibt das Streckungswachstum. Wird Wuchsstoffpaste aufgetragen, entspricht der Zuwachs annähernd dem der intakten Pflanzen. Dieses Experiment deutet darauf hin, dass die Wuchsstoffe in der Sprossspitze beziehungsweise in den Keimblättern gebildet und von dort ins Hypokotyl transportiert werden.*
- ② IES ist ein natürliches Auxin. Was können Sie über die Wirkung von IES aussagen?
- *IES fördert das Streckungswachstum.*
- ③ Unter welchen Bedingungen kommt es zur Krümmung eines Keimlings?
- *Der Keimling krümmt sich, wenn sich auf einer Seite der Sprossachse die Zellen stärker strecken als auf der gegenüberliegenden Seite.*
- ④ Erläutern Sie, inwiefern mit diesem Versuch ein Hormontransport nachgewiesen wird.
- *Nur bei den mit Wuchsstoffpaste behandelten Pflanzen ist eine Krümmung zu beobachten. Ursache ist ein einseitiges Wachstum der Zellen unterhalb der Applikationsstelle. Das einseitig aufgetragene Hormon wird abwärts in das Hypokotyl transportiert und löst auf dieser Seite ein verstärktes Streckungswachstum aus.*
- ⑤ Berechnen Sie die durchschnittliche Länge der Segmente für jede Versuchsgruppe. Tragen Sie diese in einem Schaubild über der IES-Konzentration auf.

Konzentration (mol/l)	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-9}
mittlerer Zuwachs nach 24 h (in mm)	0,9	1,5	1,8	1,4	0,9
mittlerer Zuwachs nach 48 h (in mm)	0,9	1,7	1,9	1,7	1,1



- ⑥ Wie wirken sich unterschiedliche Konzentrationen von IES auf das Streckungswachstum aus? Wie

nennt man eine solche Kurve?

- *Den größten Zuwachs erhält man bei einer IES-Konzentration von $c = 10^{-6}$ mol/l. Höhere oder geringere Konzentrationen führen zu kleineren Zuwächsen. Es ergibt sich eine Optimumskurve.*

⑦ Erklären Sie die auftretenden Veränderungen.

- *In den Gläsern 1 und 2 zeigt sich bereits nach wenigen Tagen eine Rotfärbung der Tomaten bzw. eine Gelbfärbung der Limonen, während die Kontrollfrüchte in Glas 4 noch grün sind. Besonders langsam reifen die Früchte in Glas 3. Durch das vom Apfel freigesetzte beziehungsweise zugegebene Ethen wird die Fruchtreifung beschleunigt. Kohlenstoffdioxid dagegen hemmt die Wirkung des Ethens.*

⑧ Erläutern Sie, wie man bei der Obstlagerung eine Reifeverzögerung und eine punktgenaue Reifung erzielen kann.

- *Um die Reife zu verzögern, wird in Lagerräumen die ethenhaltige Luft abgesaugt. Niedere Temperaturen verringern darüber hinaus die Ethenproduktion in den Früchten. Ein erhöhter Kohlenstoffdioxidgehalt der Luft hemmt die Wirkung des Ethens. Erst zum gewünschten Zeitpunkt werden die Früchte mit Ethen begast, um innerhalb weniger Tage zur Vollreife zu gelangen.*

⑨ Weshalb sollte man reife Bananen in einer Obstschale nicht zusammen mit Äpfeln lagern?

- *Äpfel produzieren viel Ethen und geben es an die Umgebung ab, sodass die Bananen schnell überreif werden.*

Immunbiologie

1 Grundlagen der Immunbiologie

Immunglobulinklassen (Seite 225)

- ① Welche Bedeutung hat der variable Molekülabschnitt der Antikörper?
 - *Der variable Molekülabschnitt der Antikörper ist der Antigenbildungsort. Da es viele verschiedene Antigene gibt, die gebunden werden können, gibt es von einer IgG-Klasse auch verschiedenste Antikörper, die sich nur in der Struktur der Endabschnitte des gabelförmigen Teils unterscheiden.*
- ② Welche Eigenschaften der Antikörper ermöglichen die Bildung eines Immunkomplexes?
 - *Immunkomplexe können entstehen, weil Antikörper spezifische Bindungsstellen für Antigene tragen und ein Antikörper zwei oder mehr Bindungsstellen besitzt. Es müssen mindestens zwei Bindungsstellen je Antikörper existieren, damit ein Komplex entstehen kann.*

Humorale Immunantwort (Seite 226)

- ① Weshalb ist es biologisch sinnvoll, wenn sich aktivierte B-Zellen vor der Antikörperbildung vermehren?
 - *Da sich die Lymphocyten der Umbildung zu Plasmazellen vermehren, ist die danach auftretende Antikörperproduktion viel größer, als wenn nur die wenigen aktivierten B-Lymphocyten allein Antikörper bilden würden.*
- ② Welche Bedeutung hat der große Gehalt an Ribosomen in den Plasmazellen?
 - *An Ribosomen findet Proteinbiosynthese statt. Viele Ribosomen deuten auf eine intensive Proteinbildung hin. Dies ist ein Hinweis darauf, dass in den Plasmazellen viele Antikörper gebildet werden.*

Materialien: Theorien zur Entstehung spezifischer Antikörper (Seite 229)

- ① Vergleichen Sie die drei Theorien. Welche Gemeinsamkeiten zeigen die Seitenkettentheorie und die Theorie der klonalen Selektion hinsichtlich der Entstehung der Rezeptoren im Gegensatz zur Instruktionstheorie?
 - *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 die Ursache ihrer Raumstruktur wurde die Instruktionstheorie in der dargestellten Form aufgegeben. Welcher Widerspruch wurde in der Theorie erkannt?
 - *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 der beiden verbleibenden Theorien zur Antikörperbildung durch das beschriebene Experiment gestützt wird.
 - *Das Experiment ist ein Beleg für die Theorie der klonalen Selektion. Wenn man davon ausgeht, dass von den Lymphknoten aus der Milz jede Zelle nur Rezeptoren einer Spezifität besitzt, dann bindet das radioaktive Antigen X nur an die Zellen mit dem passenden Rezeptor. Sie werden durch den engen Kontakt mit der Strahlungsquelle letal geschädigt. Lymphocyten mit Rezeptoren anderer Spezifität binden das radioaktive Antigen nicht und erhalten keine letale Strahlendosis. Nach Injektion in Mäuse stehen also nur noch diejenigen Lymphocyten mit Rezeptoren zur Verfügung, die nicht Antigen X binden. Lymphocyten mit Rezeptoren für X fehlen. Deshalb kann der Organismus keine Antikörper gegen X bilden. Wäre die Seitenkettentheorie zutreffend, so hätten alle Lymphocyten radioaktives Antigen X gebunden. Dadurch wären alle Lymphocyten durch die Strahlung abgetötet worden. Antikörperbildung wäre damit überhaupt nicht mehr möglich gewesen.*

- ④ Weshalb kann das dargestellte Experiment nur dann gelingen, wenn die Mäuse, denen die Lymphocyten gespritzt werden, einen Thymusdefekt besitzen?
- *Mit dem Thymusdefekt wird verhindert, dass der Organismus der Maus funktionsfähige T-Lymphocyten, darunter auch T-Helferzellen, produziert. Dadurch muss der Organismus der Maus mit den T-Helferzellen auskommen, die injiziert werden. In diesem Vorrat fehlen aber diejenigen T-Helferzellen, die einen Rezeptor für das Antigen X besitzen. Der Thymusdefekt verhindert also, dass nach der Injektion die körpereigenen B-Zellen der Maus, die ja durchaus auch Rezeptoren für das Antigen X besitzen, aktiviert werden.*

2 Anwendungen der Immunbiologie

Erworbene Immunität (Seite 231)

- ① Stellen Sie anhand Ihres Impfbuches fest, gegen welche Krankheiten, wie oft und wann Sie geimpft wurden.
- *In der Regel sind die meisten im Impfbuch eingetragenen Impfungen im Zusammenhang mit den regelmäßigen Untersuchungen an Neugeborenen und Kleinkindern durchgeführt worden. Üblicherweise wird in den ersten beiden Lebensjahren gegen Tetanus, Polio, Diphtherie und Pertussis (Keuchhusten) 4-mal geimpft. Wegen eines höheren Komplikationsrisikos der Pertussisimpfung im Vergleich zu den anderen Schutzimpfungen, wird sie gelegentlich nicht durchgeführt. Gegen Masern, Mumps und Röteln wird im Alter von etwa zwei Jahren geimpft und die Impfung einmal nach etwa 5 Jahren wiederholt. Je nach Einzelfall werden weitere Impfungen, eventuell auf besondere Veranlassung, vorgenommen.*
- ② Suchen Sie nach Informationen über Auffrischungsimpfungen gegen gefährliche Krankheiten.
- *Auffrischungsimpfungen gegen Tetanus, Polio und Diphtherie sollten alle 10 Jahre erfolgen.*
- ③ Erklären Sie mithilfe der Tabelle in Abbildung 2, weshalb die Tetanus-Impfung nicht lebenslang schützt, wohl aber die gegen Röteln.
- *Gegen Tetanus wird ein abgeändertes Bakteriengift (Toxoid) als Impfstoff verwendet, ein Tot-Impfstoff. Seine Wirkung ist zeitlich begrenzt, weil der Impfstoff abgebaut wird und die bei der Immunisierung gebildeten Gedächtniszellen im Lauf der Jahre absterben. Der Impfstoff gegen Röteln gehört zu den Lebend-Impfstoffen. Die zur Immunisierung verwendeten Viren bleiben im Organismus vermehrungsfähig und verursachen einen dauernden immunogenen Reiz.*
- ④ Weshalb ist es wichtig, dass ein möglichst großer Teil der Bevölkerung gegen bedrohliche Infektionskrankheiten geimpft ist?
- *Der Impfschutz umfasst nicht nur Individuen, sondern auch Populationen. Er verhindert die Ausbreitung von Infektionskrankheiten auch auf nicht geimpfte Menschen. Wenn der Impfschutz in der Bevölkerung abfällt – die Grenze liegt bei 80 bis 85 Prozent für den Durchimpfungsgrad – dann muss man damit rechnen, dass es früher oder später zu einer Epidemie kommt.*

Organtransplantation und Organspende (Seite 235)

- ① Beschreiben Sie den Vorgang der Abstoßung eines Hauttransplantats nach Abbildung 234.2.
- *Akute Abstoßungsreaktion:*
 - *Ein Hautstück eines Spenders wird eingepflanzt.*
 - *Das Hautstück wird vom Körper des Empfängers mit Gefäßen versorgt. (Inzwischen präsentieren Fresszellen Bruchstücke des Transplantats als Antigene.)*
 - *Nach etwa einer Woche wandern Immunzellen, vor allem T-Killerzellen des Empfängers, die spezifisch gegen die MHC- (= HLA-) Moleküle des Spenders (Seite 233) gerichtet sind, ins Gewebe ein. Sie setzen Substanzen frei, die Zellen des Transplantats zerstören und veranlassen diese zur Apoptose (Seite 227).*
 - *Die Blutgefäße werden beschädigt, es kommt zu Thrombosen (Gefäßverschlüssen) und Nekrosen (Gewebstod). Das verpflanzte Gewebe stirbt ab.*

- ② Ein übertragenes Organ kann, von Ausnahmen abgesehen, nur dann dauerhaft funktionieren, wenn das Immunsystem des Empfängers unterdrückt wird.
Erläutern Sie, weshalb die Immunsuppression erforderlich ist. In welchem Sonderfall ist die Suppression nicht notwendig?
- *Durch die vererbten Gewebsmerkmale unterscheiden sich alle Lebewesen voneinander. An den MHC-Proteinen erkennt das Abwehrsystem, ob Zellen zum eigenen Körper gehören oder fremd sind. Fremdes Gewebe wird angegriffen und zerstört: Neben Krankheitserregern und Tumorzellen auch transplantierte Organe. Da es noch keine Therapie gibt, die gezielt die Reaktion des Immunsystems auf fremde MHC-Proteine unterdrückt, wird mit Immunsuppressiva die Aktivierung aller T-Zellen verhindert. Die Immunsuppression erfolgt über die gesamte Funktionsdauer des Transplantats.
Je besser die Gewebedaten von Spender und Empfänger zueinander passen, desto schwächer ist die Immunreaktion. Bei eigenem Gewebe (autologe Transplantate) und bei Transplantationen zwischen eineiigen Zwillingen bleibt sie aus.*
- ③ Nach der Übertragung von Knochenmark auf einen Empfänger mit unterdrücktem Immunsystem kann es vorkommen, dass Gewebe des Empfängers geschädigt wird (GvH = Graft-versus-host-Reaktion). Erklären Sie dieses Phänomen.
- *Die Graft-versus-host-(GvH-) Reaktion: Immunzellen des verpflanzten Knochenmarks bilden Antikörper, die sich spezifisch gegen den Empfänger richten.*
- ④ Welche Gründe sprechen dafür, dass der Hirntod juristisch gleichgesetzt wird mit dem Tod des Individuums? Welche Folgen hätte es, wenn Organe erst nach dem vollständigen Erliegen des Stoffwechsels entnommen werden dürften?
- *Wurde das Gehirn durch Verletzung, Blutung oder Sauerstoffmangel zerstört, so erlischt nicht nur das Bewusstsein, es fehlt auch die gesamte lebensnotwendige Regulation des Körpers. Mit dem Ausfall der Hirnstammfunktion fällt die zentrale Steuerung der Atmung aus; hirnbegogene Reflexe sind nicht mehr nachweisbar. Der Schädelinhalt beginnt zu verwesen (Nekrose). Der Hirntod ist von außen als vollständiger und irreversibler Ausfall aller Gehirnfunktionen einschließlich des Hirnstamms messbar, erkennbar und begreifbar. Der Hirntod fällt in der Regel – wegen des Ausfalls der Spontanatmung – zeitlich eng mit dem Herztod zusammen.
Nach dem vollständigen Erliegen aller Organfunktionen sind die Organe so stark geschädigt, dass sie im Empfänger nicht mehr arbeiten.*

Organspende – Pro und Contra (Seite 235)

- ② Der Hirntod eines Organspenders muss durch zwei Ärzte festgestellt werden, die an der Transplantation nicht mitwirken. Geben Sie Gründe für diese Bestimmung an.
- *Vorbeugung für denkbare Interessenskonflikte wie die Rettungsbemühungen um das Leben eines Schwerkranken und die Hilfe für einen potentiellen Transplantatempfänger. Diese Maßnahme kann den möglichen Befürchtungen vorbeugen, dass Organe bereits vor dem Tod entnommen werden könnten.*

AIDS (Seite 239)

- ① Stellen Sie die Faktoren zusammen, die bewirken, dass AIDS eine sehr gefährliche Krankheit ist.
- *AIDS ist unheilbar, jeder Erkrankte stirbt.*
 - *Es gibt keine Schutzimpfung.*
 - *Die Inkubationszeit ist enorm groß. In dieser Zeit sind Infizierte nahezu ohne Beschwerden. Wissen sie nichts von ihrer Infektion, so können sie über Jahre hinweg auf andere Menschen das Virus übertragen. Diese sind kurze Zeit später selbst wieder infektiös. So wird das Virus unbemerkt verbreitet.*
 - *Das Virus kann die Plazenta passieren. Dadurch können bereits Ungeborene infiziert werden.*

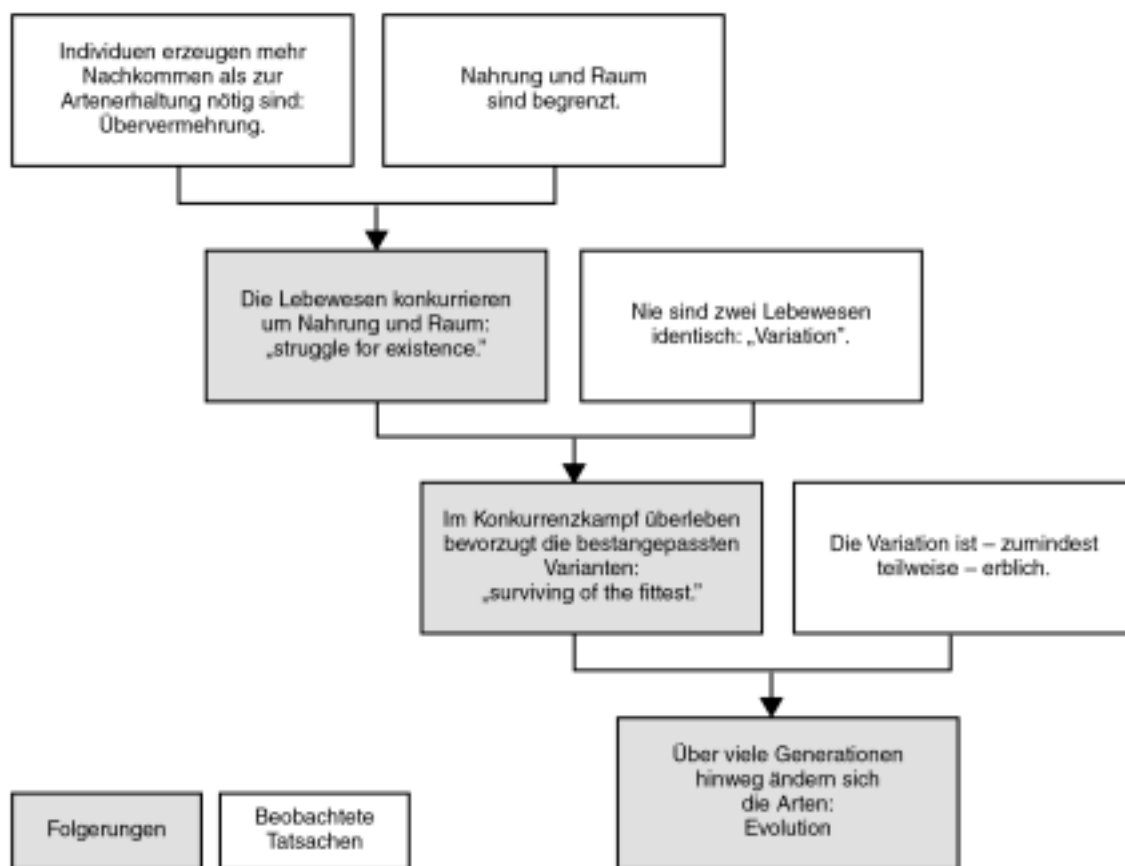
Evolution

1 Einführung in die Evolutionstheorie

Die Evolutionstheorie von Charles Darwin (Seite 249)

- ① Welche der Aussagen DARWINS sind aus Beobachtungen hervorgegangen, welche sind Schlussfolgerungen?
 - *Beobachtungen sind die Übervermehrung (Überproduktion), die begrenzten Ressourcen, die Variabilität der Populationen und die Erbllichkeit der Variation.*
Folgerungen sind der Existenzkampf und das bevorzugte Überleben des Geeignetsten.
- ② Stellen Sie die Beobachtungen und Folgerungen in einem Flussdiagramm dar, das die logischen Überlegungen DARWINS erkennen lässt.
 - *siehe Abbildung*

Darwins Theorie der natürlichen Zuchtwahl



Material: Die Evolutionstheorie Lamarcks (Seite 251)

- ① Erläutern Sie, wie LAMARCK zur Theorie der Inkonzanz der Arten kommt. Vergleichen Sie seine Vorstellungen über die Entstehung der Lebewesen mit denen LINNÉ und CUVIERS.
 - *LAMARCK entwickelte seine Vorstellung von der Inkonzanz der Arten durch die Untersuchung heute existierender Lebewesen. Dabei stellte er fest, dass häufig benutzte Organe (z.B. Hinterbeine und Schwanz der Kängurus) viel stärker entwickelt sind als weniger benutzte Organe (z.B. Vorderbeine der Kängurus).*
Dies erklärte er durch ein inneres Bedürfnis der Lebewesen, sich an Umweltbedingungen anzupassen. Eine derartige Anpassung ist nur möglich, wenn Arten veränderlich sind. Der Text des Lexikons auf Seite 250 zeigt, dass LAMARCK Übergangsformen zwischen Arten gefunden hat. Diese Übergangsformen waren für ihn ein weiterer Beweis für die Veränderlichkeit der Arten.
LINNÉ und CUVIER vertraten die Vorstellung von der Konstanz der Arten, d.h., die Lebewesen wurden in ihrer heutigen Gestalt geschaffen und haben sich nicht verändert.

- ② Ein wesentliches Argument CUVIERS gegen die Theorie LAMARCKS war das Fehlen von Übergangsformen zwischen verschiedenen Arten. Warum sind gerade Übergangsformen das entscheidende Indiz für einen Artwandel?
- *Träfe die Hypothese von der Artkonstanz zu, so wären Arten klar voneinander zu unterscheiden. Übergänge zwischen verschiedenen Arten wären nicht möglich. Findet man jedoch Übergangsformen zwischen zwei Arten, so lässt dies vermuten, dass die beiden heute getrennten Arten sich aus einer gemeinsamen Ausgangsform entwickelt haben.*
- ③ Welche Faktoren sieht LAMARCK als Antrieb zur Veränderung von Arten? Stellen Sie die Verknüpfung dieser Faktoren in einem Ursache-Wirkungs-Diagramm dar.
- *Die Veränderung der Arten wird nach den Vorstellungen LAMARCKS ausgelöst durch ein inneres Bedürfnis der Tiere, sich an veränderte Umweltbedingungen anzupassen. Durch Veränderungen in den Bedürfnissen der Tiere entstehen neue Tätigkeiten und Gewohnheiten, durch die bestimmte Organe verstärkt werden oder sogar neu entstehen. Durch ständigen Nichtgebrauch verkümmert ein Organ. Diese Anpassungen können an die Nachkommen vererbt werden, wenn sie bei beiden Geschlechtern aufgetreten sind.*
- ④ Beschreiben Sie die Evolution des Kängurus mithilfe der Selektionstheorie.
- *Känguru-Vorfahren lebten vermutlich im Regenwald, überwiegend kletternd auf Bäumen. Als sich in Australien durch Klimawechsel die Regenwälder zurückzogen, konnten Tiere, die sich gut am Erdboden fortbewegen konnten, die Savannen besiedeln. Innerhalb der Populationen gab es zu allen Zeiten Tiere, die sich durch ihren Körperbau mehr oder weniger schnell, ausdauernd und ökonomisch fortbewegten. Tiere mit langen Unterschenkeln und Füßen sowie kräftiger Muskulatur an den Hinterbeinen konnten sich besonders schnell und energiesparend fortbewegen und überlebten bevorzugt.*
- ⑤ Analysieren Sie die Aussage in LAMARCKS zweitem Gesetz. Formulieren Sie dieses Gesetz unter Verwendung heute üblicher genetischer Fachbegriffe der Genetik. Untersuchen Sie die Richtigkeit des neu formulierten Gesetzes auf der Grundlage der Genetik und der Molekularbiologie.
- *LAMARCKS zweites Gesetz postuliert die Vererbbarkeit individuell erworbener Eigenschaften auf die Nachkommen, wenn die erworbene Veränderung bei beiden Elternteilen auftrat. Formulierungsvorschlag für das zweite Gesetz: Anpassungen des Phänotyps an bestimmte Umweltbedingungen können den Genotyp beeinflussen, d.h. Mutationen auslösen, die eine gezielte Anpassung an die Umwelt darstellen. Findet diese Erbänderung bei beiden Geschlechtern statt, wird sie in der nächsten Generation phänotypisch wieder erkennbar. Das zweite Gesetz LAMARCKS stimmt mit den heutigen genetischen Kenntnissen nicht überein:*
 - *Modifikationen sind nicht vererbbar.*
 - *Mutationen sind stets zufällig und ungerichtet.*
 - *Mutationen können auch dominant sein und sich damit auch bei Heterozygotie phänotypisch ausprägen.*
 - *Der Informationsfluss geht im Allgemeinen von der DNA zur RNA und zu den Proteinen.*
- ⑥ Spechte haben eine sehr lange Zunge, mit der sie Insekten aus der zerklüfteten Borke von Bäumen herausholen. Schildern Sie die evolutive Entstehung der Spechtzunge im Sinne LAMARCKS und im Sinne DARWINS.
- *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.

2 Belege für die Evolution

Material: Befunde aus der Anatomie (Seite 259)

- ① Die unten stehenden Abbildungen zeigen schematisch die Entstehung der Linsenaugen im Verlauf der Embryonalentwicklung bei Wirbeltieren und Kopffüßern.
 - a) Vergleichen Sie die jeweiligen funktionsgleichen Strukturen.
 - b) Begründen Sie, ob die Augen der beiden Tiergruppen homolog sind oder nicht. Welche der Homologiekriterien verwenden Sie für Ihre Argumentation?
 - c) Welche Aussage lässt das Ergebnis von Teilaufgabe b) über die evolutive Entwicklung von Augen bei Kopffüßern und Wirbeltieren zu?

– a) *Identifikation funktionsgleicher Strukturen an beiden Augentypen: Hornhaut, Linse, Netzhaut, Sehnerv.*

b) *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 Kopffüßer 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 Epidermiseinstülpung hervorgeht. Danach liegt keine Homologie vor.

 - c) *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.*
- ② Die Beine der Insekten ermöglichen die unterschiedlichsten Formen der Fortbewegung. Man findet bei den verschiedenen Insektenordnungen Laufbeine, Sprungbeine, Grabbeine und Schwimmbeine.
 - a) Vergleichen Sie den Aufbau der abgebildeten Insektenbeine miteinander.
 - b) Welche Aussagen zur evolutiven Entstehung sind möglich? Begründen Sie.

– a) *Vergleichbarer Grundaufbau (Hüfte, Schenkelring, Schenkel, Schiene, Fußglieder). Abwandlung des Grundbauplans.*

b) *Homologie bedeutet, dass die gemeinsamen Vorfahren der Insekten, deren Beine abgebildet sind, bereits diesen Beintyp besaßen. Der Grundbauplan wurde im Verlauf der evolutiven Entwicklung, der in der Artenspaltung stattgefunden haben muss, abgewandelt. So entstanden Laufbein, Sprungbein, Grabbein und Schwimmbein mit den charakteristischen Veränderungen der einzelnen Beinglieder. Sie ermöglichen entweder besonders große Schrittlängen, einen großen Beschleunigungsweg, starke Kraftentwicklung oder hohen Strömungswiderstand im Wasser. Diese Kennzeichen sind als Anpassungsmerkmale an Lebensraum und Lebensweise zu deuten. Ursächlich für die Entstehung waren unterschiedliche Selektionsbedingungen, unter denen sich die Arten entwickelten.*
- ③ Die Calanoiden bilden eine Ordnung innerhalb der Unterklasse der Ruderfußkrebse. Sie kommen im Meer in großer Menge vor und leben als Erstkonsumenten von Plankton. Zugleich bilden sie die wesentliche Nahrungsgrundlage für Herings- und Makrelenschwärme.

Die Seepocken gehören zur Unterklasse der Rankenfüßer. Diese marinen Krebse bilden einen Kalkpanzer, der mit seinen Platten den Körper völlig umgibt. Es gibt nur eine mit beweglichen Kalkplatten verschließbare Öffnung, aus der die Rankenfüße hervortreten können. Mit ihnen strudeln die Tiere Nahrungsteilchen herbei. Der vordere Kopfabschnitt besitzt eine Haftscheibe, Komplexaugen fehlen.

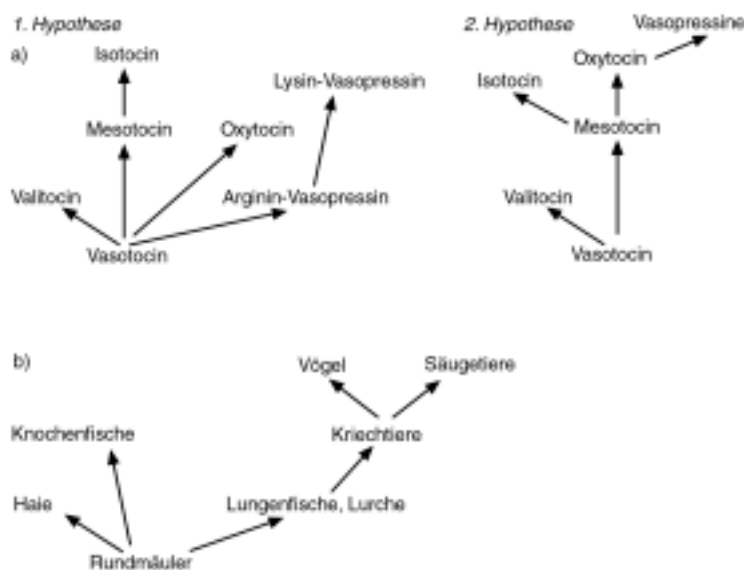
 - a) Zu welchem Tierstamm gehören die Krebse? Welche wesentlichen Merkmale charakterisieren diesen Stamm? Identifizieren Sie diese Merkmale soweit als möglich an den abgebildeten Tieren.
 - b) Vergleichen Sie die Lebensweise von Ruderfußkrebsen und Rankenfüßern. Berücksichtigen Sie dabei den Körperbau.
 - c) Ruderfußkrebse und Rankenfüßer zeigen erhebliche Unterschiede im Körperbau. Geben Sie eine evolutive Erklärung für diese Divergenz der beiden verwandten Tiergruppen.

– a) *Krebse bilden eine Klasse im Stamm der Gliederfüßer. Charakteristische Erscheinungsmerkmale sind chitinhaltiges Außenskelett, segmentierter Körper, gegliederte Beine mit biegsamen Gelenkhäuten, Extremitäten zu Mundwerkzeugen oder/und Antennen umgebildet, Komplexaugen.*

- b) Seepocken sind festsitzend lebende Krebse. Nahrung wird durch Strudelbewegungen mit den Beinen gewonnen, Augen sind dementsprechend nicht nötig. Im Gegensatz dazu leben Ruderfüßer im Freiwasser. Dies ist zu erschließen, weil sie im Freiwasser auftretenden Fischschwärmen als Nahrung dienen. Sie besitzen Lichtsinnesorgane und lange Körperanhänge, von denen vor allem die Antennen das Schweben im Freiwasser ermöglichen. Den sessilen Rankenfüßern bietet der stabile Kalkpanzer Schutz gegen Fressfeinde. Mit den beweglichen Kalkplatten wird bei sinkendem Wasserspiegel Meerwasser in den Panzer eingeschlossen. Dadurch können sie einige Zeit trocken liegen und die Gezeitenzone besiedeln.
- c) Der Selektionsdruck und die durch Artänderung stattgefundenene Einnischung verwandter Arten in verschiedene ökologische Nischen führte ausgehend von einer gemeinsamen Urform zu Umgestaltungen im Körperbau, sodass Rankenfüßer und Ruderfüßer sich in ihrem Erscheinungsbild erheblich unterscheiden. Vergleicht man Rankenfüßer und Ruderfüßer mit anderen Krebsen, so ist anzunehmen, dass die beobachtete Divergenz im Wesentlichen auf die starke evolutive Veränderung der Rankenfüßer zurückzuführen ist.
- ④ Untersuchen und begründen Sie, ob die Schwingkölbchen der Fliegen zu den Hinterflügeln der Schmetterlinge homolog sind.
- Anwendung des Lagekriteriums: Schwingkölbchen und Hinterflügel haben die selbe Lage, Sie sitzen an der Rückenseite des 3. Brustsegments und sind gleichartig gebaut. Sowohl die Flügel als auch die Schwingkölbchen sind Hautausstülpungen. Das Tagpfauenauge trägt wie alle Schmetterlinge zusätzlich Schuppen auf den Flügeln. Die Organe sind also homolog.

Hypophysenhinterlappen-Hormone (Seite 261)

- ① Vergleichen Sie die Aminosäuresequenzen in Abb. 1, und gliedern Sie die Hormone in Gruppen. Versuchen Sie, eine mögliche Entwicklungsreihe dieser Hormone aufzustellen, und begründen Sie Ihre Meinung.
- 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. Die zur Verfügung stehenden Daten genügen zur Ermittlung einer Entwicklungsreihe nicht, sondern man kann mehrere Hypothesen aufstellen (siehe Abbildung a).
- ② Erstellen Sie aufgrund dieser Entwicklungsreihe und mithilfe von Abb. 2 eine hypothetische Entwicklungsreihe der Wirbeltiere.
- siehe Abbildung



Befunde aus der Genetik (Seite 262)

- ① „Das Beispiel *Drosophila* zeigt, dass biologische Vielfalt nicht eine Vielfalt an genetischen Informationen voraussetzt, sondern durch Kombination relativ weniger Informationen entstehen kann“. Nehmen Sie zu dieser Aussage Stellung.
 - *Entwicklungssteuernde Gene beeinflussen die Gestaltbildung eines Lebewesens. Wie das Beispiel *Drosophila* zeigt, genügt bereits die Mutation eines Gens zur Auslösung schwerwiegender Veränderungen (z.B. zusätzliches Flügelpaar). Die Vorstellung, das Erbgut enthalte ein mosaikartiges Bild des gesamten Lebewesens bzw. sei sein kompletter Bauplan, ist naiv. Das Erbgut scheint eher Informationen zu enthalten, wie während der Embryonalentwicklung Baupläne zu entwickeln und zu realisieren sind. Durch das Zusammenwirken relativ weniger entwicklungssteuernder Gene kann es zu raschen und starken Veränderungen kommen. Die Aussage der Aufgabe 1 ist korrekt.*
- ② Genfamilien wurden nicht nur bei den oben beschriebenen Hormonen gefunden, sondern auch bei zahlreichen anderen Merkmalen. Inwiefern sind Genfamilien ein Beleg für gemeinsame Abstammung?
 - *Genfamilien sind ein weiterer Beleg für gemeinsame Abstammung, da sie bei den verschiedensten Merkmalen und den verschiedensten Arten von Lebewesen auftreten. Sie zeigen ähnlich wie die entwicklungssteuernden Gene, dass schon minimale Erbänderungen die Funktion eines Genprodukts deutlich verändern können. Die Bildung von Genfamilien scheint ein bewährtes Evolutionsprinzip zu sein.*
- ③ Bestimmte entwicklungssteuernde Gene von *Drosophila* weisen eine bestimmte DNA-Sequenz auf, die man als Homöobox bezeichnet. Sie codiert einen Proteinabschnitt von 60 Aminosäuren (Homöodomäne), den es in größeren Proteinen gibt. Diese Proteine sind Transkriptionsfaktoren, die an bestimmte DNA-Sequenzen binden können. Neuere Forschungen haben gezeigt, dass die Homöobox außer bei Insekten auch beim Menschen, bei Hefepilzen, Zebrafischen, Mais und bei Fadenwürmern vorkommt. Diese DNA-Abschnitte sind bei den verschiedenen Lebewesen sehr ähnlich, beispielsweise unterscheiden sich die entsprechenden Gene bei Mensch und *Drosophila* nur in einem Basentriplett. Welche Schlussfolgerungen kann man aus den beschriebenen Fakten ziehen?
 - *Man kann im Allgemeinen davon ausgehen, dass DNA und Proteine sich bei verschiedenen Arten um so stärker unterscheiden, je länger die Entwicklung dieser Arten getrennt verlaufen ist. (vgl. Schülerbuch Seite 260/261) Bei ihnen sind selbst innerhalb niederer systematischer Kategorien die Unterschiede so groß, dass Abstufungen feststellbar sind. Die Ähnlichkeit Mensch/*Drosophila* ist ein weiteres Indiz für eine gemeinsame Abstammung aller Lebewesen. Man kann davon ausgehen, dass deren Entwicklung seit mindestens 1 Mrd. Jahre getrennt verläuft.*

Material: Befunde aus der Cytologie (Seite 263)

- ① Warum ist gerade das Vorkommen des 9+2-Musters bei den verschiedenen Gruppen von Eukaryoten ein für die Evolutionstheorie wesentlicher Sachverhalt.
 - *Die stammesgeschichtliche Entwicklung der verschiedenen Reiche bzw. Stämme der Eukaryoten verläuft seit mindestens 1 Mrd. Jahre getrennt. Nur Merkmale, die bei den letzten gemeinsamen Vorfahren der Eukaryoten bereits vorhanden waren, können bei den verschiedensten Gruppen von Eukaryoten heute noch festgestellt werden. Merkmale wie das 9+2-Muster sind somit ein Beleg für eine gemeinsame Wurzel aller Eukaryoten.*
- ② Die meisten Samenpflanzen weisen keine Spermatozoide auf. Wie erfolgt bei ihnen die geschlechtliche Fortpflanzung? Vergleichen Sie mit Moosen und Farnen.
 - *Moose und Farne sind bei ihrer Entwicklung zumindest zeitweise auf das Wasser angewiesen, da die Spermatozoide nur in feuchtem Milieu beweglich sind. Ihr Vorkommen ist daher auf entsprechende Biotope beschränkt. Samenpflanzen sind in ihrer Vermehrung vom Wasser unabhängig, können daher auch trockenere Biotope besiedeln.*
- ③ Vergleichen Sie die Strukturformeln des Cardiolipins und des Cholesterols. An welchen Merkmalen kann man erkennen, dass beide Stoffe zu verschiedenen Stoffgruppen gehören?
 - *Der Formelausschnitt des Cardiolipins zeigt Glycerin (Propantriol), das mit 2 Phosphorsäureresten verestert ist. Cholesterol weist das typische mehrkernige Ringsystem der Steroide auf. Es ist weder Glycerin noch Phosphorsäure gebunden. (Aufgrund der deutlichen Strukturunterschiede sollte auch für chemisch wenig vorgebildete Schüler erkennbar sein, dass beide Stoffe zu verschiedenen Gruppen organischer Verbindungen gehören.)*

- ④ Das Vorkommen dieser beiden Lipide ist ein wichtiger Beleg für die Endosymbionten-Hypothese. Informieren Sie sich über diese Hypothese und erläutern Sie die Bedeutung des Vorkommens von Cardiolipin bzw. Cholesterol für diese Hypothese.
- *Die Endosymbionten-Hypothese ist auf Seite 296/297 des Schülerbandes beschrieben. Das Vorkommen von Cardiolipin bzw. Cholesterol ist eine wesentliche Stütze für diese Hypothese. Cardiolipin ist vermutlich schon bei den Prokaryoten, die sich durch Endosymbiose zu Mitochondrien weiterentwickelten, als Membranlipid vorhanden gewesen. Cholesterol, das in der äußeren Mitochondrienmembran vorliegt, ist trotz seines Vorkommens in der gleichen Zellorganelle chemisch völlig verschieden gebaut.*
- ⑤ In der sogenannten Fünf-Reiche-Theorie bilden die Prokaryoten ein eigenständiges Reich. Scheint Ihnen dies aufgrund der hier beschriebenen Fakten gerechtfertigt? Begründen Sie.
- *Die Fünf-Reiche-Theorie gilt heute als weitgehend akzeptierte Gliederung der Lebewesen. Sie ist auch die Grundlagen für das Kapitel „Das natürliche System der Lebewesen“. Die Prokaryoten werden zu einem eigenen Reich zusammengefasst, weil sie sich in einer Reihe grundlegender Merkmale von allen anderen Lebewesen unterscheiden:*
 - *Sie haben keinen Zellkern.*
 - *Sie weisen keine Chromosomen auf.*
 - *Organellen mit einer oder zwei Membranen fehlen.*
 - *Ihre Ribosomen unterscheiden sich von denen der Eukaryoten.*
 - *Das 9+2-Muster der Geißeln bzw. Wimpern tritt nur bei Eukaryoten auf.*
 - *Sie kommen nur als Einzeller oder Zellkolonie vor, niemals als Vielzeller).*
- ⑥ Kann aufgrund der beschriebenen Fakten als gesichert gelten, dass
- alle Lebewesen
 - Pflanzen und Tiere
- von gemeinsamen Vorfahren abstammen? Begründen Sie.
- *Alle Lebewesen (einschließlich der Prokaryoten) weisen einige gemeinsame Merkmale auf:*
 - *Sie bestehen alle aus Zellen, dabei unterscheidet man zwischen der kernlosen Procyte bei den Prokaryoten und der kernhaltigen Eucyte bei den Eukaryoten.*
 - *DNA ist stets der stoffliche Träger der Erbinformation.*
 - *Der genetische Code ist bei den meisten Lebewesen gleich.*
 - *Grundlegend wichtige Stoffwechselwege laufen bei allen Lebewesen gleichartig ab.*
- Auch Pflanzen und Tiere weisen Gemeinsamkeiten auf:*
- *Sie sind aus Zellen aufgebaut.*
 - *Sie haben einen Zellkern mit Chromosomen.*
 - *Sie weisen Zellorganellen mit einer oder zwei Membranen auf.*
 - *Die Ribosomen ähneln sich.*
 - *Die Spermatozoide haben dasselbe 9+2-Muster.*
 - *Die Elementarmembran ist gleichartig aufgebaut.*

Fossilisation (Seite 264)

- ① Warum war es für die Menschen des 18. Jahrhunderts schwer vorstellbar, dass in Eislebens Reste von Meerestieren gefunden werden konnten?
- *Eisleben liegt über 300km von der Ostsee bzw. Nordsee entfernt. Überflutungen scheinen als Ursache für das Vorkommen mariner Lebewesen damit aus. Großräumige Veränderungen in der Verteilung von Land und Meer im Laufe der Erdgeschichte waren damals noch unbekannt.*

Fossilien aus Holzmaden (Seite 265)

- ① Erklären Sie das Fehlen bodenlebender Tiere im Ölschiefer.
- *Im Ölschiefermeer war die Bodenschicht wegen des Sauerstoffmangels lebensfeindlich. Außerdem entstanden als Folge des Sauerstoffmangels giftige Faulgase wie Schwefelwasserstoff.*
- ② Beschreiben Sie den Prozess und die Phasen der Eutrophierung in einem Voralpensee und vergleichen Sie diese mit den Vorgängen im Ölschiefermeer.
- *Im Jugendstadium sind Voralpenseen oligotroph, ihr Wasser ist klar, arm an Nährstoffen und reich an Sauerstoff. Nährstoffe, die in den See gelangen erhöhen die Produktion. Die Lebensgemeinschaft wird arten- und individuenreicher, der See ist mesotroph. Der See wird flacher und erwärmt sich schneller. Er eutrophiert.*

Eutrophe Seen haben eine ausgeprägte Schichtung. In der obersten Wasserschicht, der Nährschicht, gibt es genügend Sauerstoff. Die Zehrschicht liegt im Dunkel, sie verarmt an Sauerstoff. Der Abbau des zu Boden sinkenden organischen Materials zehrt am Sauerstoffvorrat des Tiefenwassers, im Sediment nimmt der Sauerstoffgehalt ab. Sauerstoffbedürftige Organismen sterben, es bildet sich eine Schicht aus organischen Sedimenten. Sie beginnt zu faulen, anaerobe Bakterien bilden Methan, Schwefelwasserstoff, Ammoniak und Schwefelkohlenstoff. Diese Faulgase sind für andere Organismen tödlich. Der See „kippt um“, seine Lebensgemeinschaft stirbt. Im Ölschiefermeer dürften sich ganz ähnliche Vorgänge abgespielt haben. Als Ursachen der Eutrophierung standen klimatische Faktoren wie Wärme und Windstille im Vordergrund.

Methoden der Altersbestimmung (Seite 267)

- ① Warum ist die oben beschriebene Radiokarbonmethode zur Datierung vieler Fossilfunde ungeeignet?
 - *Wegen der kurzen Halbwertszeit können mit der Radiokarbonmethode nur sehr junge Fossilien datiert werden, brauchbare Ergebnisse erzielt man bis zu etwa 50 000 bis 60 000 Jahren vor heute, das entspricht etwa der zehnfachen Halbwertszeit.*
- ② Zeigen Sie am unten stehenden Schichtprofil, wie die Fossilien datiert werden.
 - *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.*
- ③ Die Kalium-Argon-Methode kann bei unkritischer Anwendung zu fehlerhaften Ergebnissen führen. Welche geologischen Vorgänge beeinträchtigen die Zuverlässigkeit dieser Methode?
 - *Um mit der Kalium-Argon-Methode korrekt zu datieren, muss die Menge des ^{40}K und des ^{40}Ar bestimmt werden. Da Argon ein Gas ist, kann es durch Risse im Gestein entweichen. Für die Datierung sind nur intakte Kristalle geeignet. Bewegungen, die zu Brüchen im Gestein führen (Erdbeben), beeinträchtigen die Zuverlässigkeit der Methode.*

Material: Archaeopteryx – Rätselsaurier oder Urvogel? (Seite 269)

- ① Welche Gründe sprechen für die Annahme, Archaeopteryx sei ein schlechter Flieger gewesen.
 - *Der makroskopische Bau der Archaeopteryxfeder gleicht der Schwungfeder der flugfähigen Rallenart, hat aber keine Ähnlichkeit mit der Schwungfeder der flugunfähigen Rallenart. Der mikroskopische Bau bestätigt diese Beobachtung. Archaeopteryx besaß also Federn, die das Fliegen ermöglichten. Die Federn der flugunfähigen Art sind offensichtlich zurückgebildet, ihre geringe Festigkeit macht sie zum Fliegen ungeeignet. Regulation der Körpertemperatur und Bildung einer waserabstoßenden Oberfläche sind noch möglich.*
- ② Leben Sie eine Tabelle an, die Vogel- und Reptilienmerkmale von Archaeopteryx gegenüberstellt.

Vogelmerkmale	Reptilienmerkmale
Federn	kegelförmige Zähne
Flügel	lange Schwanzwirbelsäule mit 20 freien Wirbeln
Fuß mit Laufknochen	Knochen sind nicht hohl
4 Zehen, eine nach hinten gerichtet	freie Finger mit Krallen
Schlüsselbeine zum Gabelbein verschmolzen	kein Brustbeinkamm

- ③ Sind Vogelfedern und Schuppen homologe Strukturen? Begründen Sie Ihre Aussage.
 - *Federn und Schuppen sind mit hoher Wahrscheinlichkeit homologe Strukturen. Das „Kriterium der Lage“, das „Kriterium der spezifischen Qualität“ und das „Kriterium der Stetigkeit“ scheinen für die Embryonalformen erfüllt zu sein.*

- ④ Stellen Sie eine Hypothese auf, welche Selektionsfaktoren die Entwicklung der Federn begünstigen.
- *Schuppen bzw. Federn weisen eine hydrophobe Oberfläche auf, sind also ein guter Schutz gegen Feuchtigkeit. Dazu scheint eine massive Schuppe nicht nötig zu sein. Es genügt eine leichtere Feder (weniger Material). Ein Selektionsdruck zur Einsparung von Material, zur Verminderung des Gewichts und zur Reduzierung des Energieaufwands könnte diese Entwicklung bewirkt haben.*
- ⑤ Zeigen Sie, wie das Prinzip der „Doppelfunktion“ den Funktionswandel eines Organs in der Evolution erklären kann.
- *„Es gibt keine Evolution, bei der ein Wandel nach dem Motto ‚Wegen Umbau geschlossen‘ abläuft. Vielmehr findet der Wandel bei laufendem Motor statt.“ (ERNST MAYR)*
Ändert ein Organ im Laufe der Stammesgeschichte seine Funktion, so muss dies allmählich geschehen sein und zwar über das Stadium einer Doppelfunktion: Das Organ hatte während einer langen Pause beide Funktionen, die ursprüngliche und die neue. Manchmal ging die alte Funktion verloren, oft wird sie zusätzlich zur neuen beibehalten. Das Federkleid der Vögel hat bis heute diese Doppelfunktion: Daunen dienen dem Wärmehaushalt, Schwungfedern dem Flug und Deckfedern dem Schutz. Sie sind aber auch für die Wärmeisolierung und die Flugfähigkeit von Bedeutung.
- ⑥ Vergleichen Sie Merkmale von Compsognathus und Pteranodon mit den entsprechenden Merkmalen von Archaeopteryx bzw. heute lebenden Vögeln. Welche Deutungen lässt der Vergleich zu?
- *Compsognathus ähnelt bis auf das fehlende Gabelbein und die fehlenden Federn dem Archaeopteryx erstaunlich. Da auch Alter und Vorkommen mit Archaeopteryx übereinstimmen, könnte Compsognathus oder ein ähnlicher Dinosaurier Vorfahre der heutigen Vögel sein. Pteranodon ist viel jünger als Archaeopteryx, scheidet also schon deshalb als Vorfahre aus. Der Bau seiner Vorderextremitäten weicht völlig von dem des Archaeopteryx ab. Statt Federn weist er eine Flughaut auf. Seine weiteren Merkmale sind Anpassungen an das Fliegen als hauptsächliche Fortbewegungsweise. Sie sind als konvergente Entwicklungen zu entsprechenden Merkmalen der Vögel zu erklären.*
- ⑦ Lassen Sie die auf dieser Seite beschriebenen Fakten und Abb. 5 eine Klärung des Problems „Archaeopteryx – Rätselsaurier oder Urvogel“ zu? Begründen Sie.
- *Das Problem „Archaeopteryx – Rätselsaurier oder Urvogel“ ist nicht eindeutig zu klären. Einerseits überwiegt bei Archaeopteryx insgesamt die Zahl der Reptilienmerkmale, andererseits weist der mit Gabelbein und Federn zwei wesentliche Merkmale der Vögel auf. Seine Zuordnung zu einer der beiden Tiergruppen ist nach dem heutigen Stand der Erkenntnisse also eine Ermessensfrage.*

3 Evolutionsfaktoren – Motoren der Evolution

Variation und Rekombination (Seite 270)

- ① Beschreiben Sie die Vorgänge bei Befruchtung und Meiose.
- *Die Meiose ist der Vorgang, bei dem sich ein Zellkern teilt, um vier Tochterkerne zu bilden, von denen jeder die halbe Chromosomenzahl hat wie der Mutterkern. Auf eine Verdoppelung der Erbsubstanz folgen zwei Teilungen. Dadurch wird die Chromosomenzahl vom diploiden (2n) zum haploiden (n) Satz reduziert. Bei Mensch und Tier erfolgt diese Halbierung des Chromosomensatzes bei der Bildung von Ei- und Samenzellen. Bei der Befruchtung verschmelzen die Kerne von Samen- und Eizelle miteinander. Die befruchtete Eizelle hat einen diploiden Chromosomensatz.*
- ② ROBERT VRIJENHOEK untersuchte zwei Elritzen-Populationen, von denen sich die eine ungeschlechtlich, die andere geschlechtlich fortpflanzt. Bei 40% der Fische konnte er einen Parasitenbefall nachweisen, dabei waren vor allem diejenigen Fische infiziert, die sich asexuell fortpflanzten. Versuchen Sie die Beobachtungen VRIJENHOEKS zu erklären.
- *Nach der „Theorie der Roten Königin“ hat die sexuelle Fortpflanzung die Aufgaben, die Individuen einer Art unterschiedlich zu machen und schnell zu verändern, damit diese gegen den Angriff von Parasiten gewappnet sind. (Denken Sie daran: Mehr als die Hälfte aller Tiere lebt parasitisch!) Populationen von Lebewesen, die sich asexuell (vegetativ) fortpflanzen, variieren nur wenig. Die Kinder sind Kopien der Eltern (Klone). Arten, die sich geschlechtlich fortpflanzen, bringen durch Rekombination des Erbguts in jeder Generation neue Varianten hervor. Die Parasiten können sich nie perfekt anpassen, weil die Tiere einer Population unterschiedliche Verhaltensweisen, andere Abwehrstrategien sowie ein individuelles Immunsystem haben.*

- ③ Die „Red-Queen-Hypothese“ hat ihren Namen von einer Episode aus dem Buch „Alice im Wunderland“. Sie sagt: Eine Art, die aufhört, sich zu verändern, ist zum Aussterben verurteilt.
- Wie erklärt die „Red-Queen-Hypothese“ die Befunde VRIJENHOEKS?
 - Suchen Sie Argumente, die diese Hypothese stützen oder widerlegen.
- a) *Nur Arten, die in der Lage sind, sich ebenso schnell zu verändern wie ihre Gegenspieler, können sich gegen diese behaupten. So kann eine Art nur durch fortwährenden evolutionären Wandel im Gleichgewicht mit „ihren“ Parasiten leben. Im Bild der „Red-Queen-Hypothese“ rennt der Parasit dem Wirt hinterher. Bleibt der Wirt stehen (z.B. durch asexuelle Fortpflanzung), so wird er den Wettlauf verlieren. Nur wenn er ebenso schnell läuft wie der Parasit (durch Evolution) bleibt das Gleichgewicht zwischen Wirt und Parasit erhalten.*
- b) *Argumente für die Hypothese:*
- *Der Versuch VRIJENHOEKS, dessen Deutung durch viele ähnliche Versuche gestützt wird.*
 - *Die Tatsache, dass fast alle Lebewesen Mechanismen zur Neukombination des Erbmateri- als entwickelt haben: Eukaryoten pflanzen sich bis auf wenige Ausnahmen asexuell fort, bei Prokaryoten führen parasexuelle Vorgänge (Transformation Seite 58, Konjugation und Transduktion Seite 106) zur Rekombination. Selbst Viren kombinieren ihr Erbgut immer wieder neu.*
 - *Der MHC bei Menschen (Seite 233), der der Unterscheidung zwischen eigenen und fremden Molekülen im Körper und damit der Unterscheidung von eigen und fremd dient, ist besonders variabel.*
 - *Menschen und Tiere bevorzugen im Allgemeinen bei der Sexualität Partner mit fremden Allelen (Vermeidung von Inzucht, Seite 352).*
- Argumente gegen die Hypothese:*
- *Die Rote Königin ist überall: Neben dem Wettlauf zwischen Wirt und Parasit gibt es viele andere Wettläufe – zwischen Räuber und Beute, zwischen Konkurrenten, zwischen Geschwistern. Sie alle werden durch Sexualität entscheidend geprägt.*
 - *Es gibt Tiergruppen und Pflanzenarten, die sich nicht sexuell oder aber parthenogenetisch fortpflanzen, die sich offensichtlich gut entfalten.*
 - *Es gibt alternative Erklärungen für die Vorteile der Sexualität, z. B.: Bei der Meiose wird beschädigte DNA repariert; genetisch unterschiedliche Nachkommen konkurrieren nicht so stark miteinander wie identische Nachkommen.*

Mutationen (Seite 271)

- ① Untersuchen Sie mithilfe des genetischen Codes, welche Basentriplets beim Hämoglobin A die 6. Aminosäure in die DNA codieren können.
- *Normales Hämoglobin, Tripletts für Glutaminsäure*
- | | |
|---------------------|----------------------|
| <i>m-RNA Codons</i> | <i>DNA Tripletts</i> |
| 5' GAA 3' | 3' CTT 5' |
| GAG | CTC |
- ② Ermitteln Sie, welche und wie viele verschiedene Punktmutationen zu Sichelzellhämoglobin führen können.
- *Sichelzellhämoglobin, Tripletts für Valin:*
- | | |
|---------------------|----------------------|
| <i>m-RNA-Codons</i> | <i>DNA-Tripletts</i> |
| 5' GUA 3' | 3' CAT 5' |
| GUC | CAG |
| GUG | CAC |
| GUU | CAA |
- ③ Bei Drosophila tritt die Mutation, die braune Augen bewirkt, mit der Häufigkeit 3×10^{-5} auf. Die Generationsdauer beträgt 14 Tage.
- Innerhalb welcher Zeitspanne kann man, statistisch betrachtet, erwarten, dass das mutierte Gen in einer Population mit 1000 Individuen auftritt?
 - Ein Forscher fand das mutierte Gen in einer Population mit 400 Individuen schon nach 6 Wochen. Wie ist dies erklärbar?
- a) *1300 Jahre : 1000 = 1,3 Jahre*
- b) *Mutationen treten spontan auf. Der Zeitpunkt, an dem eine Mutation auftritt, ist nicht berechenbar. Eine Mutation kann deshalb vor der statistischen Wartezeit stattfinden.*

Selektion (Seite 273)

- ① Warum ist es bei sich ändernden Selektionsbedingungen für eine Art vorteilhaft, wenn Eltern viele Nachkommen haben?
 - *Mit einer großen Anzahl von Nachkommen entsteht auch eine große Vielfalt an Phänotypen. Bei veränderlichen Umwelt- und Selektionsbedingungen entstehen (statistisch betrachtet) in kürzerer Zeit auch solche Phänotypen, die an die neuen Verhältnisse besser angepasst sind als ihre Eltern. Der Anpassungsvorgang verläuft schneller.*
- ② Weshalb ist bei veränderlichem Selektionsdruck geschlechtliche Fortpflanzung günstiger als ungeschlechtliche?
 - *Bei geschlechtlicher Fortpflanzung ist infolge der genetischen Rekombination die geno- und phänotypische Vielfalt der Nachkommen wesentlich größer als bei ungeschlechtlicher Fortpflanzung. Unter einer großen Anzahl von Nachkommen treten häufiger Phänotypen auf, die an veränderte Selektionsbedingungen besser angepasst sind als ihre Eltern. Die Anpassung einer Population verläuft schneller. Möglicherweise ist bei sehr rasch wechselndem Selektionsdruck eine Anpassung, die das Aussterben einer Population verhindert, nur noch bei geschlechtlicher Fortpflanzung möglich.*
- ③ Diskutieren Sie die Bedeutung der Diploidie für evolutive Vorgänge.
 - *Diploidie bewirkt, dass in einer Population rezessive Allele im Genpool erhalten bleiben können, obwohl ihre Merkmale unter gegebenen Selektionsbedingungen nachteilig sind. Heterozygote haben keinen Selektionsnachteil. Unter veränderten Selektionsbedingungen können die Merkmale vorteilhaft sein. Das Vorhandensein dieser Allele bewirkt eine beschleunigte Anpassung der Population. Mutationen, die zu entsprechenden Allelen führen würden, sind jetzt nicht die Voraussetzung für die Anpassung. Diploidie ermöglicht die „genetische Reserve für alle Fälle“.*

Populationsgenetik (Seite 277)

- ① In einer Drosophilapopulation hat jedes hundertste Tier zinnoberrote Augen. Dieses Merkmal ist gegenüber normalen roten Augen rezessiv. Bestimmen Sie die Anzahl der heterozygoten Tiere in der Population mit 2000 Individuen. Welcher Anteil an Heterozygoten ist in der nächsten Generation zu erwarten? Begründen Sie.
 - *Allelfrequenz für zinnoberrote Augen: q
Allelfrequenz für normal rote Augen: p
 $q^2 = 1\% = 0,01$
 $q = \sqrt{q^2} = \sqrt{0,01} = 0,1$
 $p = 1 - q = 1 - 0,1 = 0,9$
Heterozygotenanteil: $2pq = 2 \times 0,9 \times 0,1 = 0,18 = 18\%$
Anzahl heterozygoter Individuen: $2000 \times 0,18 = 360$
In der nächsten Generation ist der Heterozygotenanteil ebenfalls bei 18%. Man darf davon ausgehen, dass kaum Änderungen in der Zusammensetzung des Genpools auftreten (große Population, kleiner Zeitraum).*

Praktikum: Modellspiel zur Wirkung der Selektion (Seite 278)

Hinweis: Je geringer die Beleuchtungsstärke ist, desto stärker wirken Tarnung und Selektion.

- ① Berechnen Sie die Allelfrequenzen des Melanismus- und Wildtypallels für alle simulierten Generationen.
 - *Anzahl heterozygoter Tiere: $H(Aa) = 2pq \times (\text{Gesamtzahl der Tiere})$
Anwendung auf die Startpopulation: $H(Aa) = 2pq \times 100$
Rel. Genotypfrequenz für den Genotyp aa : $q^2 = (\text{Anzahl helle Tiere})/100 = 50/100 = 0,5$
Rel. Allelfrequenz für a : $q = \sqrt{q^2} = 0,5 = 0,707$
Rel. Allelfrequenz für A : $p = 1 - q = 1 - 0,707 = 0,293$
Damit in P : $H(Aa) = 2 \times 0,707 \times 0,293 \times 100 = 41,4$ fi also 41 heterozygote Tiere.*

② Wie viele heterozygote Tiere waren in den einzelnen Generationen?

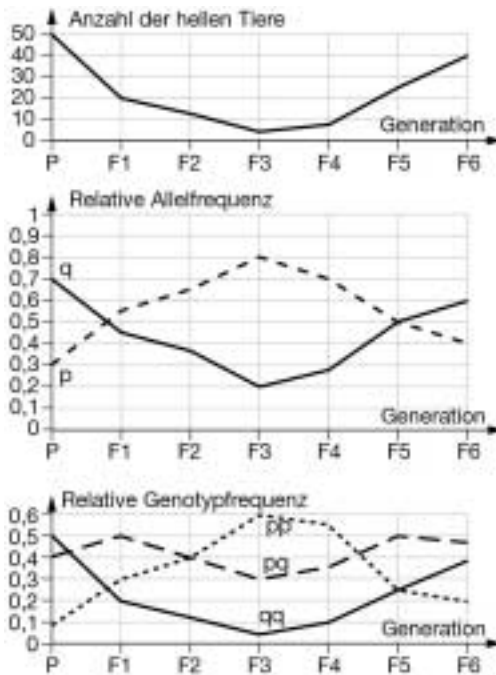
– Für das Tabellenbeispiel:

$F_1 : H(Aa) = 49,4$, $F_2 : H(Aa) = 45,3$, $F_3 : H(Aa) = 32,0$, $F_4 : H(Aa) = 40,6$, $F_5 : H(Aa) = 50,0$,
 $F_6 : H(Aa) = 48,0$

③ Zeichnen Sie jeweils ein Diagramm, das von der P-Generation bis zur F_6 -Generation den zeitlichen Verlauf folgender Größen zeigt:

- Die Anzahl der heterozygoten Tiere.
- Die relativen Allelfrequenzen der beiden untersuchten Allele.
- Die relativen Genotypfrequenzen der drei Genotypen.

– siehe Abbildung



④ Diskutieren Sie die erstellten Diagramme auf der Grundlage der Spielbedingungen.

– Abb. 1: Erst Zunahme, dann Abnahme des Heterozygotenanteils. Nach Wechsel der Selektionsbedingungen nimmt der Heterozygotenanteil wieder zu. Entsprechend den Selektionsbedingungen nimmt die relative Allelfrequenz q (Abb. 2) für a von der Startpopulation bis zur F_3 -Generation ab. Es werden von den Beutegreifern mehr helle als dunkle Tiere erbeutet. Ebenso nimmt die Häufigkeit des Genotyps aa ab und die der Genotypen AA bzw. Aa zu (Abb. 3). Nach Umkehr der Selektionsbedingungen werden von der F_3 bis zur F_6 Generation auf dem hellen Untergrund mehr dunkle Tiere erbeutet. Nun sinkt p und q steigt wieder an. Deutung der Häufigkeit des Genotyps Aa : Dieser Heterozygotenanteil wird durch das Produkt $2pq$ beschrieben. Es erreicht seinen Maximalwert bei $p = q = 0,5$. Der Vergleich der Abb. 1 und 2 zeigt, dass dies näherungsweise in den Generationen F_1 und F_5 erreicht wird.

Gendrift (Seite 279)

① Wie viele Einwohner des Pingelap-Archipels sind heterozygote Träger des Allels für Farbenblindheit?

– Genotypfrequenz: $q^2 = 0,05$

Allelfrequenz: $q = 0,224$, $p = 1 - q = 1 - 0,224 = 0,776$

Anteil Heterozygoter: $2pq = 2 \times 0,224 \times 0,776 = 0,348$

Anzahl Heterozygoter: $1600 \times 0,348 = 557$

- ② Auf einigen Inseln im Golf von Kalifornien findet man Seitenfleckengeleguane mit grüner Körperfärbung, die auf den hellgrauen Granitfelsen keine Schutzfärbung darstellt. Geben Sie eine evolutionsbiologische Erklärung.
- *Die Inseln wurden vermutlich durch kleine Gründerpopulationen besiedelt. Waren im Genpool dieser Populationen Allele für die auffällige Körperfärbung vorhanden, so ist anzunehmen, dass sich beim Populationswachstum durch Gendrift die relative Häufigkeit dieser Allele wesentlich erhöht hat. Möglich ist auch, dass durch Mutation neue Allele entstanden sind, deren Allelfrequenz in der kleinen Population driftete und groß wurde. Sofern durch das Fehlen von Fressfeinden eine Tarnfärbung keine Selektionsbedingungen bietet, ist die auffällige Körperfärbung praktisch selektionsneutral. Die Allele bleiben in der Population erhalten.*

Material: Variabilität von Merkmalen (Seite 280/281)

Seite 280

- ① Von welcher Fragestellung war der Forscher ausgegangen?
- *Die Fragestellung lautete: Hängt das Wachstum der jungen Pflanze von den Umweltbedingungen an dem jeweiligen Standort ab, oder ist es genetisch bestimmt.*
- ② Wie wurde diese Frage durch das Experiment beantwortet?
- *Das Wachstum wird offensichtlich durch die Umweltbedingungen beeinflusst: Die Pflanze im Gebirge erreicht eine kleinere Wuchshöhe, bildet jedoch eine kräftigere Wurzel.*
- ③ Ist der Löwenzahn eine stenöke oder euryöke Art? Begründen Sie.
- *Der Löwenzahn ist eine euryöke Art, da er auf unterschiedlichen Böden, in verschiedenen Höhenlagen und in verschiedenen Biotopen vorkommen kann.*
- ④ Interpretieren Sie diese Kurve. Derartige Kurven nennt man Gaus'sche Wahrscheinlichkeitskurven. Informieren Sie sich über die mathematischen Grundlagen dieser Kurven.
- *Trotz gleichen Erbgutes kann die Größe der Samen stark variieren. Samen mittlerer Größe sind am häufigsten. Je stärker die Größe vom Mittelwert abweicht, desto geringer ist der Anteil der Samen. In der nächsten Generation ergibt sich die gleiche Modifikationskurve unabhängig davon, ob man kleine oder große Samen für die Weiterzucht verwendet hatte (s. auch Schülerbuch Seite 98). Literaturhinweis für die mathematischen Grundlagen: EBENHÖH, W.: Mathematik für Biologen und Mediziner, Heidelberg 1975)*
- ⑤ Die Modifikationskurve lässt sich mit dem Galton'schen Brett experimentell veranschaulichen. Beschreiben Sie Durchführung und Auswertung des Versuchs.
- *Es gibt Galton-Bretter in verschiedenen Ausführungen. Deshalb ist keine Musterlösung möglich.*
- ⑥ Lässt man in getrennten Versuchen die kleinsten bzw. größten Bohnensamen auskeimen und sich fortpflanzen, so bilden deren Nachkommen alle gleich große Samen (s. Abb.2). Erklären Sie diese Beobachtung.
- *Die Unterschiede in der Größe sind nicht erblich bedingt, sondern beruhen auf Umwelteinflüssen. Das Erbgut schreibt eine bestimmte Reaktionsnorm vor, innerhalb der ein bestimmtes Merkmal variieren kann.*
- ⑦ Vergleichen Sie die Modifikationskurven von Abb.2 mit denen von Abb.3. Erläutern Sie Unterschiede und Gemeinsamkeiten. Gehen Sie dabei insbesondere auf deren Bedeutung für die Evolutionstheorie ein.
- *Die Modifikationskurven der Abb.3 beruhen nicht auf reinen Laborexperimenten, sondern das Material wurde dem Freiland entnommen und dann unter Laborbedingungen gezogen. Die untersuchten Populationen weisen genetisch identische Individuen auf. Die Kurven sind dem mathematischen Modell nicht so ähnlich, sie weisen beispielsweise Nebenmaxima auf. Unter dem Einfluss unterschiedlicher Selektionsbedingungen zeigt die Schafgarbe eine starke Variation der Wuchshöhe.*

Seite 281

- ① Welche Schlussfolgerungen können Sie aus dem Experiment ziehen?
- *Die Umweltbedingungen haben den Genpool in den verschiedenen Populationen dieser Art verändert. Beispielsweise zeigen die Variationskurven der Pflanzen vom Big Horn Lake und aus Mather keine Überschneidung mehr.*

- ② Welcher Zusammenhang zwischen der Höhe des Standorts der Pflanze und ihrer Variabilität wird erkennbar? Entwickeln Sie eine Hypothese zur Begründung.
- *Unter günstigen Lebensbedingungen im Tiefland ist die Variationsbreite größer als im Hochgebirge, wo härtere Selektionsbedingungen herrschen.*
- ③ Entwickeln Sie eine begründete Hypothese zur Erklärung der Beobachtungen.
- *In warmen Klimazonen ist der Anteil der Cyanid produzierenden Individuen höher als in kalten Klimazonen. In warmen Klimazonen ist es sehr unwahrscheinlich, dass die Zellmembranen des Klees geschädigt werden. Der Selektionsvorteil des Schutzes vor Fressfeinden überwiegt. In kühleren Gebieten steigt das Risiko der Selbstvergiftung stark an.*
- ④ Welche Beobachtungen würden Sie in den Alpen mit zunehmender Höhe erwarten? Vergleichen Sie Ihre Vermutung mit der Abb. 4b.
- *In den Alpen nimmt die Durchschnittstemperatur mit steigender Höhe ab. Somit ist zu erwarten, dass der Anteil Cyanid produzierender Pflanzen abnimmt. Die in Abb. 4b dargestellten Ergebnisse bestätigen diese Vermutung.*
- ⑤ Cyanidionen bilden sehr stabile Komplexverbindungen mit Eisen(II)-ionen. Welche Stoffwechselreaktionen könnten durch die cyanogenen Glykoside geschädigt werden?
- *Die Reaktionen der Endoxidation (Atmungskette) könnten betroffen sein, da die Cytochrome Fe^{2+} -Ionen enthalten (s. auch Aufgabe 5 auf Seite 27)*
- ⑥ Warum war es wichtig, das Futterangebot zu begrenzen?
- *Bei unbegrenztem Futterangebot wären die Populationen keinem Selektionsdruck ausgesetzt gewesen und beide Populationen hätten sich ungehindert vermehren können.*
- ⑦ Interpretieren Sie die Versuchsergebnisse.
- *In der Mischpopulation herrscht eine deutlich höhere Variabilität als in einer Lokalpopulation. Die Mischpopulation ist anpassungsfähiger und kann unter ungünstigen Lebensbedingungen eine größere Populationsdichte erreichen als eine Lokalpopulation. Bestätigt wird dies durch den in Abb. 5b abgebildeten Versuch: Die durch radioaktive Strahlen hervorgerufenen Mutationen führen zu einer höheren Variabilität und somit letztlich zu einer höheren Populationsdichte.*
- ⑧ Pflanzen zeigen oft ausgeklügelte Mechanismen zum Schutz vor Selbstbestäubung, bei Tieren gilt Entsprechendes zum Schutz vor Inzucht. Welche evolutionären Vorteile können Sie erkennen?
- *Fortpflanzung zwischen Individuen mit stark unterschiedlichem Erbgut führt zu Nachkommen mit hoher Variabilität und damit hoher Anpassungsfähigkeit.*
- ⑨ Ist die Variation genetisch bedingt (Hypothese 1) oder ökologisch bedingt (Hypothese 2)? Falls Hypothese 1 richtig sein sollte: Was könnten die Ursachen sein? Falls Hypothese 2 richtig sein sollte: Welche Umweltfaktoren könnten die ökologische Variation verursachen? Auf welche Entwicklungsstadien der Schmetterlinge könnten sie einwirken? Entwerfen Sie geeignete Versuche, mit denen die beschriebenen Hypothesen überprüft werden können.
- *Für Hypothese 1 wären mögliche Ursachen beispielsweise Gendrift (s. Seite 279) oder transformierende Selektion (s. Seite 273). Für Hypothese 2 könnten verschiedene Umweltfaktoren diskutiert werden.*
 - *Beispiel 1: Der deutliche Augenfleck auf dem Hinterflügel dient zur Abschreckung von Fressfeinden. Fehlt an bestimmten Standorten dieser Fressfeind, so bildet sich auch der Augenfleck nicht aus.*
 - *Beispiel 2: In dem Augenfleck werden bestimmte Farbstoffe, die das Tagpfauenauge aus seinen Nahrungspflanzen aufgenommen hat, abgelagert.*
- Die Entwicklungsstadien der Schmetterlinge sind Ei, Raupe, Puppe, Imago.*
- Überprüfung von Beispiel 1: Die Verbreitung von Tagpfauenaugen mit deutlichem Augenfleck wird mit der Verbreitung des potentiellen Fressfeindes verglichen.*
- Überprüfung von Beispiel 2: Raupen des Tagpfauenauges werden auf Futterpflanzen mit oder ohne den betreffenden Farbstoff gezogen. Falls von dieser Futterpflanze keine Sorten ohne diesen Farbstoff existieren, könnte man den Farbstoff radioaktiv markieren und überprüfen, ob man ihn tatsächlich in den Farbflecken wiederfindet.*

- ⑩ Werden in Laborversuchen die Puppen verschiedener Schmetterlingsarten für 2 Tage auf Temperaturen bis zu -10°C abgekühlt, so beobachtet man bei den geschlüpften Schmetterlingen vergleichbare Veränderungen der Flügelpigmentierung wie in Abbildung 6. Welche Schlussfolgerungen kann man aus diesem Experiment ziehen?
- Die Versuche lassen vermuten, dass die Temperatur eine Variation der Flügelfärbung verursacht. Somit wäre Hypothese 2 richtig.

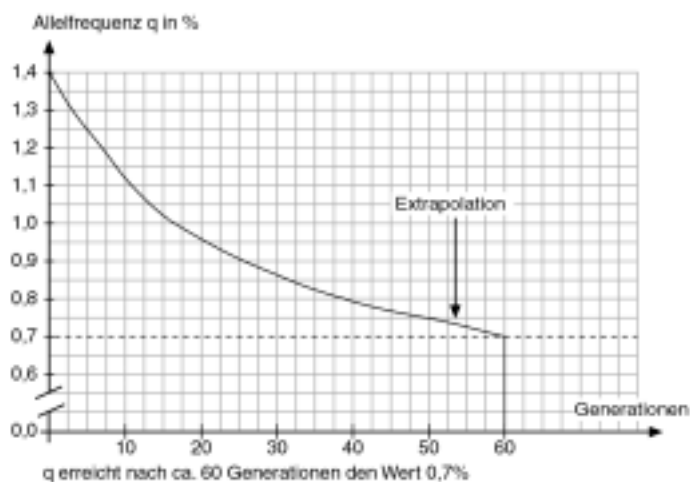
Materialien: Simulation von Evolutionsprozessen (Seite 282)

- ① Bestimmen Sie die Frequenzen 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 derselben Allelfrequenzen für eine weitere Population. Vergleichen Sie die beiden Abbildungen. Begründen Sie, welche Abbildung praktisch eine Idealpopulation beschreibt. In welcher Eigenschaft unterscheiden sich die beiden Populationen?
- 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.
- Ausgangsbedingungen:
Allelfrequenz Sichelzellallel: $q = 0,15$
Allelfrequenz Normalallel: $p = 1 - q = 0,85$
Genotypenfrequenzen: AA: $p^2 = 0,7225$; Aa: $2pq = 0,255$; aa: $q^2 = 0,025$
- ④ Diskutieren Sie für beide Diagramme den Kurvenverlauf.
- 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 Malariagebieten 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 10000 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: $0,00995 \times 10000 = 99,5$
Es sind 100 heterozygote Tiere in der Population zu erwarten.
Absolute Anzahl des Genotyps AA: $0,000025 \times 10000 = 0,25$
Es ist nicht zu erwarten, dass homozygote Tiere in der Population sind.
- ⑥ Abb. 5 zeigt den zeitlichen Verlauf der Genotypfrequenzen für den Fall, dass infolge von Luftverunreinigungen die Baumrinden dunkel gefärbt werden. Erklären Sie den Verlauf der Genotypfrequenzen, insbesondere Anstieg und Abnahme beim Typ 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 den 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 Kreuzungen weniger heterozygote. Das Maximum ist erreicht, wenn $p = q = 0,5$ ist.

- ⑦ Überlegen Sie, ob die Genotypen Aa und aa bei sehr großen Populationen unter den Selektionsbedingungen von Aufgabe 6 verschwinden können, wenn man Neumutationen ausschließt. Diskutieren Sie Ihr Ergebnis im Hinblick auf eine Umkehr der Selektionsbedingungen, wenn durch Umweltschutzmaßnahmen die Luftqualität verbessert und die Baumrinden wieder heller werden.
- Unter den herrschenden Selektionsbedingungen sind nur helle Tiere mit dem Genotyp aa benachteiligt. Daher ist zu erwarten, dass in großen Populationen stets ein gewisser Anteil heterozygoter Organismen existiert. Bei der Kreuzung dieser Tiere untereinander werden immer auch helle Nachkommen mit dem Genotyp aa entstehen. Die Genotypen Aa und aa werden also nicht völlig verschwinden. Bei einer Umkehr der Selektionsbedingungen, also der erneuten Hellfärbung der Baumstämme, ermöglicht das in der Population erhaltene rezessive Allel a , auf das die Selektion nicht direkt wirkt, die erneute Anpassung der Population an die veränderten Selektionsbedingungen.
- ⑧ Zeichnen Sie mithilfe der Tabelle ein Diagramm, das die Abnahme des krankheitsverursachenden Allels in Abhängigkeit der Zeit zeigt. Extrapolieren Sie bis zu dem Zeitpunkt, an dem die Allelfrequenz auf die Hälfte abgenommen hat.
- siehe Abbildung. Extrapolation des Verlaufs der Allelfrequenz bis $q = 0,7 \%$; Dauer ca. 60 Generationen.



- ⑨ Bestimmen Sie die Zeitspanne, in der die Allelfrequenz auf die Hälfte absinkt. Gehen Sie von 25 Jahren Generationszeit aus.
- Zeitspanne ca. $60 \times 25 \text{ Jahre} = 1500 \text{ Jahre}$
- ⑩ Diskutieren Sie Auswirkung und Wert der simulierten hypothetischen Maßnahme zur Senkung der Allelfrequenz.
- Diese Maßnahme wäre ziemlich wirkungslos, würde doch erst in ca. 1500 Jahren die Allelfrequenz auf die Hälfte sinken. Wägt man die Einschränkungen der persönlichen Freiheit von Merkmalsträgern gegenüber den Nachteilen für die Gesellschaft ab, so ist die vorgeschlagene Maßnahme nicht zu vertreten und abzulehnen.
- ⑪ Mukoviszidosekranke werden heute so behandelt, dass sie eine viel größere Lebenserwartung haben als früher. Erklären Sie, wie sich dies auf die Allelfrequenz auswirkt.
- Infolge der größeren Lebenserwartung ist die Anzahl der Nachkommen größer, die die Erkrankten haben. Demzufolge wird sich die Allelfrequenz erhöhen, allerdings nur sehr gering (s. Aufgabe 9).

Isolation und Artbildung (Seite 283)

- ① Was könnten die Faktoren dafür sein, dass sich mit Grün- und Grauspecht zwei Tochterarten aus einer Stammart entwickelt haben, bei den Krähen jedoch nur zwei Unterarten?
- *In der Trennungszeit sind in den Populationen der Spechte solche Genpooländerungen aufgetreten, die natürliche Kreuzungen bei der Wiederbegegnung der Teilpopulationen verhinderten, bei den Krähen nicht. Die spontan auftretenden Mutationen haben bei den getrennten Teilpopulationen der Spechte genetische Veränderungen bewirkt, die zur Artaufspaltung führten. Die Mutationen, die auch bei den Krähenpopulationen aufgetreten sind, müssen ja nicht analog zu denen der Spechtpopulationen gewesen sein. Weder ihre Anzahl noch ihre Auswirkungen müssen einander entsprechen. Auch die Trennungszeit muss nicht gleich groß gewesen sein. Möglicherweise konnten die Krähen zu Zeiten noch die sich entwickelnde Eisbarriere überwinden, als es für die Spechte bereits zu kalt war. Der Körper der Krähen ist größer und deshalb ist bei niedrigen Temperaturen ihr relativer Wärmeverlust geringer als bei den Spechten.*

Adaptive Radiation (Seite 285)

- ① Nennen Sie für jeder der genannten Möglichkeiten einer Radiation ein weiteres Beispiel.
- *Beispiele für ...*
 - *Besiedelung von Neuland: erste Landtiere, Besiedelung von Inseln, Besiedelung von Land nach einer Katastrophe (Vulkanausbruch, Eiszeit)*
 - *ökologischer Ersatz: Vögel und Flugsaurier, Bedecktsamer und Ginkgogewächse*
 - *Großnische: Fell oder Federkleid ermöglicht Leben in kalten Regionen, Beine ermöglichen Aufenthalt auf dem Festland, saugende Mundwerkzeuge ermöglichen Ernährung von Pflanzensäften*
 - *Koevolution: Blütenpflanzen und Blüten besuchende Insekten*
- ② „Die größten Schaufenster für das Wirken von Radiation sind Inselgruppen wie Galapagos oder Hawaii.“ Prüfen und begründen Sie diese Aussage.
- *Auf Inselgruppen leben (bzw. lebten vor der Besiedelung durch Menschen) überwiegend oder ausschließlich endemische Arten, die auf diesen Inselgruppen in relativ kurzer Zeit entstanden sind. Viele vulkanische Inselgruppen haben ein recht geringes Alter: Die Galapagos-Inseln entstanden vor 1 bis 5 Mio. Jahren, die kanarischen Inseln vor 1 bis 20 Mio. Jahren (vgl. Abb. 287.1).*
- ③ Im Gegensatz zur Pflanzenwelt ist die Tierwelt auf dem Galapagosarchipel artenarm. Erklären Sie diesen Gegensatz.
- *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.*
- ④ Die Finken des südamerikanischen Kontinents haben keine Radiation wie die Finken von Galapagos durchgemacht. Erklären Sie diesen Sachverhalt.
- *In Südamerika gibt es viele konkurrierende Arten (z.B. Insekten fressende Singvögel, Spechte). Es waren/sind keine entsprechenden ökologischen Lizenzen frei.*
- ⑤ Erklären Sie, warum sich die Schnabeltiefen der Grundfinkenarten unterscheiden, je nachdem, ob auf einer Insel eine oder zwei Arten leben (Abb. 2).
- *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.*

Beuteltiere Australiens (Seite 286)

- ① Die frühesten Beuteltier-Fossilien stammen aus dem heutigen Nordamerika. Stellen Sie Hypothesen auf, die erklären
 - a) wie die Beuteltiere Australien besiedeln konnten.
 - b) warum heute die meisten Beuteltierarten in Australien leben.
- a) *Zu Beginn des Tertiärs bildeten Südamerika, die Antarktis und Australien noch einen zusammenhängenden Kontinent. Die Beuteltiere konnten Australien über die Landbrücke der Antarktis besiedeln.*
- b) *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.*
- ② Es gibt weder „Beutel-Fledermäuse“ noch „Beutelwale“. Geben Sie eine mögliche Erklärung.
- *Fledermäuse konnten fliegend durch Australien gelangen. Dadurch war für die Beuteltiere keine entsprechende Lizenz frei. Wale konnten sich frei durch die Ozeane bewegen, es gab keinen vom Weltmeer isolierten Ozean. Außerdem wäre das Leben im Beutel eines Meerestieres schwierig.*

Material: Besiedelung von Inseln und Kontinenten (Seite 287)

- ① Welche Zusammenhänge bestehen zwischen der Verwandtschaft der Tiere und ihrer geographischen Verteilung.
- *Auf benachbarten Inseln leben Geckos der gleichen Art oder nahe verwandte Arten. Am engsten verwandt sind die Tiere von Spanien und Marokko, Ländern, die nur durch die schmale Straße von Gibraltar getrennt sind und die der eng benachbarten Inseln Fuerteventura und Lanzarote. Auf Madeira lebt trotz der größeren Entfernung dieselbe Art wie in Spanien – vielleicht wurde sie erst durch die Menschen dorthin gebracht. Hierro wurde offensichtlich vom weiter entfernten Gran Canaria besiedelt, nicht vom näheren La Gomera.*
- ② Welche Zusammenhänge bestehen zwischen dem Alter der Inseln und der Verteilung der Gecko-Arten.
- *Die Geckos der jüngeren, weiter westlich gelegenen Inseln sind mit den Geckos von Gran Canaria verwandt, sie sind wohl von dort auf die jüngeren Inseln gelangt. Auf den ganz jungen Inseln (La Palma, Hierro) war die Zeit der Separation für eine Artbildung nur kurz.*
- ③ Wie kann man feststellen, dass die Geckos von Hierro und Gran Canaria zur gleichen Art gehören, die von La Gomera dagegen nicht?
- *Am einfachsten in Gefangenschaft: Wenn sich Tiere fruchtbar miteinander paaren, zählt man sie zur gleichen Art, sonst durch Auswertung von Unterschieden in der Anatomie und im Verhalten.*
- ④ Wie könnten die Tiere auf die Kanarischen Inseln gelangt sein? Wie können sie von einer Insel zur anderen gelangen?
- *Auf natürlichen Flößen, z.B. Treibhölzern, evtl. auch erst durch den Menschen (Madeira).*
- ⑤ Rekonstruieren Sie nach den beiden Abbildungen die Radiation der Mauergeckos.
- *Die Stammform hat sich zunächst in zwei Hauptäste aufgespalten, von denen sich jeder wieder ein- bis zweimal gabelte, sodass 5 Arten von Mauergeckos entstanden, 4 dieser Arten bilden lokale Rassen.*
- ⑥ Auf jeder der Inseln lebt nur eine Art von Mauergeckos. Stellen Sie Hypothesen auf, die dies erklären! Welche Ihrer Hypothesen halten Sie für die überzeugendere?
- - 1) *Es ist jeweils nur eine Art auf jede Insel gelangt.*
 - 2) *Die Mauergeckos sind sich in ihren ökologischen Ansprüchen so ähnlich, dass zwei Arten nicht nebeneinander auf einer Insel leben können (Konkurrenzausschlussprinzip).*
 - 3) *Die Lebensräume auf den Inseln sind nicht unterschiedlich genug, dass die Geckos verschiedene Nischen bilden können.*

- ⑦ Madeira liegt weiter von Spanien entfernt als die kanarischen Inseln. Trotzdem gehören die Geckos Madeiras zur gleichen Art wie in Spanien und Marokko. Wie kann man dies erklären?
- 1) *Mauergeckos besiedelten Madeira erst spät von Spanien aus.*
 - 2) *Frühere einheimische Mauergeckoarten wurden verdrängt durch eine Geckoart, die aus Spanien kam.*
- ⑧ Beschreiben Sie nach Abb.1
- a) wie sich die Zahl der Säugetierfamilien in beiden Teilkontinenten entwickelte.
 - b) wie sich die Zusammensetzung der Faunen aus Tieren unterschiedlichen Ursprungs entwickelte.
- 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 Säugerfamilien aus Einwanderern (ursprünglich nordamerikanische Arten).*
- ⑨ Entwerfen Sie Hypothesen,
- warum die Zahl der Säugetierfamilien heute etwa gleich groß ist wie vor Bildung der Landbrücke.
 - warum es auf beiden Subkontinenten bald nach Ausbildung der Landbrücke mehr Säugetierfamilien gab als vorher und nachher.
 - warum in Südamerika zu allen Epochen mehr Säugetierfamilien Platz fanden als in Nordamerika.
 - warum sich mehr nordamerikanische Familien in Südamerika durchsetzen konnten als umgekehrt.
- *Hypothesen z. B.:*
- *Die Zahl der ökologischen Lizenzen/der Nischen ist recht konstant.*
 - *Säugetiere wanderten langsam ein. Während in unzugänglichen 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.*
- ⑩ Die frühesten Fossilfunde von Kamelen stammen aus dem frühen Tertiär Nordamerikas. Heute leben Kamele in Afrika (Dromedar), Asien (Trampeltier) und Südamerika (Vikunja und Guanako mit den Haustierformen Lama und Alpaka).
- a) Erklären Sie die geografische Verteilung der Kamele auf der Erde.
 - b) Wann sind die Kamele in Nordamerika ausgestorben? Geben Sie einen begründeten Schätzwert an!
- a) *Von Nordamerika aus sind frühe Kamele über Landbrücken in die übrigen Kontinente eingewandert – die Vorfahren von Dromedar und Trampeltier nach Eurasien und von dort nach Afrika, die Vorfahren von Vikunja und Guanako nach Südamerika, bevor sie in Nordamerika ausstarben.*
- b) *Vor weniger als 2 Millionen Jahren, nach Bildung der Landbrücke, sonst hätten Kamele nicht nach Südamerika gelangen können.*

Material: Koevolution (Seite 289)

Aufgaben 1–11 sind abhängig von Exkursionsort und Exkursionszeit.

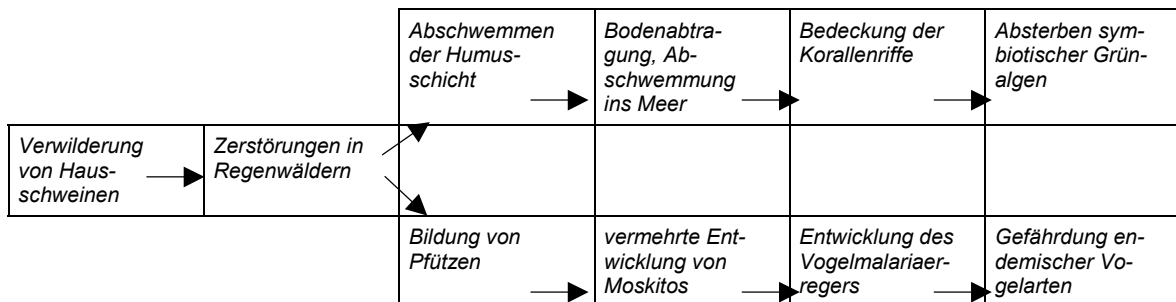
- ⑫ Überlegen Sie, welche Bedeutung die verschiedenen Blütenformen im Hinblick auf Insektenbesuche haben könnten und formulieren Sie Ihre Überlegungen.
- *Scheibenblumen sind robust, sie bieten Pollen und frei zugänglichen Nektar, werden von Käfern und vielen anderen Insekten besucht. Glockenblüten haben gut zugänglichen Nektar, der von Fliegen und kleinen Hautflüglern genutzt werden kann. Farnen-, Rachen- und Lippenblumen mit Landeplatz haben verborgenen Nektar, sie werden bevorzugt von Bienen und Schmetterlingen mit saugenden Mundwerkzeugen besucht und bestäubt. Röhrenblumen mit langen Röhren, häufig mit Landeplatz und locker pendelnden Staubgefäßen locken Schmetterlinge an: Röhrenblumen mit sehr langen Röhren ohne Landeplatz sind auf Nachtfalter spezialisiert, die im Flug saugen.*

- ⑬ Welche Bedeutung haben Bestäubung und Befruchtung für die Pflanze, welche für die bestäubenden Tiere?
- *Bestäubung und Befruchtung sind Voraussetzung für die Bildung von Samen und damit für die Fortpflanzung und Vermehrung der Pflanze, die bestäubenden Tiere finden während der Bestäubung ihre Nahrung (Nektar, Pollen).*
- ⑭ Welche Indizien könnten DARWIN zu der Behauptung geführt haben, dass ein Nachtfalter die Orchidee bestäubt?
- *Es würde dem Prinzip der Ökonomie (Seite 162) widersprechen, wenn die Pflanze nächtlichen Duft ohne Vorteil verbreiten würde. Außerdem haben Nachtfalter sehr lange Saugrüssel und brauchen keinen Landeplatz auf der Pflanze.*
- ⑮ Entkräften Sie den Einwand der Insektenforscher gegen DARWINS Behauptung.
- *Beides entstand gemeinsam durch Koevolution.*
- ⑯ Viele Bestäuber haben sich im Körperbau und ihrer Brutbiologie der Gestalt und dem Rhythmus einer Blütenpflanze angepasst. Welche Vorteile hat eine exakte gegenseitige Anpassung?
- *Vorteile der gegenseitigen Anpassung: Ein exakt angepasster Bestäuber wird immer Pflanzen der gleichen Art aufsuchen und diese zuverlässig zum passenden Zeitpunkt bestäuben. Dem Tier steht zur richtigen Zeit eine verlässliche Nahrungsquelle zur Verfügung.*
- ⑰ Welche Gefahren gehen von dieser exklusiven Anpassung aus?
- *Wenn sich die Umweltbedingungen so ändern, dass eine Art verschwindet, so wird auch die andere erlöschen.*
- ⑱ Zeigen Sie, wie die Orchidee durch den Rückgang der Regenwälder gefährdet wird.
- *Die Raupen des Schmetterlings leben auf einem Baum, der nur im Regenwald gedeiht. Stirbt der Wald, so verschwindet der Schmetterling. Wird die Orchidee nicht mehr bestäubt, kann sie sich nicht mehr fortpflanzen und ist zum Aussterben verurteilt.*
- ⑲ Suchen Sie nach weiteren Beispielen für die Koevolution zweier Gruppen von Lebewesen.
- *Beispiele für Koevolution: Winde und Windenschwärmer (Nachtfalter), Lärche und Lärchenröhrling (Röhrenpilz), Feige (Ficus carica) und Wespe (Blastophaga grossorum).*

Hawaii – endemische Arten in Gefahr (Seite 291)

- ① Endemische Arten findet man häufig auf Inseln. Beschreiben Sie die besonderen Verhältnisse, welche die Entstehung endemischer Arten begünstigen.
- *Die Besiedelung von Inseln gelingt nicht allen Arten, die auf dem Festland vertreten sind. Je weiter eine Insel vom Festland entfernt liegt, desto weniger Arten gelangen auf eine Insel. Vor allem bei der Erstbesiedelung einer Insel können sich Populationen ohne, oder nur unter geringer inner- und zwischenartlicher Konkurrenz entwickeln. Unbesetzte bzw. nicht ausgebildete ökologische Nischen ermöglichen das Einnischen und begünstigen die Prozesse der Artänderung und Artaufspaltung.*
- ② Begründen Sie, weshalb eingewanderte Festlandarten häufig den Bestand von Inselarten gefährden, jedoch der umgekehrte Fall praktisch nicht 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 vorherrschten.
- *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.*

- ④ Zeigen Sie am Beispiel der Tierwelt auf den hawaiischen Inseln den Zusammenhang zwischen Ökologie und Evolution auf.
- Die durch Vulkanismus entstandenen Hawaii-Inseln stellten neue Lebensräume dar, in denen zugewanderte Festlandarten, wie z.B. verschiedene Vogelarten, siedeln konnten. Diese Besiedelung neuer Lebensräume, mit den sich einstellenden Veränderungen der Populationsstärken, der Ausbildung von Nahrungsbeziehungen u.a. sind ökologische Vorgänge. Evolutive Vorgänge sind Anpassungen eingewanderter Arten an verschiedene ökologische Nischen und eine damit einhergehende genetische Isolation von Populationen. Als Folge der Einnischung sind neue Arten entstanden. Eingeschleppte Arten (z.B. Ziegen, Schweine) verändern die ökologischen Bedingungen in verschiedenen Lebensräumen. In der Folge kommt es zum Aussterben endemischer Arten, deren evolutive Weiterentwicklung dadurch unterbunden ist.
- ⑤ Stellen Sie als Pfeildiagramm die Ursache-Wirkungskette dar, die sich aus der Verwilderung der Hausschweine entwickelt hat.
- Kette von Ursache und Wirkungen:



Material: Evolution oder Kreation? (Seite 293)

- ① Wie unterscheidet sich die Interpretation der Schöpfungsgeschichte der Kreationisten von derjenigen der großen Kirchen?
- Kreationisten legen die Bibel wörtlich aus. Sie nehmen an, dass jedes Wort der Bibel unmittelbar von Gott inspiriert wurde. Die geoffenbarten Worte sind endgültige, nicht zu hinterfragende Wahrheiten. Die großen christlichen Kirchen dagegen gehen davon aus, dass in der Bibel Menschen ihre Erlebnisse mit Gott im Wissenshorizont ihrer Zeit schildern.
- ② Welches Menschenbild liegt den einzelnen Texten zugrunde?
- Naturwissenschaftler erschließen die Wirklichkeit durch Beobachtung und Experiment. Das Ziel naturwissenschaftlicher Erkenntnis ist das Erklären dieser Wirklichkeit, d.h. die Zurückführung von Sachverhalten auf kausale Gesetzmäßigkeiten. Das Menschenbild der Kirchen ist mit dem der Naturwissenschaft weitgehend vereinbar. Die Theologie erkennt, dass ihre Wahrheit eine andere ist, die von der naturwissenschaftlichen Erkenntnis nicht berührt wird. Sie handelt von der Beziehung zwischen Gott und Mensch und von deren Bedeutung für die Beziehungen der Menschen untereinander. Das Welt- und Menschenbild der Kreationisten beruht auf religiösen Dogmen, es ist statisch-unveränderlich, geo- und anthropozentrisch und lässt eine unabhängige wissenschaftliche Forschung nicht zu. So wie die Herkunft von Krankheiten und körperlichen Leiden aller Art mit dem Eingreifen eines zürnenden Gottes erklärt wird, so begründen sie die Herkunft der Lebewesen und ihrer Leistungen mit dem Eingreifen eines gütig und weise planenden Gottes.
- ③ Welche Faktoren könnten zur Entstehung der Darwin-Karikatur von 1871 geführt haben?
- DARWIN'S Aussagen zur Abstammung des Menschen passten nicht zum weithin akzeptierten Weltbild seiner Zeit.
- ④ „Alle Dinge reden von Gott zu denen, die ihn kennen und enthüllen ihn denen, die ihn lieben.“ Kann diese Aussage PASCALS (1623–1662) noch heute Motto eines Naturwissenschaftlers sein?
- Naturwissenschaftler treffen grundsätzliche Entscheidungen, die man auch „Glaubensentscheidungen“ nennen könnte. PASCAL hatte eine solche Entscheidung getroffen. Für ihn war Gott eine Realität. Diese grundsätzliche Entscheidung prägte nicht nur sein Privatleben, sondern auch sein wissenschaftliches Denken. Naturwissenschaftliches Arbeiten war für ihn und ist heute für Wissenschaftler dennoch möglich, wenn sie die Grenzen ihrer wissenschaftlichen Möglichkeiten kennen.

- ⑤ Was meint NEUKAMM, wenn er sagt, die Theorie des „Intelligent Design“ ginge von einem „Lückenbüsser-Gott“ aus?
- *Der „Lückenbüsser-Gott“ oder „god of gaps“ wird gebraucht, um diejenigen Fakten zu klären, die die Naturwissenschaft noch nicht befriedigend oder abschließend geklärt hat.*

4 Die Geschichte des Lebens

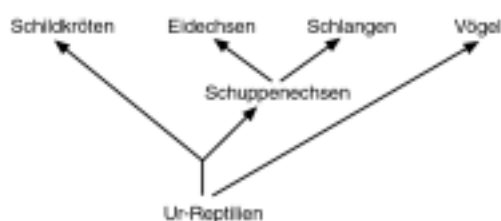
Pflanzen besiedeln das Land (Seite 299)

- ① Die Schuppenbäume wuchsen in feuchtem Klima. Ihre Blätter zeigen dagegen die typischen Bau-merkmale von Pflanzen trockener Standorte. Erklären Sie diesen Gegensatz.
- *Der Holzteil und damit das Wasserleitungssystem war bei den Schuppenbäumen nur schwach ausgeprägt. Deshalb war die Wasserversorgung der Baumkrone nicht vergleichbar mit der heutiger Bäume. Der xeromorphe Bau der Blätter ist als Anpassung an die schwache Ausbildung des Wasserleitsystems zu deuten.*
- ② Schuppenbäumen zeigen keine Jahresringe. Welche Aussagen über das Klima an ihrem Standort lassen sich daraus ableiten?
- *Das Fehlen von Jahresringen ist ein Anzeichen für ganzjährig gleichmäßiges Wachstum der Schuppenbäume. Wenn keine jahreszeitliche Schwankung des Holzzuwachses vorliegt, lässt dies auf gleichmäßige Temperaturen über das ganze Jahr schließen. Vergleichbares findet man heute bei Topenhölzern.*
- ③ Vergleicht man Schuppen- und Siegelbäumen mit heutigen Bäumen, so war die assimilierende Blattfläche sehr gering im Vergleich zur Stoffproduktion für den Aufbau des riesigen Pflanzenkörpers. Entwickeln Sie damit Hypothesen zu abiotischen Bedingungen im Karbon.
- *Die hohe Fotosyntheseleistung wurde erreicht durch ganzjähriges Wachstum ohne Winterruhe (siehe Aufgabe 2) bei im Vergleich zu heute höheren Durchschnittstemperaturen in Mitteleuropa sowie einer möglicherweise höheren CO₂-Konzentration in der Atmosphäre.*

Stammbäume – Ahnengalerien von Lebewesen (Seite 301)

- ① Abb. 1 zeigt einen Ausschnitt aus dem Stammbaum der Wirbeltiere. Welche Schlussfolgerungen können Sie aus dem Bild über die Verwandtschaft von Eidechsen, Schlangen, Schildkröten, Krokodilen und Vögeln ziehen? Begründen Sie Ihre Meinung.
- *Eidechsen und Schlangen weisen eine so enge Verwandtschaft auf, dass sie in der Ordnung Squamata (Schuppenechsen) zusammengefasst werden. Mit den Vögeln sind sie stammesgeschichtlich näher verwandt als mit den Schildkröten, da die letzten gemeinsamen Vorfahren von Schuppenechsen und Vögeln im Perm gelebt haben. Die letzten gemeinsamen Vorfahren von Schildkröten einerseits und Schuppenechsen und Vögeln andererseits haben dagegen schon im Karbon gelebt.*
- ② Vergleichen Sie Übereinstimmungen und Unterschiede im Körperbau der genannten Tiergruppen. Erstellen Sie daraus dann einen Stammbaum, in dem diese Tiergruppen nach dem Grad ihrer Ähnlichkeit angeordnet sind.
- *Eidechsen, Schlangen und Schildkröten weisen untereinander zahlreiche Übereinstimmungen im Körperbau auf, die sie klar von den Vögeln abtrennt, die trotz ihrer engen stammesgeschichtlichen Verwandtschaft mit den Schuppenechsen über eigenständige Merkmale (z.B. Federn, Homoithermie) verfügen.*

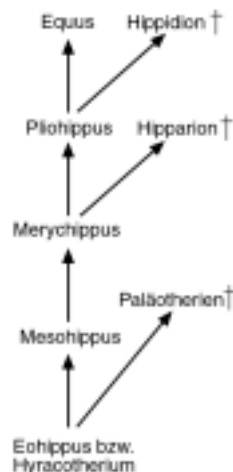
Möglicher Stammbaum:



- ③ Vergleichen Sie den von Ihnen aufgestellten Stammbaum mit dem in Abb. 1. Stellen Sie Gemeinsamkeiten und Unterschiede fest.
- Zwischen den beiden Stammbäumen besteht Übereinstimmung nur hinsichtlich der engen Verwandtschaft von Eidechsen und Schlangen. Der auf dem Körperbau beruhende Stammbaum stellt die Schildkröten näher zu den Schuppenechsen, der auf der stammesgeschichtlichen Entwicklung beruhende Stammbaum stellt dagegen die Vögel in die Nähe der Schuppenechsen.
- ④ Erörtern Sie Gründe, auf denen die Unterschiede zwischen den beiden Stammbäumen beruhen könnten.
- Die Aufspaltung der Schuppenechsen in Eidechsen und Schlangen ist offensichtlich erst vor so kurzer Zeit erfolgt, dass sich seither nur geringe Unterschiede im Körperbau entwickelt haben. Beide Stammbäume fassen deshalb übereinstimmend Schlangen und Eidechsen als Schuppenechsen zusammen. Vögel waren im Laufe ihrer Stammesgeschichte ganz anderen Selektionsfaktoren ausgesetzt als Reptilien. Die evolutiven Anpassungen sind bei ihnen mit viel höherer Geschwindigkeit und in eine ganz andere Richtung erfolgt als bei den Reptilien.

Material: Stammbaum der Pferde (Seite 302)

- ① Stellen Sie die im Text beschriebene Entwicklung der Pferde mithilfe eines selbst entworfenen Stammbaumschemas dar. Vergleichen Sie Ihren Entwurf mit geeigneten Literaturangaben.
- siehe Abbildung



Der Stammbaum-Vergleich ergibt, dass sich die Pferde-Stammbäume lediglich in ihrer Komplexität unterscheiden. Alle Stammbäume zeigen übereinstimmend, dass die Entwicklung der heutigen Gattung Equus nicht geradlinig verläuft, sondern zahlreiche Seitenlinien aufweist.

- ② In der Evolution der Pferde zeigen sich mehrere Entwicklungstendenzen. Beschreiben Sie diese und versuchen Sie, diese Tendenzen zu erklären.
- In der Evolution der Pferde sind folgende Entwicklungstendenzen erkennbar:
 - Zunahme der Körpergröße
 - Reduktion der Zahl der Zehen, Entstehung des Beinskeletts der Unpaarhufer
 - Übergang von Blättern zu Gräsern als Hauptnahrung
 Erklärungsversuche: Rückgang der Wälder und Ausbreitung weiterer Grasländer und Selektionsdruck hinsichtlich einer raschen Fortbewegung, da in den Grasländern kaum Versteckmöglichkeiten zum Schutz vor Feinden existieren.
- ③ „In einem Zeitraum von etwa 30 Mio. Jahren hatte sich, außer einer allgemeinen Größenzunahme und Reduktion der Zehen auf drei, relativ wenig am Aussehen der Pferde geändert.“ Wie kann man erklären, dass über eine derart lange Zeit in der Evolution der Pferde kaum Änderungen festzustellen sind?
- Während dieser 30 Mio. Jahre ist es nur zu geringen Änderungen der Umweltbedingungen gekommen. Die Pferde waren deshalb einer stabilisierenden Selektion ausgesetzt.

- ④ Welche Art von Nahrung hat man vermutlich im Verdauungstrakt dieser Urpferde gefunden?
- *Im Verdauungstrakt der Messeler Urpferde wurden vor allem Blätter gefunden. Vor 48 Mio. Jahren herrschten noch riesige Wälder vor, sodass Blätter als Nahrung reichlich zur Verfügung standen.*
- ⑤ Haben sich die Messeler Urpferde zu der heutigen Gattung Equus weiterentwickelt? Begründen Sie Ihre Meinung.
- *Die Messeler Urpferde sind keine direkten Vorfahren der heutigen Pferde. Ihr Alter und ihre Verbreitung lässt darauf schließen, dass sie zur Gruppe der Paläotherien gehörten, also einer in Europa vorkommenden Gruppe von Pferden, die vor ca. 35 Mio. Jahren ausstarben.*
- ⑥ „... Die Urpferdegattung Hyracotherium konnte in Europa in einem primitiveren Entwicklungsstadium und einem etwas tieferen biostratigraphischen Niveau auftreten als in Nordamerika. Innerhalb Europas scheinen die Einwanderer überdies früher aufzutreten als im Norden. Dies ist mit dem Vorrücken eines warmen Klimagürtels im untersten Eozän zu erklären.“ Welche Rückschlüsse auf die Evolution der frühen Pferde lässt dieses Zitat zu?
- *Hyracotherium ist in Europa entstanden und erst später nach Nordamerika eingewandert. Dies wird dadurch belegt, dass Hyracotherium in Europa früher auftritt („in einem etwas tieferen biostratigraphischen Niveau“) als in Nordamerika. Auch sind die älteren, europäischen Hyracotherien „primitiver“ als die jüngeren, nordamerikanischen. Die Tatsache, dass nördliche Gebiete erst spät besiedelt wurden, wird mit einer Klimaänderung erklärt. Ein warmer Klimagürtel ist allmählich nach Norden vorgerückt und ermöglichte so den Hyracotherien eine Besiedelung auch weiter nördlich gelegener Gebiete.*
- ⑦ Versuchen Sie, die hier beschriebenen Veränderungen zu erklären.
- *Durch die Angleichung der Prämolaren an die Molaren entsteht eine große, einheitliche Kaufläche, die die Zerkleinerung harter Nahrung ermöglicht.*
 - *Wenn die Zahnkronen höher werden, können sie einer höheren Belastung längere Zeit standhalten.*
 - *Durch die stärkere Faltenbildung entsteht eine raue Oberfläche, was die Zerkleinerung sehr harter Nahrung erleichtert.*
 - *Durch die raschere Abnutzung des weichen Zahnzements entsteht an der Oberfläche der Zähne eine stark gefurchte Struktur, durch die die Blätter sehr effektiv zerrieben werden können.*

Das Problem des Aussterbens (Seite 303)

- ① Vergleichen Sie die Zeitprofile verschiedener mariner Tiergruppen (s. Randspalte). Bei welchen Gruppen und zu welchen Zeiten ist Massensterben aufgetreten, bei welchen starke Artentfaltung?
- *Korallenpolypen: Sehr starke Artentfaltung im Paläozoikum. Massenaussterben zu Beginn des Mesozoikums, danach wieder vergleichsweise kontinuierliche Artentfaltung.*
 - *Muscheln: Zunächst starke, dann weniger intensive Artentfaltung im Paläozoikum. Weitere, kontinuierliche Artenzunahme bis in die Gegenwart.*
 - *Kopffüßer: Sehr starke Artentfaltung im Paläozoikum. Massenaussterben am Ende des Paläozoikums.*
 - *Trilobiten: Sehr starke Artentfaltung zu Beginn des Paläozoikum. Danach Massenaussterben in mehreren Schüben. Die Klasse stirbt am Ende des Paläozoikums aus.*
 - *Höhere Krebse und Seeigel: Starke Artentfaltung in Mesozoikum und Känozoikum.*
 - *Seelilien: Sehr starke Artentfaltung im Paläozoikum. Massenaussterben am Anfang des Mesozoikums.*
 - *Knorpelfische: Starke Artentfaltung vor allem im Mesozoikum.*
 - *Knochenfische: Starke Artentfaltung im Känozoikum.*
 - *Säugetiere: Artentfaltung im Känozoikum. (Sekundäre Besiedlung mariner Gewässer durch Säugetiere)*

5 Das natürliche System der Lebewesen

Das Reich der Tiere (Seite 311)

- ① Beschreiben Sie die Unterschiede zwischen Ur- und Neumündern und geben Sie an, wie sich das auf den Bauplan auswirkt.
- *Bei den Urmündern bleibt in der gesamten Entwicklung der Urmund der Gastrula erhalten. Dagegen wird bei den Neumündern der Urmund zum After und der Mund bricht auf der Gegenseite neu durch. Interpretiert man das so, dass der Urmund in dem einen Fall nach rechts, im anderen nach links verlagert wird, so gelangen die bei den Urmündern ventral liegenden Strukturen (Bauchmark) bei den Neumündern auf die dorsale Seite (Rückenmark) und umgekehrt (Beispiel Herz).*

6 Humanevolution

Mensch und Schimpanse – ein Vergleich (Seite 315)

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

	Schimpanse	Mensch
Wirbelsäule	c-förmig <i>Deutung:</i> tragende Bogen-Sehnen-Konstruktion	doppelt-S-förmig <i>Deutung:</i> aufrechter Gang
Becken	hoch, flach, schmal	breit, schaufelartig <i>Deutung:</i> Becken trägt die Eingeweide und den Fetus
Gliedmaßen	Arme länger als Beine; Klammerhand, Greiffuß; Beine angewinkelt <i>Deutung:</i> handelndes Klettern; Schwerpunkt unter der Standfläche	Beine länger als Arme; Daumen opponierbar; Beine gestreckt <i>Deutung:</i> Werkzeuggebrauch; Schwerpunkt über der Standfläche
Schädel	Hirnschädel flach, Überaugenwülste; Schnauze, fliehendes Kinn; Hinterhauptsloch hinter Schädelschwerpunkt <i>Deutung:</i> Hirnvolumen um 4000 cm ³ ; starke Nackenmuskulatur	Hirnschädel groß und gewölbt <i>Deutung:</i> Hirnvolumen 1400 cm ³ ; Kopf ausbalanciert
Gebiss	starke Eckzähne passen in „Affenlücke“; Zahnbogen U-förmig <i>Deutung:</i> Gebiss als Waffe	Eckzähne nicht größer; Zahnbogen V-förmig

DNA-Stammbäume (Seite 316)

- ① Erläutern Sie, auf welcher theoretischen Voraussetzung die Methode beruht, von den Unterschieden in der DNA-Sequenz auf Verwandtschaft und stammesgeschichtliche Zeiträume zu schließen.
- *Wenn man davon ausgeht, dass die Mutationsrate für die untersuchten DNA-Sequenzen auch über längere Zeiträume nahezu konstant war, sollten sich Mutationen mit der Zeit anhäufen und der Unterschied zur ursprünglichen DNA immer mehr zunehmen. Also ist der gemessene Unterschied zwischen zwei Arten ein relatives Maß für die Zeit, die seit der Aufspaltung aus ihrem gemeinsamen Vorfahren vergangen ist. Gelingt zum Beispiel über die Datierung von Fossilfunden eine zeitliche Zuordnung, kann ein konkreter Unterschiedswert einem Zeitraum zugeordnet werden.*
- ② Weshalb wird bei der DNA-Hybridisierung die nicht markierte DNA der Art B im Überschuss zugesetzt?
- *Auf diese Weise erreicht man, dass nach der Denaturierung die markierten Einzelstränge der Art A im Reaktionsgefäß praktisch nur auf die im Überschuss vorhandenen Einzelstränge der Art B treffen und bei Abkühlung mit diesen hybridisieren. Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass zwei markierte Einzelstränge der Art A wieder miteinander rekombinieren, ist unter diesen Bedingungen äußerst gering. Nach Abkühlung des Reaktionsgemisches sind deshalb praktisch nur die Hybrid-DNA-Moleküle radioaktiv. Sie können daher vom Rest des Reaktionsgemisches abgetrennt und der Bestimmung des Schmelzpunktes unterzogen werden.*

Material: Fossilfunde in Deutschland (Seite 322/323)

- ① Welche Rückschlüsse kann man aus diesen Funden auf die Umwelt und die Lebensweise des Steinheimer Menschen ziehen?
 - *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 präsapiens eingeordnet. Homo sapiens präsapiens ist wahrscheinlich ein gemeinsamer Vorfahre von Neandertaler und Jetztmensch.*
- ③ Wie könnte man die Öffnung der Schädelbasis deuten?
 - *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. Welche Gemeinsamkeiten und Unterschiede kann man feststellen?
 - *Der Unterkiefer des Heidelbergers ist robust gebaut und groß, das Kinn ist fliehend, das Gebiss weist keine Zahnlucke auf, der Eckzahn ist nicht auffällig groß. Beim Schimpansen steht der Unterkiefer deutlich weiter nach vorne, die Eckzähne sind auffällig groß, eine Zahnlucke 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 Zahnlucke fehlt. Die Kieferform ist parabolisch. Das Kinn ist deutlich vorstehend.*
- ⑤ Welche Schlussfolgerungen kann man daraus ziehen?
 - *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 Abbildung 1 zeigt eine Karte mit der Umwelt der Menschen von Bilzingsleben. Beschreiben Sie mithilfe dieser Abbildung die Umwelt und die Existenzgrundlage dieser Menschen. Was machte die Umgebung für die Menschen als Lebensraum interessant?
 - *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 Vergleichen Sie mit den Angaben zu den Lebensräumen anderer Hominiden. Erörtern Sie Unterschiede und Gemeinsamkeiten.
 - *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 Bilzingslebeners entspricht ein Wechsel von Trockenheit und Niederschlägen im Lebensraum der afrikanischen Hominiden.*
- ⑧ Rekonstruieren Sie aus der Karte und den Angaben im Text die Lebensbedingungen und die Lebensweise der Menschen von Bilzingsleben.
 - *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 Aussage-*

kraft 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, andere Teile unverändert zu belassen. Sie verzichten damit bewusst auf mögliche Funde. Welche Gründe könnten für dieses Vorgehen sprechen?

- 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 Zu welcher Gruppe von Hominiden kann man diesen Fund stellen? Welche Indizien sprechen für Ihre Zuordnung?

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

- ⑫ Ordnen Sie die auf dieser Seite beschriebenen Fossilien gemeinsam mit dem Neandertaler in eine Zeitleiste ein.

- Neandertal: 28 000 bis 220 000 Jahre; Ehringsdorf: 220 000 Jahre; Steinheim: 250 000 Jahre; Bilzingsleben: 300 000 Jahre; Mauer: 650 000 Jahre.

Material: Neandertaler – Bruder, Urahn oder Vetter? (Seite 326)

- 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 Anpasstheit 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 Africa“-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.*

Material: Die Verwandtschaft der heutigen Menschen (Seite 327)

- ① Analysieren Sie die Verteilung der Hautfarben 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, so dass 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.*
- ② Erläutern Sie mithilfe des Dendrogramms die verwandtschaftlichen Beziehungen zwischen den heutigen Menschen. Vergleichen Sie mit dem mt-DNA-Stammbaum.
- *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.*
- ③ 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, Asiate, 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.*
- ④ Erläutern Sie mithilfe von Abb. 4 die möglichen Schwierigkeiten, aufgrund von äußeren Merkmalen Menschen in Rassen einzuteilen.
- *Bestimmte äußere Merkmale können einerseits genetisch bedingt sein und den Typus bestimmen. Andererseits werden die äußeren Merkmale von den Menschen selbst stark verändert, z.B. aufgrund von festen traditionellen Vorstellungen. Diese kulturelle Überlagerung muss also bei der Beschreibung des Phänotyps berücksichtigt werden.*
- ⑤ 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.*

Evolutionstechnik (Seite 333)

- ① Unterscheiden Sie zwischen Konstruktion und Evolution eines Systems.
 - *Konstruktion: Ein Produkt wird entworfen und nach dem Entwurf angefertigt.*
Evolution: An einem unfertigen Werkstück werden immer wieder kleine Veränderungen vorgenommen, geprüft und nach der Prüfung verworfen oder beibehalten, um weiter zu verändern und prüfen.
- ② Kann die Anwendung der Evolutionsstrategie auch für Politiker oder Manager lohend sein?
 - *Politiker und Manager könnten von der Evolutionsstrategie lernen, an ihren Systemen kleine Änderungen vorzunehmen oder zu simulieren und deren Auswirkungen zu prüfen. Wichtig wäre, die optimale „Mutationsschrittweite“ festzustellen: Die Änderungen müssen klein genug sein, um die Harmonie im Staat oder im Betrieb zu erhalten, aber groß genug, um das System vor Stagnation zu bewahren.*

Verhaltensbiologie

1 Verhaltensforschung

Fragen und Methoden der Verhaltensbiologie (Seite 337)

- ① Werten Sie die Versuchsergebnisse für die einzelnen Männchen in der Abb. 1 aus.
 - *Bei den Männchen 1, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 15, 16 und 17 überwiegen die Angriffe auf die silberbäuchigen Attrappen meist deutlich. Nur bei den Männchen 2, 8 und 12 werden mehr Angriffe auf die rotbäuchigen Attrappen unternommen. In dieser Versuchssituation waren die silberbäuchigen Attrappen bei den meisten Männchen wirksamer, nur bei wenigen Männchen die rotbäuchigen Attrappen.*
- ② Bitten Sie eine Mitschüler, vor dem Kurs eine Banane zu essen. Fertigen Sie ein Beobachtungsprotokoll an. Werten Sie die Beobachtungsprotokolle vergleichend aus. Welche Schwierigkeiten traten bei der Verhaltensbeschreibung auf?
 - *Mögliche Schwierigkeiten: Gleichzeitiges Beobachten und Protokollieren ist fast unmöglich; der Zeitbedarf für das Protokoll ist sehr groß; die Bezeichnungen von Verhaltensweisen sind nicht eindeutig (zum Teil anthropomorph). Jeder achtet auf etwas anderes. Der beobachtete Schüler benimmt sich nicht so wie sonst ...*
Mögliche Abhilfe: Jeweils einen Beobachter und einen Protokollführer bestimmen; Abkürzungen und feste Begriffe für bestimmte Verhaltenselemente einführen; Protokoll tabellarisch anlegen; Verhalten nach Möglichkeit filmen; dem essenden Schüler nicht mitteilen, dass sein Verhalten protokolliert bzw. gefilmt wird. ...
- ③ Fassen Sie die Aussagen des Textes in einer tabellarischen Übersicht nach folgendem Muster zusammen.
 - *s. Tabelle im Schülerbuch*

2 Lernforschung

Die pawlowsche Reflextheorie des Verhaltens (Seite 345)

- ① Wägen Sie die sofortige Bestrafung eines Hundes beim Eindringen in einen Kaninchenbau gegen eine Bestrafung nach der Verbreitung von Spuren dieser Wilderei auf dem häuslichen Teppich im Hinblick auf ihre Nachhaltigkeit ab.
 - *Die Bestrafung des Hundes unmittelbar am Ort der Wilderei (Kaninchenbau) hat zur Folge, dass durch die zeitliche Nähe eine Assoziation der Bestrafung mit der Handlung am Kaninchenbau entsteht. Die Verknüpfung führt so zu einer bedingten Aversion. Damit kann das Ziel der Bestrafung erreicht werden. Wird die Bestrafung später durchgeführt, kann sie der Hund nicht mit seinem Verhalten am Kaninchenbau assoziieren. Bestenfalls erfolgt eine Verknüpfung mit dem Ableben der Beute auf dem Teppich. Der Hund könnte so evtl. lernen, zwar zu wildern, aber die Beute außerhalb der Wohnung abzulegen.*

Operante Konditionierung (Seite 346)

- ① Erläutern Sie die Unterschiede zwischen bedingtem Reflex und operanter Konditionierung.
 - *Bei einem bedingten Reflex lernt ein Tier einen ursprünglich neutralen Reiz mit einer genetisch programmierten Verhaltensweise zu verknüpfen. In der Kannphase kann dieser bedingte Reiz das genetisch programmierte Verhalten auslösen. Bei einer operanten Konditionierung lernt ein Tier eine zufällige Handlung, da auf sie eine Verstärkung folgt oder im Sinne der Ethologie eine bestehende starke Handlungsbereitschaft einer genetisch programmierten Handlung mit der Ausführung der zufälligen Handlung verknüpft wird. Sekundär können auch bei der operanten Konditionierung ursprünglich neutrale Reize mit der zufälligen Handlung verknüpft und zu bedingten Reizen werden, die eine Handlung dann auslösen oder auch verstärken können.*

3 Soziobiologie

Biologie der Seeelefanten (Seite 349)

- ① Fassen Sie die in Abbildung 348.2 dargestellten Sachverhalte zusammen und begründen Sie mithilfe von Kosten-Nutzen-Überlegungen, warum bei Seeelefanten Männchen um Weibchen und nicht Weibchen um Männchen kämpfen.
- *Die Abbildung zeigt den Fortpflanzungserfolg von Seeelefantenmännchen und -weibchen. Die Variation des Erfolges von Männchen ist viel größer als die der Weibchen. Durch den Zugang zu mehreren Weibchen können die Männchen ihre Nachkommenzahl erhöhen, was umgekehrt nicht gilt. Kämpfen bedeutet für beide Geschlechter Zeit- und Energieverlust sowie das Risiko an Verletzungen einzugehen. Diesen Kosten steht bei den Männchen als Nutzen eine mögliche starke Erhöhung der Nachkommenzahl gegenüber. Dieser Nutzen fehlt bei den Weibchen, sodass die Kosten hier überwiegen. Da die Haremshalter zur nächsten Generation nur Spermien beitragen und die Spermien eines Männchens für mehrere Weibchen ausreichen, ist ein Kampf der Weibchen evolutionstheoretisch nicht zu erwarten.*

Sozialstrukturen (Seite 351)

- ① Setzen Sie die Beispiele von Gorilla und Siamang in Bezug zur Abb. 350.1.
- *Die Abbildung zeigt, dass die Nahrungsansprüche von der Körpergröße abhängen und diese wiederum im Zusammenspiel mit der Nahrungsverteilung über Nahrungskonkurrenz die Verteilung der Weibchen im Raum bedingen. Da andererseits die Männchen zur Fortpflanzung auf das Weibchen angewiesen sind, folgt ihre Verteilung derjenigen der Weibchen. Aus der Überlagerung dieser Verteilungen entsteht das Sozialsystem.*
Angewendet auf den Gorilla: Aufgrund der Körpergröße können Gorillas rohfaserreiches Pflanzenmaterial fressen. Die Nahrungskonkurrenz ist gering und die Weibchen bleiben zur Sicherung der Jungen vor Räubern (Leoparden) in Gruppen zusammen. Die Weibchengruppe wird von einem Männchen monopolisiert.
Angewendet auf den Siamang: Sie brauchen aufgrund ihrer geringer Körpergröße besseres Futter (Knospen, junge Blätter, Früchte), d.h. die Nahrungskonkurrenz ist groß. Da sie als Bewohner der oberen Etagen im Regenwald keinen Feinddruck haben, trennen sich die Weibchen voneinander und besetzen kleine Reviere. Wegen der verdeckten Ovulation und der ökologisch bedingten Synchronisation der Fortpflanzung ist es einem Männchen dann nur möglich, bei einem Weibchen zu bleiben.