

NATURA

Biologie für Gymnasien

bearbeitet von

Irmtraud Beyer
Horst Bickel
Harald Gropengießer
Siegfried Kluge
Bernhard Knauer
Inge Kronberg
Hans-Peter Krull
Hans-Dieter Lichtner
Horst Schneeweiß
Gerhard Ströhla
Wolfgang Tischer

Nordrhein-Westfalen
Oberstufe G8

Lösungen

Ernst Klett Verlag
Stuttgart · Leipzig

1. Auflage, 2011

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

Die letzte Zahl bezeichnet das Jahr des Druckes.

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

© Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 2011. Alle Rechte vorbehalten. www.klett.de

Autoren: Dr. Irmtraud Beyer: Ricarda-Huch-Schule, Gymnasium, Dreieich; Dr. Horst Bickel; Geschwister Scholl Gymnasium, Düsseldorf; Studienseminar für das Lehramt an Gymnasien und Gesamtschule, Düsseldorf; Prof. Dr. Harald Gropengießer; Universität Hannover, Fachbereich Erziehungswissenschaften; Prof. Dr. Siegfried Kluge; Neumark; Bernhard Knauer; Hainberg-Gymnasium, Göttingen; Dr. Inge Kronberg; Fachautorin und Dozentin, Hohenwestedt; Hans-Peter Krull; Albert-Einstein-Gymnasium, Kaarst; Hans-Dieter Lichtner; Rats-Gymnasium, Stadthagen; Dr. Horst Schneeweiß; Gymnasium Othmarschen, Hamburg; Gerhard Ströhla; Gmnasium Münchberg; Dr. Wolfgang Tischer; Gymnasium Saarstedt

Redaktion: Rolf Strecker

Mediengestaltung: Ingrid Walter

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

Illustrationen: Jörg Mair, München

Printed in Germany
A15150-04546001

Genetik

1 DNA – Träger der Erbinformation

Träger der Erbinformation – experimentelle Beweise (Seite 10)

- ① OSWALD AVERY führte eine Reihe von Kontrollexperimenten durch. Beispielsweise behandelte er die abgetrennte DNA zusätzlich mit Protein spaltenden Enzymen (Proteasen) und die Proteine mit DNA spaltenden Enzymen (DNAsen). Begründen Sie.
 - AVERY wollte sicher gehen, dass in den DNA-Präparationen keine Proteine und in den Proteinpräparationen keine DNA-Moleküle mehr enthalten sind.
- ② AVERY gab seinen Bakterienkulturen Serum zu. Hitzebehandeltes Serum beeinträchtigte seine Versuche nicht. Unbehandeltes Serum hingegen verhinderte oftmals eine Transformation von R-Zellen durch isoliertes Material aus S-Zellen. Serum enthält eine Reihe verschiedener Enzyme. Erklären Sie.
 - Serum enthält eine Reihe von Enzymen, darunter auch DNAsen. Die Hitzebehandlung denaturiert diese Enzyme, die DNA in den Extrakten wird dann nicht mehr abgebaut. Im nicht behandelten Serum sind die DNAsen aktiv und zerstören die DNA-Moleküle, eine Transformation bleibt dann natürlich aus.

Praktikum: Experimente mit DNA (Seite 11)

- ① Entwickeln Sie ein Experiment, mit dem der folgende Einwand entkräftet werden kann: „Bei der Behandlung der isolierten DNA mit Säure ist keine Hydrolyse aufgetreten, vielmehr ist die DNA wieder in eine lösliche Form übergegangen.“
 - Die Säure durch Zugabe einer Base neutralisieren und dann den DNA-Fällungsversuch erneut durchführen.
- ② Im DNA-Fällungsversuch wird Feinwaschmittel, das Proteasen enthält, zugesetzt. Proteasen sind Protein spaltende Enzyme. Mit welchen Proteinen ist das DNA-Molekül assoziiert? Schlagen Sie in diesem Buch nach.
 - DNA ist in der Hauptsache mit Histonproteinen assoziiert.
- ③ Erläutern Sie, welche Ladungen und Größe die aufgetrennten DNA-Fragmente haben.
 - Da die Fragmente im elektrischen Gleichspannungsfeld von – nach + wandern, sind sie negativ geladen. Das größere Bruchstück, das nicht so weit im Gel (Spur 2) gewandert ist, hat eine Größe von 200 Basenpaaren (BP), das kleinere, weiter gewanderte eine Größe von 100 (BP).
- ④ Erklären Sie, wie oft das verwendete Restriktionsenzym die Proben-DNA (Spur 1) in Spur 2 geschnitten hat.
 - Das Enzym hat einmal geschnitten. Da es sich bei der Probe um fädige, also lineare DNA handelt, resultieren bei einem Schnitt zwei Bruchstücke.

DNA-Replikation – aus eins mach zwei (Seite 15)

- ① Inwieweit lässt sich das Schema der Replikation aus dem Bau der DNA ableiten?
 - Der Strickleiterbau der DNA-Doppelhelix mit Sprossen aus komplementären Basenpaaren lässt eine semikonservative Verdopplung der DNA zu: Werden die Wasserstoffbrückenbindungen zwischen den komplementären Basen gelöst, liegen Einzelstränge vor, an die Basen bzw. Nucleotide spezifisch binden können. Die Basensequenz des elterlichen Einzelstranges legt damit die Basensequenz des Tochterstranges eindeutig fest.

Material: DNA-Verdopplung – wie und wann? (Seite 16)

- ① DNA wird nach dem semikonservativen Mechanismus repliziert. Begründen Sie anhand von Abb. 2.
 - Nach einer ersten Replikation liegt im Versuch nur halbschwere DNA vor. Halbschwere DNA kann nach einem ersten Replikationszyklus nur bei einer semikonservativen oder einer dispersiven Replikation entstehen. Der konservative Mechanismus steht damit im Gegensatz zu den experimentellen Ergebnissen und scheidet aufgrund dieser Überlegungen aus. Nach zwei Replikationszyklen liegt zur Hälfte halbschwere und zur Hälfte leichte DNA vor. Mit diesem Ergebnis ist auch die dispersive Replikation ausgeschlossen.
- ② Welche Dichteverteilung hätten Sie bei konservativer, welche bei disperser Verdopplung erwartet?
 - 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 am Ende ein schwerer und drei leichte Doppelstränge resultieren würden. 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“.
- ③ Die Abb. zeigt die Autoradiographie von Leberzellen. Wie hoch ist der Prozentsatz replizierender Zellen?
 - 14 Zellen zeigen eine Schwärzung, 5 keine Schwärzung. Der Prozentsatz replizierender Zellen beträgt demnach ca. 74%.

Genexpression: von der Information zum Produkt (Seite 19)

- ① Stellen Sie in einer Tabelle DNA-Replikation und Transkription gegenüber, indem Sie Funktion, Zeitpunkt im Zellzyklus, Enzyme und Nucleotide auflisten.
– siehe Tabelle

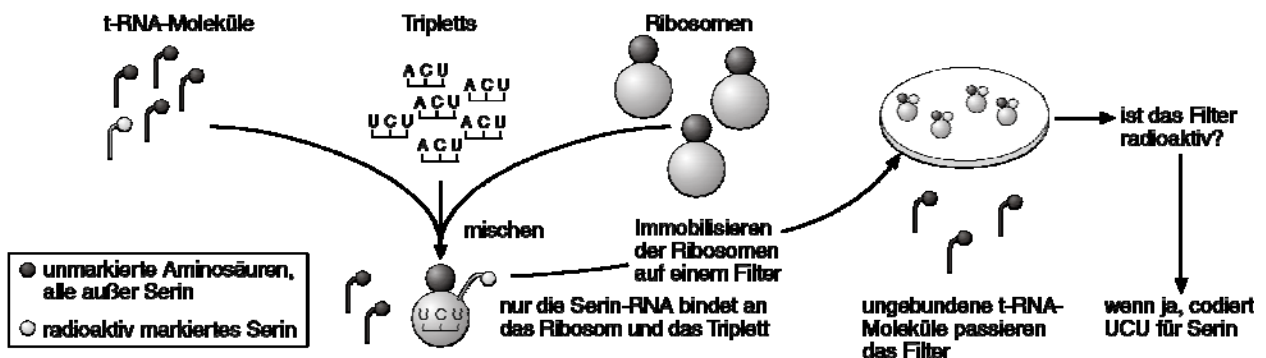
DNA-Replikation	Transkription
identische Verdopplung der DNA (zwischen zwei Zellteilungen) in der Interphase	Bildung eines m-RNA-Gegenstückes in der Interphase (Arbeitsphase) des Kerns
ermöglicht die Weitergabe der Gene an beide Tochterzellen	Teil der phänotypischen Umsetzung der genetischen Information
Enzym DNA-Polysom	Enzym RNA-Polymerase
DNA-Nucleotide (Basen G, C, A, T)	RNA-Nucleotide (Basen G, C, A, U)

Der genetische Code (Seite 20)

- ① Suchen Sie das Startcodon und translatieren Sie diese m-RNA-Sequenz:
5'UUAGAUGAGCGACGAACCCCUAAAAUUUACCUAGUAGUAGCCAU3'
– Start- und Stopp-Codon sind: Met-Ser-Asp-Glu-Pro-Leu-Lys-Phe-Thr-Stopp-Stopp-Stopp
- ② In welche Aminosäuresequenz wird folgender Abschnitt eines codogenen Strangs der DNA übersetzt?
3'CTGGCTTGAACCCGTTCTTCTATC5'
– Die m-RNA lautet: 5'GACCGAUGACUGGGCGAAGAAGAUAG3'
Die Aminosäuresequenz lautet: Met-Thr-Gly-Arg-Arg-Arg-Stopp
- ③ Lassen Sie den ersten Buchstaben im Beispielsatz „VORDERRNAISTDIEDNA“ weg und behalten den „Tripletcode“ bei, wird der Sinn des Satzes entstellt. Erläutern Sie, welche Konsequenz es hätte, wenn in der oben gezeigten DNA-Sequenz die erste Base wegfällt würde.
– Die m-RNA lautet: 5'ACCGAUGACUGGGCGAAGAAGAUAG3'
Durch die Verschiebung des Leserasters entfällt das Start-Codon AUG, es gibt kein Genprodukt.

Material: Die Entdeckung des genetischen Codes (Seite 21)

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



- ② Ziehen Sie Schlüsse aufgrund der experimentellen Befunde zur Bedeutung der Triplets UUU und UCU.
– UUU codiert für die Aminosäure Phenylalanin (Phe).
- ③ Aus den Ribosomenpräparationen wurden vor den Tripletbindungstests alle m-RNA-Moleküle der Herkunftszellen entfernt. Warum?
– Die radioaktiv markierten Aminosäuren wären ansonsten bei der Translation der m-RNAs der Herkunftszelle in die Proteine eingebaut worden, die Radioaktivität hätte sich auf dem Filter wiedergefunden, die Bedeutung der kurzen m-RNAs bekannter Sequenz hätte sich nicht aufklären lassen.
- ④ Verwendet man Poly-U, Poly-A, Poly-C bzw. Poly-G, erhält man die unten aufgeführten Peptide mit jeweils nur einer Aminosäureart. Damit ist die Bedeutung von 4 Triplets geklärt. Geben Sie diese 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

- ⑤ Verwendet man RNA, in der zwei Nucleotide abwechselnd vorkommen, erhält man Peptide, in denen sich zwei Aminosäuren abwechseln. Erklären Sie, ob man durch diese Versuche die Bedeutung weiterer Triplets eindeutig klären kann und begründen Sie Ihre Aussage.
- *Es ist nicht klar, an welcher Stelle die Translation beginnt. Ist A der Translationsstart, ergibt sich die Triplet-Reihenfolge ACA-CAC-ACA-CAC-... Das Peptid hätte die Aminosäuresequenz: Thr-His-Thr-His-... Ist C der Translationsstart, ergibt sich die Triplet-Reihenfolge CAC-ACA-CAC-ACA-... Das Peptid hätte die Aminosäuresequenz His-Thr-His-Thr.*
- ⑥ Verwendet man andere, regelmäßige Polynucleotide aus längeren Untereinheiten, erhält man im Gemisch verschiedene Peptide (s. unten). Warum werden dann jeweils mehrere verschiedene Peptide aufgebaut? Klären Sie mithilfe der Angaben zu Aufgabe 4 und 5 die Bedeutung weiterer Nucleotide auf.
- *Auch hier ist wieder nicht festgelegt, wo die Translation beginnt, es sind mehrere Tripletraster möglich:
AAC-AAC-AAC-AAC-... = Poly Asn
ACA-ACA-ACA-ACA-... = Poly Thr
CAA-CAA-CAA-CAA-... = Poly Gln
Auf die Bedeutung der Triplets kann erst im Vergleich mit anderen Versuchsergebnissen geschlossen werden. Beispielsweise tritt sowohl in Poly-AC als auch in Poly-AAC das Triplet ACA auf. In beiden erzeugten Peptiden findet sich folglich die von ACA codierte Aminosäure Thr. Damit ist aber auch klar, dass das zweite in Poly-AC mögliche Triplet CAC für die Aminosäure Histidin codieren muss.*
- ⑦ Auch RNA-Moleküle mit 4 regelmäßig wechselnden Nucleotiden wurden konstruiert. Welche Triplets lassen sich mithilfe des Produktes (s. Tabelle) klären? Warum tritt eine Wiederholung in der Primärstruktur nach 4 Aminosäuren auf?
- *Mit Poly-ACCC ergibt sich ein Peptid mit dem sich wiederholenden Sequenzmotiv Thr-His-Pro-Pro-Thr-His-Pro-Pro- ... unabhängig vom Startpunkt. Die vier möglichen Starttriplets (ACC, CCC, CCA, CAC) legen lediglich fest, an welcher Aminosäureposition der „Einstieg“ in das Sequenzmotiv genommen wird. Dass das Triplet CCC für Pro codiert, zeigt Aufgabe 4. Nach Pro folgt im Peptid entweder Pro oder Thr. Da ACC immer auf das Triplet CCC folgt, muss es für Thr codieren, CCA ebenfalls für Pro. Dass CAC für His codiert, geht aus Aufgabe 4 hervor, ACC bleibt übrig, es codiert folglich für die übrig bleibende Aminosäure Thr.*

Codon-Bevorzugung (Zettelkasten Seite 22)

- ① Die Codon-Bevorzugung spiegelt sich in der Konzentration der t-RNA-Moleküle wider. Welches Problem kann auftreten, wenn man ein Gen, beispielsweise von Escherichia coli, auf Saccharomyces frugiperda überträgt, um das zugehörige Protein herstellen zu lassen?
- *Die Biosynthese des Proteins aus E. coli kann ineffektiv sein, wenn in S. frugiperda das Codon CCG sehr viel seltener verwendet wird, da die Konzentration der entsprechenden t-RNA dann ebenfalls sehr niedrig ist.*

Translation: Ein Protein entsteht (Seite 23)

- ① RNA und Proteine gehören unterschiedlichen chemischen Stoffklassen an. Dennoch gibt es strukturelle und funktionelle Parallelen. Begründen Sie.
- *t-RNA-Moleküle sind wie Proteine dreidimensionale Gebilde. Erst ihre Raumstruktur ermöglicht es ihnen, ihre Funktion auszuführen. Beispielsweise erkennen t-RNA-Moleküle die passenden Aminoacyl-t-RNA-Synthetasen aufgrund ihrer räumlichen Passung nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip.*
- ② Das Codon AUG hat zwei verschiedene Bedeutungen, je nachdem ob es sich am Anfang einer m-RNA oder nicht befindet. Begründen Sie.
- *Als Startcodon markiert AUG auf einer m-RNA den Beginn der Translation, fungiert also als „Satzzeichen“. Methionin ist demgemäß die erste Aminosäure eines Proteins, die aber meist bei der Reifung von Proteinen wieder abgespalten wird. Innerhalb eines Proteins codiert das Codon AUG lediglich für die Aminosäure Methionin und hat darüber hinaus keine weitere Bedeutung.*
- ③ Formulieren Sie zu dem codogenen DNA-Abschnitt unten die komplementäre m-RNA. Formulieren Sie dann die komplementären Anticodons und die zugehörigen Aminosäuren: 3'CTGGCTTGAACCCGCTTC5'
- *Die Sequenz der m-RNA lautet: 5'GACCGAACUUGGGCGAAG3'
Die Sequenzen der Anticodons lauten: 3' CUG-GCU-UGA-ACC-CGC-UUC5'
Die Aminosäuresequenz lautet: Aps-Arg-Thr-Trp-Ala-Lys*

Proteinbiosynthese bei Eukaryoten (Seite 25)

- ① Menschliches Insulin kann von „umprogrammierten“ Bakterienzellen erzeugt werden. Man überträgt dazu die für Insulin codierende Nucleinsäure. Mit welchen Schwierigkeiten ist aufgrund der unterschiedlichen Proteinbiosynthese von Pro- und Eukaryoten zu rechnen?
- *Eukaryotische Gene sind gestückelt, prokaryotische hingegen nicht. Das heißt, würde das Insulin-Gen auf Bakterien übertragen, könnten die Introns nicht entfernt werden, da Prokaryoten die entsprechenden Spleiß-Enzyme nicht besitzen. Die Proteinbiosynthese des Insulins gelänge nicht. Um dieses Problem zu umgehen, schreibt man die Insulin-m-RNA, die aufgrund des Spleißens keine Introns mehr aufweist, mithilfe des Enzyms Reverse Transkriptase in c-DNA und überträgt sie auf Bakterien.*

- ② Vergleichen Sie die Proteinbiosynthese von Prokaryoten und Eukaryoten tabellarisch.
- *Prokaryoten und Eukaryoten: Promotor als Erkennungs- und Bindungsstelle der RNA- Polymerase; Leserichtung 3' nach 5'; Thymin in der RNA durch Uracil ersetzt.*
 - Prokaryoten: Biosynthese läuft schon während der m-RNA-Synthese; freie Ribosomen; Proteinmoleküle schon 30 Sekunden nach der Transkription gebildet; m-RNA-Moleküle werden schnell wieder abgebaut.*
 - Eukaryoten: Exons – Introns; Spleiß-Vorgänge; längere m-RNA-Moleküle (prä-m-RNA); m-RNA hat hohe Lebensdauer; m-RNA gelangt zum rauen ER.*

Induktion durch Hormone (Zettelkasten Seite 27)

- ① Erklären Sie die Entfärbung des Agars und erläutern Sie die Bildung unterschiedlich großer Höfe.
- *Der Pflanzenembryo hat das Hormon Gibberellin produziert, das in den Agar diffundiert ist. Die Zellen der Aleuronschicht haben das Hormon aufgenommen. Gibberellin hat das Amylase-Gen aktiviert, das Protein Amylase wurde erzeugt und sezerniert. Im Agar baut die Amylase Stärke ab. In diesem Bereich ist der Stärkenachweis mit Iod negativ.*
- ② Mit welchem Ergebnis rechnen Sie bei Weizenkörnern, bei denen vor dem Versuch der Embryo abgetrennt wurde?
- *Unter allen Hälften färbt sich der Agar nach der Iod-Probe blau.*
- ③ Das Hormon Gibberellin kann künstlich synthetisiert werden. Mit welchem Ergebnis rechnen Sie, wenn dem Stärke-Agar Gibberellin zugegeben wird?
- *Unter allen Hälften färbt sich der Agar nach der Iod-Probe blau.*

Bakterien und Viren: Versuchsobjekte der Genetik (Seite 29)

- ① An Bakterien und Phagen wurden wichtige Erkenntnisse der Genetik gewonnen. Vergleichen Sie die Vor- und Nachteile gegenüber eukaryotischen Versuchsobjekten wie Hefe, Erbse oder Drosophila.
- *Vorteile von Bakterien und Phagen: leichte Kultivierbarkeit, schnelle Vermehrung mit hohen Individuenzahlen, DNA relativ kurz und übersichtlich, direkte Transkription von DNA in RNA ohne Introns, daher erleichterte Sequenzanalyse*
 - Nachteile von Bakterien und Phagen: Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Eukaryoten nicht immer sicher; überträgt man eukaryotische DNA auf Bakterienzellen entsteht durch die Transkription eine m-RNA, die in der eukaryotischen Zelle noch vielfach abgewandelt worden wäre, also nicht unbedingt das gleiche Transkript.*
- ② HERSHEY und CHASE bestätigten mit ihren Markierungsexperimenten die Ergebnisse von AVERY und GRIFFITH zur Transformation. Vergleichen Sie.
- *AVERY wies durch DNA bzw. Proteine abbauende Enzyme nach, dass Bakterien-DNA der Informationsträger ist (Anschlussprinzip), während HERSHEY und CHASE die Substanz selbst markierten, um ihren Weg zu verfolgen. GRIFFITH erhielt bei seinem Experiment keine Aussage über die Stoffgruppe, zu der die Erbsubstanz gehört.*

2 Merkmalsbildung

Proteinaufbau und -abbau (Seite 33)

- ① Am Shikimisäure-Tryptophan-Stoffwechselweg sind vier Enzyme beteiligt (Abb. 32.1). Die untersuchten Neurospora-Stämme tragen genetische Defekte in den beteiligten Genen. Geben Sie an, welches Gen jeweils mutiert ist.
- *Bei jeder Mangelmutante von Neurospora ist das Gen für ein bestimmtes Enzym defekt. Stellt man der Mutante aber im Nährmedium den Stoff zur Verfügung, der mithilfe dieses Enzyms aufgebaut wird, so hat ihr Stoffwechsel wieder alle benötigten Substanzen, vor allem das lebenswichtige Tryptophan zur Verfügung, die Zellen wachsen und vermehren sich wieder. 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 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 Es kommt auch vor, dass einzelne Gene mehrere Merkmale beeinflussen (Polyphänie). Erklären Sie die phänotypischen Auswirkungen des Defekts, der beim Menschen zur Mukoviszidose führt (s. Seite 65).
- *Aufgrund des defekten Ionenkanals sind alle Organsysteme, die das CFTR-Genprodukt exprimieren, betroffen, nämlich Atemwege und Verdauungssystem.*
- ③ Die ursprüngliche molekularbiologische Definition eines Gens als „Bauanleitung für ein Enzym“ musste erweitert werden. Begründen Sie.
- *1. Alle DNA-Abschnitte, die für t-RNA und für r-RNA codieren, werden nicht erfasst.*
 - 2. Auch das alternative Spleißen und die RNA-Edition werden von der Vorstellung eines Gens als Bauanleitung für ein Enzym nicht abgedeckt.*

Material: Wirkung von Hemmstoffen (Seite 34)

- ① Welche Antibiotika (s. Tabelle) kann man in der Medizin einsetzen? Begründen Sie Ihre Auswahl.
 - Als Antibiotika müssen die Stoffe für eukaryotische, d.h. für menschliche Zellen ungiftig sein. Amanitin, Cycloheximid und Diphtherietoxin kommen also mit Sicherheit nicht infrage. Natürlich sind für eine medizinische Anwendung eines Stoffes als Antibiotikum noch erheblich mehr Kriterien wichtig, sowie Verträglichkeit, Wirkungsdauer und 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?
 - Puromycin 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 unbrauchbar.“ Begründen Sie.
 - 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 einziges Molekül des Diphtherie-Toxins kann eine Zelle töten. Begründen Sie diese Aussage.
 - Diphtherie-Toxin 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 entdeckte, dass es an einen Teil der Ribosomen gut, an den anderen 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.

DNA-Schäden und Reparatur (Seite 35)

- ① Eine Punktmutation wirkt sich aufgrund der Redundanz des genetischen Codes nicht immer aus. Man spricht von einer stummen Mutation. Zeigen Sie dies an einem Beispiel.
 - Die Redundanz zeigt sich darin, dass viele Aminosäuren, vor allem die in Proteinen häufiger verwendeten, durch mehrere Basentriplets verschlüsselt werden. Oft spielt die dritte Base des Triplets keine Rolle dafür, welche Aminosäure codiert wird (Wobble-Hypothese). Wird sie durch eine Mutation verändert, ist in einem solchen Fall keine Veränderung im codierten Peptid zu beobachten.

Material: Melanin-Mutanten (Seite 37)

- ① Warum haben Albinos weiße Haare, rosige Haut und eine hellblaue, im Gegenlicht rötliche Iris der Augen?
 - Wenn keine Pigmente eingelagert sind, erscheinen Haare weiß wegen der Totalreflexion des Lichtes an den Hornzellschichten. Die Haut (auch die Iris des Auges) sieht rötlich aus, weil das Blut in den feinen Kapillaren durchschimmert.
- ② Albinismus wird rezessiv vererbt. Stellen Sie in einem Schema dar, wie es bei zwei phänotypisch normal gefärbten Eltern zu Albino-Jungen kommen kann. Wie sehen die Nachkommen von Albino-Eltern aus?
 - M^- (keine Melaninbildung), M^+ (Melaninbildung)
 $P: (M^+/M^-) \times (M^+/M^-)$ beide Eltern heterozygot bzgl. der Melaninbildung
 F_1 : Aufspaltung nach der 2. mendelschen Regel: 1 : 2 : 1, mit einem homozygoten Träger der gestörten Melaninbildung, der phänotypisch als Albino erscheint. Die Nachkommen von zwei Albino-Eltern sind immer auch Albinos.

	M^+	M^-
M^+	$M^+ M^+$	$M^+ M^-$
M^-	$M^+ M^-$	$M^- M^-$

- ③ Bei Amseln, Kaninchen und Mäusen kommen recht häufig Albino-Junge zur Welt, erwachsene Tiere sieht man im Freiland aber nur selten. Wie lässt sich das erklären?
- *Albinos fallen besonders auf, werden von Fressfeinden daher schneller entdeckt.*
- ④ Auf den Shetland-Inseln wurde der Igel vor einigen hundert Jahren vom Menschen eingeführt. Hier beobachtet man heute eine besondere Häufigkeit von Albino-Tieren. Welche Erklärung haben Sie dafür?
- *Die Insellage mit einer relativ kleinen Igelpopulation verhindert eine Durchmischung mit normal gefärbten Individuen. Albinoigel konnten sich fortpflanzen, da sie Fressfeinden wegen der Schmutzfarbe nicht besonders auffallen.*
- ⑤ Neben den reinweißen Albinos gibt es auch Tiere, bei denen nur einige Hautbereiche kein Melanin bilden, sie sind gescheckt. Erklären Sie dies mit dem Zeitpunkt der Mutation.
- *Die Mutation, die zum Ausfall der Melaninbildung führte, wurde nicht von einer Keimzelle der Eltern übernommen, sondern fand in einer Körperzelle der Haut statt und wurde nur auf die Tochterzelle dieser Zelle weitergegeben.*
- ⑥ Nennen Sie Hinweise, dass es sich bei den als Schimmel bezeichneten weißhaarigen Pferden nicht um Albinos handelt.
- *Schimmelfohlen sind dunkel, sie „ergrauen“ von Jahr zu Jahr, bis sie teilweise oder vollkommen weiß sind. Ihre Augen sind dunkel pigmentiert.*
- ⑦ Als Leberflecken bezeichnet man kleine, dunkle Muttermale der Haut (Abb. 4a). Wie entstehen sie?
- *In einzelnen Hautzellen findet eine Mutation statt, die sich auf eine verstärkte Melaninbildung auswirkt. Alle mitotisch entstandenen Abkömmlinge dieser Zelle tragen den gleichen Effekt.*
- ⑧ In seltenen Fällen kann sich aus einem harmlosen Muttermal ein bösartiger Hauttumor, ein Melanom, entwickeln (Abb. 4b, 5): Erkundigen Sie sich bei Ihrem Arzt oder im Internet über Methoden der Früherkennung.
- *Die Früherkennung findet zunächst durch Lupenbetrachtung statt, histologische Untersuchungen können folgen.*
ABCD-Merkregel:
Asymmetrie: Ist das Mal nicht mehr rund oder oval?
Begrenzung: Ist das Mal nicht mehr scharf begrenzt?
Colour, Farbe: Verändert sich die Farbe?
Durchmesser: Ist das Mal größer als 5 mm, juckt oder blutet es?
- ⑨ Bei Hautkrebskrankungen sind vor allem Hautbereiche betroffen, die dem Sonnenlicht ausgesetzt sind. In den letzten 50 Jahren haben sie um das 6-Fache zugenommen. Erklären Sie, inwieweit diese Häufung mit Schönheitsidealen, Freizeitgestaltung und Umweltveränderungen zusammenhängen könnte.
- *Gebräunte Haut wird von vielen Europäern mit Gesundheit, Erholung, Schönheit, Erfolg und Wohlstand in Verbindung gebracht. Erweiterte Reisemöglichkeiten und Solarien machen Sonnenbäder zu jeder Jahreszeit möglich. Auf der anderen Seite ist gefährliche UV-Strahlung der Sonne stärker geworden, da die schützende Ozonschicht angegriffen ist.*

Genommutationen: Veränderung der Chromosomenanzahl (Seite 38)

- ① Werden Chromosomensätze nahe verwandter Arten miteinander kombiniert, entsteht eine nicht homologe Polyploidie. Beschreiben Sie die Entstehung des Saatweizens anhand Abbildung 1.
- *Saatweizen ist hexaploid, enthält also 6 Chromosomensätze. Dabei sind die diploiden Chromosomensätze von drei Arten (Wildeinkorn: AA, Wildgras 1: BB und Wildgras 2: DD) vereinigt. Diese Allopolyploidisierung (Polyploidisierung nach Kreuzung unterschiedlicher Arten oder Gattungen) fand in mehreren Schritten statt: Zunächst bastardierte (AB) Wildeinkorn und Wildgras 1, anschließend polyploidisierte sie zum Wildemmer (AABB). Dieser ist im Gegensatz zu (AB) fruchtbar, da sich die Chromosomensätze gleichmäßig auf die Tochterzellen verteilen lassen (AB + AB). Eine weitere Bastardisierung und Polyploidisierung mit dem Wildgras 2 (DD) führte dann zur Bildung des Dinkels (AABBDD), aus dem durch Auslese bestimmter Mutanten der Saatweizen gezüchtet wurde.*
- ② Informieren Sie sich über die Symptome von Klinefelter- und Turner-Syndrom.
- *Klinefelter (47, XXY): 0,25% der Bevölkerung. Männer mit Unterentwicklung der Hoden (unfruchtbar), weibliche Brustentwicklung, eunuchenartige Gestalt, keine Bartbehaarung, häufig verminderte Intelligenz.*
Turner (45, X0): 0,3–0,5% der Bevölkerung. Frauen mit Fehlanlage der Keimdrüsen, vermindert ausgeprägten sekundären Geschlechtsmerkmalen, Minderwuchs, seitlichen Hautfalten am Hals, schwach entwickeltem Unterkiefer, Fingernageldefekten, normaler Intelligenz.

Gene und Umwelt (Seite 40)

- ① Vergleichen Sie an der DNA in der Abbildung 2 die Veränderungen durch Mutationen und epigenetische Abweichung.
- *Das Methylierungsmuster bei dreijährigen Zwillingen ist noch fast gleich, wie man an der gelben Färbung erkennen kann, bei den Fünfzigjährigen ist es sehr verschieden. Hierbei geht es nicht um die Veränderung von DNA-Sequenzen, sondern um die Methylierung und somit die angeschalteten und abgeschalteten Gene. Dies ist die Reaktion auf unterschiedliche Umwelteinflüsse und Lebensbedingungen.*

3 Fortpflanzung und Vererbung

Ungeschlechtliche und geschlechtliche Fortpflanzung (Seite 43)

- ① Erläutern Sie die biologische Bedeutung der Tatsache, dass die weibliche Keimzelle größer und unbeweglicher ist.
- Zur Befruchtung wandert meist die kleine, bewegliche Keimzelle zur großen unbeweglichen Keimzelle. Die Eizelle hat Nährstoffe gespeichert, die viele Zellteilungen ohne zusätzliche Nährstoffzufuhr möglich machen. Dieses ermöglicht eine Entwicklung, bis sich entsprechende Organe zur Nährstoffversorgung ausgebildet haben.

Befruchtung und Meiose (Seite 44)

- ① Nennen Sie Gemeinsamkeiten und Unterschiede bei der Bildung weiblicher und männlicher Keimzellen (Seite 45).
- männlich: Durch die Meiose entstehen vier gleich große, aber genetisch neu kombinierte Spermazellen. Sie differenzieren sich zu Spermien (Spermienkopf mit Akrosom, Mittelstück, Schwanzfaden).
 - weiblich: Durch die Meiose entsteht eine Eizelle, kleine Polkörperchen werden jeweils nach der Meiose I und II abgeschnürt. Die Eizelle bildet mit verschiedenen Hilfszellen und Hüllen das Ei. Die Meiose II wird erst nach dem Eindringen des Spermiums abgeschlossen.

- ② Stellen Sie die Vorgänge bei Mitose und Meiose in Form einer Tabelle einander gegenüber.

- Mitose:
In teilungsfähigen Körperzellen (2n, 4C)
dauert höchstens einige Stunden
Prophase – Metaphase – Anaphase – Telophase
Anaphase: Trennung der Chromatiden am Centromer
Anzahl der Chromosomensätze bleibt gleich, DNA-Menge wird halbiert.
Tochterzellen sind genetisch gleich (2n, 2C) und ähnlich groß.
- Meiose:
In den Urkeimzellen der männlichen und weiblichen Keimdrüsen (2n, 4C)
Dauert einige Tage, Wochen oder Jahre, besteht aus zwei Teilungsschritten (Meiose I und Meiose II).
Prophase I (sehr lang) – Metaphase I – Anaphase I – Telophase I und Interkinese – Prophase II – Metaphase II – Anaphase II – Telophase II
Prophase I: Paarung der homologen Chromosomen und Stückaustausch (Rekombination).
Anaphase I: Trennung der homologen Chromosomen (1n, 2C) und anschließend zufallsgemäße Verteilung auf die Pole (Rekombination).
Anaphase II: Trennung der Chromatiden am Centromer (1n, 1C).
Es entstehen genetisch neu kombinierte Tochterzellen.

Gene außerhalb des Zellkerns (Seite 46)

- ① Der genetische Apparat von Chloroplasten und Mitochondrien besitzt einige auffällige Gemeinsamkeiten und unterscheidet sich darin vom genetischen Apparat des Zellkerns. Benutzen Sie die diesbezüglichen Informationen auf Seite 24 und legen Sie eine Tabelle an.
- siehe Tabelle

Chloroplasten, Mitochondrien, Genom	Kern-Genom
keine Introns DNA ringförmig geschlossen keine Histone Ribosomen ähnlich bakteriellen immer haploid keine Rekombination	Introns, Exons linear Histone Eukaryoten-Ribosomen diploid in der Regel Rekombination

- ② Mütterliche Vererbung gehorcht nicht den mendelschen Regeln. Begründen Sie.
- Mitochondrien-DNA ist haploid. Rezessivität, Dominanz und Crossingover gibt es nicht.

Genetische Rekombination bei Prokaryoten (Seite 47)

- ① Eine Hypothese besagt, dass Viren sich von Plasmiden ableiten lassen. Begründen Sie.
- Plasmide sind ringförmig geschlossene DNA-Moleküle, die von einer Bakterienzelle auf eine andere übertragen werden können. Verselbstständigt sich diese DNA, könnte man ein Virus erhalten.
- ② Erläutern Sie, warum die Unterscheidung zwischen rezessiv und dominant bei Prokaryoten nicht angebracht ist.
- Die Unterscheidung macht nur Sinn, wenn mindestens 2 Allele in der Zelle vorhanden sind. Bei Bakterien setzen sich alle Mutationen im Phänotyp durch, da es kein homologes Doppel des Genoms gibt (Ausnahme: Plasmide).

Vererbungslehre von Mendel (Seite 49)

- ① MENDEL experimentierte auch mit Erbsenpflanzen, die sich in zwei Merkmalen unterschieden (Dihybride). Leiten Sie aus Abbildung 1 die 3. mendelsche Regel (Unabhängigkeitsregel) ab: Merkmalspaare können beim dihybriden Erbgang in neuen Kombinationen auftreten. Begründen Sie die Aussage.
- *In der F₂-Generation treten Merkmalskombinationen auf, die in der P- und F₁-Generation nicht beobachtet wurden, nämlich Samen, die grün und rund sind sowie gelb und kantig.*
- ② Es gibt weit mehr Gene als Chromosomen. Das bedeutet, dass zahlreiche Gene auf einem Chromosom liegen und auch zusammen (gekoppelt) vererbt werden.
- Erläutern Sie, welche Veränderungen sich in dem dargestellten Erbgang ergeben würden, wenn die Allelpaare auf demselben Erbsenchromosom lägen.
- *Würden die Allelpaare „en bloc“, also gekoppelt vererbt werden, wären in der F₂-Generation keine neuen Merkmalskombinationen zu beobachten, außer in Fällen, in denen durch Crossingover Chromosomenstücke zwischen den homologen Chromosomen ausgetauscht und dabei Allele neu kombiniert werden.*

Statistische Natur der mendelschen Regeln (Seite 50)

- ① Ermitteln Sie die relative Häufigkeit kantiger Körner anhand der Tabelle für mehrere Kolben zusammen. Kombinieren Sie dazu die Ergebnisse von Kolben 1 + 2, 1 + 3, 2 + 3, sowie 1 + 2 + 3.
- Was zeigen die Vergleiche der Häufigkeiten mit dem theoretisch zu erwartenden Wert?
- *siehe Tabelle*

Kolben	glatt	kantig	rel. Häufigkeit kantig
1+2	373	147	0,283
1+3	410	132	0,244
2+3	365	127	0,258
1+2+3	574	203	0,261

Die relative Wahrscheinlichkeit für kantige Körner beträgt 0,25. Bei der Berücksichtigung mehrerer Kolben liegen die relativen Häufigkeiten für kantige Körner im Bereich zwischen 0,244 und 0,283. Sie streuen weniger stark um den Wahrscheinlichkeitswert als die Ergebnisse, die nur durch die Auswertung einzelner Kolben erzielt werden. Hier liegt die Streuung zwischen 0,218 und 0,302. Je größer die Anzahl ausgezählter Nachkommen, desto näher liegen die relativen Häufigkeiten an dem Wahrscheinlichkeitswert. Dass gelegentlich auch kleinere Anzahlen ausgezählter Nachkommen Ergebnisse liefern können, die näher am zu erwartenden Wahrscheinlichkeitswert (Beispiel der gemeinsamen Betrachtung von Kolben 2 und 3) liegen, ist Zufall.

- ② Ein braunäugiger Vater und eine blauäugige Mutter erwarten nach drei braunäugigen Kindern ihr viertes Kind. Sie meinen, nach der 2. mendelschen Regel müsste es blauäugig sein. Wie ist eine solche Aussage zu bewerten?
- *Die 2. mendelsche Regel (Aufspaltung 3:1) ist eine statistische Regel, die Aussagen nur bei großer Ereignishäufigkeit zulässt. Die Augen des 4. Kindes werden also nur mit einer Wahrscheinlichkeit von 25% (1 von 4) blau sein.*

4 Humangenetik

Verfahren der Humangenetik (Seite 53)

- ① Analysieren Sie die Familienstammbäume für Albinismus, erbliche Kurzfingerigkeit und Rot-Grün-Blindheit. Um welche Erbgänge handelt es sich jeweils? Bestimmen Sie den Genotyp möglichst vieler Individuen.
 - *Das Allel für Albinismus ist rezessiv, das Allel für erbliche Kurzfingerigkeit ist dominant. Rot-Grün-Blindheit hat (wahrscheinlich) einen X-chromosomalen Erbgang, da nur Söhne betroffen sind. Das Allel für Rot-Grün-Blindheit muss rezessiv sein, weil nicht merkmals tragende Eltern Kinder bekommen, die das Merkmal tragen. Die in der Randspalte vorgeschlagenen Genotypen sind teilweise spekulativ. Beim X-chromosomal gebundenen Erbgang sind die Genotypen männlicher Träger eindeutig, alle Frauen müssen heterozygot sein, da sie das Merkmal phänotypisch nicht aufweisen, jedoch Söhne mit dem Merkmal haben.*
- ② Warum tritt Hämophilie A bei Frauen wesentlich seltener auf als bei Männern?
 - *Betroffene Frauen müssen in Bezug auf Hämophilie A homozygot sein (Mutter Überträgerin oder krank und Vater krank).*
- ③ Welche Personen fungieren bei der Hämophilie A (Abb. 52.1) als Konduktorinnen? Begründen Sie.
 - *Alle Frauen, die nicht an Hämophilie A leiden, aber kranke Söhne bekommen, sind Konduktorinnen.*
- ④ Genetisch bedingte Erkrankungen werden mit verschiedenen Verfahren wissenschaftlich untersucht. Stellen Sie eine Tabelle zur Hämophilie A zusammen, in der die Erkenntnisse aus Klassischer Genetik, Cytogenetik, Molekularbiologie und Biochemie aufgelistet sind.
 - *siehe Tabelle*

Klassische Genetik	X-chromosomal rezessiver Erbgang
Cytogenetik	Das rezessive Hämophilie-A-Allel ist auf dem X-Chromosom gelegen
Molekularbiologie	Das Faktor-VIII-Gen besteht aus 2351 Codons, verteilt über 26 Exons. Den schweren Krankheitsausprägungen liegen Deletionen zugrunde.
Biochemie	Patienten fehlt Faktor VIII der Blutgerinnungskaskade. Das Protein besitzt 1997 Aminosäuren, es liegt im Blut Gesunder in einer Konzentration von 0,5–1,0 mg/mol vor.

Material: Klassische Humangenetik (Seite 54)

- ① Entwerfen Sie ein Rekombinationsquadrat zu den Merkmalen des AB0-Blutgruppensystems.
 - *siehe Abbildung*

Eltern

Phänotyp	AB	und	0
Genotyp	AB	×	00
Keimzellen	A	B	0

Kinder

Genotyp	A0	oder	B0
Phänotyp	A	oder	B

- ② Ein dihybrider Erbgang mit einem Elternteil der Blutgruppe AB und dem hypothetischen Genotyp AaBb hätte zu einem wesentlich höheren Anteil an Kindern mit der Blutgruppe 0 (Genotyp: aabb) geführt als BERNSTEIN festgestellt hat. Begründen Sie (3. mendelsche Regel).
 - *Nach der dritten mendelschen Regel (Unabhängigkeits- bzw. Neukombinationsregel) spalten die vier Phänotypen im Verhältnis 9:3:3:1 auf. Unter der Annahme eines dihybriden Erbgangs müssten von 3000 untersuchten Kindern statistisch rund 188 den Phänotyp 0 (Genotyp aabb) aufweisen.*
- ③ BERNSTEIN konnte alle 13 Kinder mit der Blutgruppe 0 auf eine unklare Vaterschaft zurückführen. Ohne diese Kenntnis hätte das Modell der multiplen Allelie nicht widerspruchsfrei auf die Vererbung des AB0-Blutgruppensystems angewandt werden können. Begründen Sie, warum nie Kinder der Blutgruppe 0 geboren werden, wenn ein Elternteil die Blutgruppe AB hat.
 - *Weil die Allele A und B gegenüber dem Allel 0 dominant sind und der Elternteil mit der Blutgruppe AB zwangsläufig eines von beiden Allelen an seine leiblichen Kinder weitergibt.*
- ④ Interpretieren Sie die in den Tabellen aufgeführten Angaben. Welche der genannten Krankheiten bzw. Merkmale halten Sie für genetisch bedingt?
 - *Mit Ausnahme des Keuchhustens liegen die Übereinstimmungen bei den in der oberen Tabelle genannten Krankheiten bei eineiigen Zwillingen meist doppelt so hoch wie bei zweieiigen. Vergleichend kann auf eine genetische Disposition für diese Erkrankung geschlossen werden. Allerdings fehlen Angaben darüber, ob die Zwillingspaare gemeinsam oder getrennt aufgewachsen sind. Dass dieser Umstand eine nicht unerhebliche Rolle spielt, geht aus der unteren Tabelle im Schülerband hervor:*

Gemeinsam aufgewachsene eineiige Zwillinge unterscheiden sich deutlich weniger in den Merkmalen Körpergewicht und Intelligenz als getrennt aufgewachsene eineiige aber auch als zweieiige Zwillinge. Aufgrund dessen kann auf eine starke Umweltkomponente geschlossen werden. Das Merkmal Körpergröße scheint in hohem Maße genetisch determiniert zu sein, weil es diesbezüglich praktisch keinen Unterschied macht, ob eineiige Zwillinge getrennt oder gemeinsam aufgewachsen sind.

Material: Geschlechterverhältnis (Seite 58)

- ① Bei Fehlgeburten ist das Geschlecht an äußeren Merkmalen oft noch nicht zu erkennen, daher liegen hier erst Ergebnisse vor, seitdem 1950 die Bedeutung der Barr-Körperchen erkannt wurde. Erläutern Sie die Methode dieser mikroskopischen Geschlechtsbestimmung (s. Seite 41).
- *Eines der beiden X-Chromosomen in Zellen des weiblichen Geschlechtes wird inaktiviert, sodass eine Überdosierung der zugehörigen Gene vermieden wird. Dieses inaktivierte X-Chromosom lässt sich im lichtmikroskopischen Bild als dunkler Bereich im Zellkern (Barr-Körperchen) nachweisen.*
- ② Berechnen Sie die Geschlechterverhältnisse in Tabelle 1 und 2, also die Anzahl männlicher Feten auf 1000 weibliche Feten. Was lässt sich aus den Zahlen für das tatsächliche primäre Geschlechterverhältnis schließen?
- *siehe Tabelle*

Schw. monat	männl. Feten	weibl. Feten	Geschl. verhältnis
1	75	55	1364
2	551	280	1968
3	768	300	2627
4	343	187	1834
5	10 627	7580	1402
6	14 341	11 680	1228
7	17923	15 590	1150

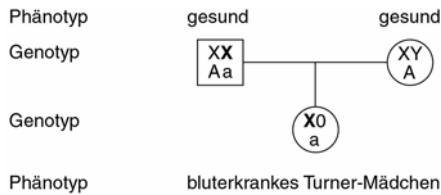
- ③ Man vermutet, dass das tatsächliche primäre Geschlechterverhältnis sehr hoch ist (etwa 1700), dass also wesentlich mehr Jungen als Mädchen gezeugt werden. Begründen Sie diese Hypothese durch einen Vergleich der Geschlechterverhältnisse von Fehl-, Tod- und Lebendgeburten.
- *Das Geschlechterverhältnis sinkt von Fehlgeburten zu Totgeburten, bei Lebendgeburten ist die Anzahl der Jungen trotzdem immer noch höher als die der Mädchen. Extrapoliert man dieses Ergebnis auf die ersten Schwangerschaftswochen und auf die Zygotenbildung zeigt sich, dass der Jungenüberschuss hier noch größer ist und sich im Verlauf der Schwangerschaft bis zur Geburt allmählich verringert.*
- ④ Es werden nicht nur mehr Jungen als Mädchen gezeugt (primäres Geschlechterverhältnis), sondern auch geboren (sekundäres Geschlechterverhältnis). Wägen Sie ab, ob folgende Faktoren das primäre oder das sekundäre Geschlechterverhältnis beeinflussen und ob sie den Jungenüberschuss erhöhen oder verringern:
- Y-Spermien sind nach der Freisetzung schneller, beweglicher, aber kurzlebiger als X-Spermien, sie haben einen Befruchtungsvorteil beim Geschlechtsakt kurz vor dem Eisprung.
 - Nach längerer sexueller Enthaltsamkeit überwiegen im Sperma zunehmend Y-Spermien, da X-Spermien nach der Meiose schneller abgebaut werden.
 - Männliche Keime haben eine höhere Sterblichkeit, weil sie bezüglich des X-Chromosoms hemizygot sind und rezessiv letale Mutationen nicht durch ein homologes X-Chromosom ausgleichen können.
 - erhöht das primäre Geschlechterverhältnis
 - erhöht das primäre Geschlechterverhältnis
 - verringert das sekundäre Geschlechterverhältnis

Y: Der kleine Unterschied (Seite 59)

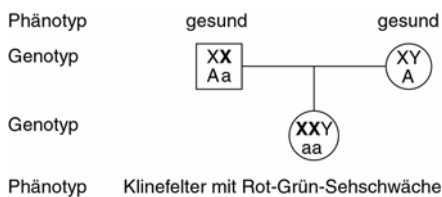
- ① Populärwissenschaftlich wird die Analyse des Y-Chromosoms gelegentlich mit einer Suche nach dem genetischen Adam verglichen, die Analyse der mitochondrialen DNA mit der Suche nach der genetischen Eva. Erklären Sie und erläutern Sie die Bedeutung für evolutionsbiologische Fragestellungen.
- *Das Y-Chromosom wird vom Vater stets an den Sohn weitergegeben, es rekombiniert kaum mit dem mütterlichen X-Chromosom. Die Gene auf dem Y-Chromosom lassen sich also theoretisch bis zum „ersten Vater“ in der Evolution des Menschen zurückverfolgen. Unterschiede in der Basensequenz geben daher Aufschluss über das evolutive Alter und die Verwandtschaft, da sich Mutationen allmählich anhäufen. Die Mitochondrien stammen dagegen von der Eizelle, werden also durch maternale Vererbung weitergegeben und lassen sich theoretisch bis zur „ersten Mutter“ in der Evolution des Menschen zurückverfolgen. Da auch in der mt-DNA keine Rekombination stattfindet und sich Mutationen anhäufen, benutzt man die mt-DNA als molekulare Uhr.*

Gonosomale Chromosomenabweichungen (Seite 60)

- ① In welchem Abschnitt der Meiose muss bei der Entstehung der Spermazellen eine Fehlverteilung stattfinden, damit bei anschließender Befruchtung das Diplo-Y-Syndrom zustande kommen kann?
 - Wenn in der Meiose II die beiden Y-Chromatiden nicht getrennt werden, entsteht ein Spermium, das zu XYY führen kann.
- ② Welche möglichen Karyotypen erwarten Sie bei den Kindern eines Mannes mit dem Diplo-Y-Syndrom? Begründen Sie Ihre Antwort.
 - Mit je 25 % Wahrscheinlichkeit entstehen Keimzellen mit X, Y, XY, YY. Die beiden ersten führen zu normalen Kindern, die beiden anderen zum Klinefelter- bzw. Diplo-Y-Syndrom.
- ③ Erklären Sie die beiden Erbgänge in der Randspalte. Geben Sie dabei die Genotypen der beteiligten 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*



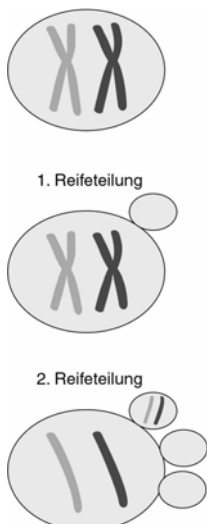
Durch Nondisjunction in der 1. Reifeteilung können Spermien mit beiden Gonosomen oder Spermien ohne Gonosom entstehen. Wenn eines der gonosomenfreien Spermien zufällig eine Eizelle befruchtet, die in der 1. Reifeteilung das X-Chromosom mit dem Allel *a* erhielt (X), entsteht ein Turner-Mädchen (45, X0).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

Das Down-Syndrom (Seite 61)

- ① Informieren Sie sich, wie Karyogramme angefertigt werden (s. Seite 17).
 - Lösung s. Schülerbuchseite 17
- ② Eine freie Trisomie 21 kann auch auf eine fehlende Chromosomentrennung (Nondisjunction) in der Meiose I zurückgehen. Entwerfen Sie ein Schema analog zur Randspaltenabbildung.
 - siehe Abbildung



Material: Pränatale Diagnostik (Seite 62)

- ① Zeichnen Sie den Stammbaum folgender Familie und berechnen Sie folgende Wahrscheinlichkeiten.
 - a) Das erste Kind eines phänotypisch gesunden Elternpaares leidet an einer autosomal-rezessiv vererbten Krankheit. Wie groß ist die Erkrankungswahrscheinlichkeit für das nächste Kind?
 - b) Ein Elternteil ist Überträger einer autosomal-rezessiv vererbten Krankheit, der andere homozygot gesund. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, dass ihr Kind erkrankt? Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, dass ihr Kind Überträger ist?
- a) *Die Eltern müssen heterozygote Träger der Mutation sein. Die Wahrscheinlichkeit, dass die Mutation in eine Keimzelle gelangt, ist jeweils $\frac{1}{2}$. Für jede Zygote $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$, also 25%.*
b) *0% für die Erkrankung, 50% für die Übertragung.*
- ② Vergleichen Sie die Methoden hinsichtlich des Risikos für das Kind und der Zeit, die den Eltern für eine Entscheidung bleibt.
 - *Das Risiko für eine Fehlgeburt ist bei der Amniozentese am geringsten (0,5%), dicht gefolgt von der Chorionzottenbiopsie (0,5–1%). Die Chorionzottenbiopsie kann allerdings schon einen Monat früher vorgenommen werden und lässt den Eltern mehr Zeit für eine Entscheidung.*
- ③ Welchen Eltern würden Sie zu einer pränatalen Diagnostik raten?
 - *erhöhtes Alter der Schwangeren, verdächtiger Ultraschallbefund oder auffälliges Ergebnis beim Triple-Test, familiäres Risiko für eine genetische Erkrankung oder Behinderung*
- ④ Der Triple-Test misst die Konzentration von drei Hormonen im Blut der Mutter (ab der 15. Schwangerschaftswoche). Bei genauer Kenntnis des Schwangerschaftsalters kann aus den Messwerten errechnet werden, ob ein erhöhtes Risiko besteht, dass das ungeborene Kind am Down-Syndrom oder an einer gestörten Entwicklung des Neuralrohres („offener Rücken“, Spina bifida) leidet. Es gibt jedoch viele falschpositive oder einige falschnegative Ergebnisse. Diskutieren Sie Vor- und Nachteile des Tests.
 - *Ein unauffälliges Testergebnis ist keine Garantie für ein gesundes Kind, sondern liefert nur eine Aussage über veränderte Wahrscheinlichkeiten für ein krankes Kind, es kann eine Amniozentese also nicht vollständig ersetzen. Der Test liefert unauffällige Ergebnisse z.B. wenn das Stadium der Schwangerschaft nicht genau bekannt ist (unter 15 Wochen). Ein auffälliges Testergebnis muss unbedingt durch eine Amniozentese bestätigt werden, es kann sonst die werdenden Eltern unnötig ängstigen.*
- ⑤ PID ist in Deutschland umstritten. Stellen Sie Argumente der Befürworter und Gegner gegenüber. Bilden Sie sich eine eigene Meinung.
 - *Pro: Warum soll es verboten sein, eine genetische Behinderung vor der Implantation des Keimes festzustellen, wenn die Abtreibung des implantierten Keimes noch Monate später aus gleichem Anlass erlaubt ist?*
Contra: Auswahl von Embryonen gleicht einer „Qualitätskontrolle“ für ungeborene Kinder (Geschlechtswahl u.a.), menschliche Selektion wird möglich, Problematik von Designer-Babys, wo bleibt das Lebensrecht für Behinderte?

Fortpflanzung im Reagenzglas (Seite 64)

- ① Recherchieren Sie z.B. im Internet, wie die In-vitro-Fertilisation in Deutschland rechtlich geregelt ist (mögliche Suchbegriffe: Embryonenschutzgesetz, Fremdsamenspende, Eizellspende, Leihmutterschaft, überzählige Embryonen).
 - *Das deutsche Embryonenschutzgesetz von 1990 verbietet die Gefrierkonservierung oder Weiterverwendung überzähliger Embryonen, Eizellspende und Leihmutterschaft. Strafbar macht sich auch, wer Erbinformationen einer menschlichen Keimzelle künstlich verändert, oder identische Kopien (Klone) schafft. Eizellen, in die soeben ein Spermium eingedrungen ist, dürfen aufbewahrt werden. Sie gelten nicht als Embryonen, da die Zellkerne von Spermium und Ei noch nicht miteinander verschmolzen sind.*
- ② In Italien ist eine Samenspende, die nicht vom Ehemann oder Lebenspartner stammt, verboten. Nennen Sie Argumente für und gegen eine Samenfremdspende, die jeweils eine beschreibende und eine wertende Aussage und eine Schlussfolgerung enthalten.
 - *z.B. Pro: Ein Paar kann seinen Wunsch nach eigenen Kindern auf natürlichem Wege nicht erfüllen (beschreibende Aussage). Eltern haben das Recht ein eigenes Kind zu bekommen (wertende Aussage). Also ist eine Samenspende durch Fremde legitim (Schlussfolgerung).*
z.B. Contra: Das Kind wird nicht von seinem leiblichen Vater erzogen (beschreibende Aussage). Das Kind hat aber das Recht, über seinen leiblichen Vater informiert zu werden und auch Kontakt mit ihm zu haben. Es hat auch das Recht zu entscheiden, wer die Vaterrolle übernehmen soll (wertende Aussage). Das könnte zu Interessenskonflikten zwischen Eltern und Kind führen. Aus diesem Grund ist eine Fremdspende abzulehnen.

Material: Mukoviszidose (Seite 65)

- ① Nennen Sie Bedingungen, unter denen eine Erbkrankheit, deren Anlage rezessiv ist, in einer Population erhalten bleibt.
 - a) *Rezessive erbbedingte Krankheiten können in einer Population erhalten bleiben, wenn die Träger Nachkommen zeugen können.*
 - b) *Die Wahrscheinlichkeit ein krankes Kind zu bekommen liegt bei 25 %. Die anderen sind gesund, können jedoch auch wieder Überträger sein.*
 - c) *Kranke, doppelt rezessive Eltern würden aufgrund der Symptome (zäher Schleim hemmt die Spermienbeweglichkeit) meist keine Kinder bekommen. Diese wären dann zu 100 % auch krank.*
- ② Erklären Sie, inwieweit bei einer monogen bedingten Krankheit wie Mukoviszidose eine Gentherapie leichter durchführbar ist als bei einer polygen bedingten Krankheit.
 - *Eine Gentherapie besteht darin, intakte DNA-Abschnitte z.B. in Liposomen in die Zellen der Lunge einzuschleusen, um diese anstelle der mutierten Bestandteile als Bauelemente für die m-RNA verwenden zu können. Dieses Verfahren ist bei einer monogenen Krankheit einfacher als bei einer polygen bedingten Krankheit.*

5 Entwicklung

Stammzellen: Alleskönner und Vielkönner (Seite 68)

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

Material: Klassische Experimente (Seite 69)

- ① Informieren Sie sich über die Fortpflanzung bei Amphibien und beschreiben Sie die Entwicklung von der Zygote bis zur Neurula (Abb. linker Teil).
 - *Quaken als Lockruf, Aufreiten des Männchens, gleichzeitige Abgabe von Spermien und ca. 1000 bis 4000 Eiern in Gallerthülle, äußere Besamung und Befruchtung. Die befruchteten Eier sinken zunächst ab und steigen nach dem Aufquellen der Gallert-hülle an die Wasseroberfläche („Schwimmweste und Treibhaus“). Der schwarze Pol orientiert sich Richtung Sonne (dotterarm, daher leichter) und absorbiert Sonnenlicht.
Gegenüber der Spermieneintrittsstelle entsteht ein grauer Halbmond (zukünftiger Rücken). Die Furchung ist total inäqual (bilateral).*
Blastula: entsteht nach 24 Stunden (primäre Leibeshöhle)
Gastrula: Urdarmbildung (Entoderm), das Urdarmdach bildet das Mesoderm (sekundäre Leibeshöhle, Bindegewebe, Muskeln), äußerlich sichtbar ist der Urmund.
Neurula: Das Ektoderm bildet eine Rinne (späteres Rückenmark), das Mesoderm bildet die Chorda (wird später ersetzt durch Wirbelsäule), der Urmund wird zum After, ein Mund entsteht neu im Kopfbereich.
- ② Leiten Sie aus den Schnürversuchen ab, welchen Einfluss der graue Halbmond auf die weitere Entwicklung hat (Abb. oben).
 - *Nur Zellmaterial, das Teile des grauen Halbmondes enthält, entwickelt sich weiter. Der Halbmond ist also ein Organisator, der die weitere Entwicklung induziert.*
- ③ Trennt man die beiden Blastomeren im Zweizellstadium eines Seeigelkeimes voneinander, entwickeln sich zwei Larven, aus einem ebenso behandelten Fadenwurm-Keim geht kein lebensfähiges Tier hervor. Nennen Sie Entwicklungstyp und Entwicklungspotenz der Keime von Amphibien, Seeigel und Fadenwurm.
 - *Mosaikentwicklung: Fadenwurm (totipotent ist nur die Zygote).
Regulationsentwicklung: Amphibien, Seeigel (totipotent sind auch die Zellen der ersten Furchungsstadien).*
- ④ Leiten Sie aus den Transplantationsversuchen ab, wann die Determination im Amphibienkeim stattfindet (Abb. Mitte und unten).
 - *Während der Gastrulation, denn vorher entwickeln sich Transplantate ortsgemäß, danach herkunftsgemäß.*

Individualentwicklung und Genregulation (Seite 71)

- ① Mutationen in Bicoid-Genen werden phänotypisch erst in der Nachfolgenergeneration sichtbar. Begründen Sie diese Aussage.
 - *Da die Bicoid-m-RNA von der Mutter erzeugt wird und in den Embryo „injiziert“ wird, zeigen sich Mutationen im mütterlichen Bicoid-Gen an Entwicklungsstörungen des Eies, also der folgenden Generation.*

Material: Programmierter Zelltod (Seite 73)

- ① Zellen sterben auch nach Gewalteinwirkung oder Verbrennung. Erläutern Sie anhand Abb. 1, wie sich dieser als Nekrose bezeichnete Zelltod von der Apoptose unterscheidet.
 - *Nekrose: Durch äußere Gewalteinwirkung entstandene Zelltrümmer werden von Makrophagen aufgenommen.*
 - *Apoptose: Die Zelle schnürt membranumschlossene Bläschen ab, die von Makrophagen aufgenommen werden.*
- ② Die Nekrose wird oft einem „Mord“, die Apoptose einem „Selbstmord“ gleichgesetzt. Erklären Sie.
 - *Die Nekrose beruht auf äußerer Gewalteinwirkung auf die Zelle, die Apoptose wird durch die Zelle selbst eingeleitet.*
- ③ Beschreiben Sie die Entwicklung des menschlichen Fußes und bringen Sie diese Entwicklung mit der Apoptose in Zusammenhang (Abb. 1).
 - *Zunächst sind die fünf Zehen des Fußes noch durch Gewebe miteinander verbunden. Dieses Gewebe wird später abgebaut, die Zehen sind dann frei beweglich. Das Absterben der Zellen erfolgt zu einem bestimmten Zeitpunkt und in koordinierter Weise – es ist genetisch programmiert.*
- ④ Bei vielen Tieren werden in der Entwicklung Zell- und Gewebeteile zurückgebildet. Nennen Sie Beispiele, für die Apoptose verantwortlich sein könnte.
 - *Schwanz der Kaulquappe, Gewebe der Raupe bei der Verpuppung, Rückbildung der Gebärmutter nach der Entbindung, Rückbildung der Kiemen bei der Metamorphose von Lurchen.*
- ⑤ Beim Menschen wird p53 von einem Gen auf Chromosom 17 codiert. Es wird als Tumorsuppressorgen bezeichnet, verhindert also die Entstehung von Krebs. Erklären Sie diese Wirkung.
 - *p53 gibt das Apoptose-Signal. Zellen, die sich in Krebszellen umgewandelt haben, vernichten sich dadurch selbst.*
- ⑥ Krebs auslösende Viren bilden ein Protein, das an p53 bindet und es dadurch inaktiviert. Inwieweit begünstigt das die Vermehrung der Viren?
 - *Inaktives p53 kann die Apoptose einer von Viren infizierten Zelle nicht mehr einleiten. Daher teilt sich die Zelle weiter und das Virus wird vermehrt.*
- ⑦ Rote Blutzellen besitzen keinen Zellkern und sind sehr kurzlebig. Warum werden gealterte Rote Blutzellen nicht durch Apoptose, sondern in einem speziellen Organ, der Leber, vernichtet?
 - *Rote Blutzellen haben keinen Zellkern, also keine Gene für die Apoptose.*

Krebs – Folge fehlgesteuerter Gene? (Seite 75)

- ① Die Mutation eines Proto-Onkogens zum Onkogen wirkt sich dominant aus, durch Mutation unwirksame Tumorsuppressorgene dagegen rezessiv. Begründen Sie jeweils.
 - *Onkogen: Es genügt die Anwesenheit eines einzigen Onkogens, um das Zellwachstum zu stimulieren.*
 - *Tumorsuppressorgen: Auch wenn ein Tumorsuppressorgen ausfällt, kann das andere die Tumorbildung verhindern.*
- ② Zigarettenrauch und Alkohol können ein Gen auf Chromosom 17 verändern, das für das Kontrollprotein p53 codiert (s. Seite 73). Erklären Sie den Zusammenhang mit der Krebs verursachenden Wirkung des Rauchens.
 - *p53 ist ein Tumorsuppressorgen, sein Ausfall kann die Entstehung von Krebs begünstigen.*
- ③ Informieren Sie sich über weitere Risikofaktoren, die zur Entstehung von Krebs führen können.
 - *siehe Tabelle*

Risikofaktor	geschätzter Anteil an Krebserkrankungen insgesamt
Rauchen	25 – 30%
Ernährung	30 – 40%
Alkohol	3%
Infektionen	5 – 15%
erbliche Faktoren	5%
berufliche Faktoren	4 – 8%
Luftschadstoffe	1%
ionisierende Strahlung	1 – 2%

(aus: Spektrum Krebs Spezial 2003)

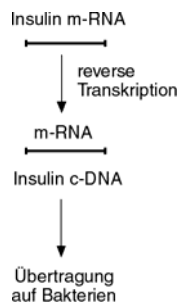
6 Gentechnik

DNA-Analyse (Seite 77)

- ① Ein PCR-Zyklus im Reagenzglas hat Ähnlichkeit mit der DNA-Replikation in Zellen. Begründen Sie.
 - Das „Schmelzen“ der DNA bei hohen Temperaturen entspricht der Auftrennung des doppelsträngigen DNA-Moleküls vor der Replikation. Sowohl bei der PCR als auch bei der Replikation wird die DNA durch Primer markiert, an die DNA-abhängige DNA-Polymerasen die komplementären Tochterstränge synthetisieren können. Nach einem PCR-Zyklus bestehen die Tochterstränge jeweils aus einem alten Elternstrang und einem neu synthetisierten Strang (semikonservative Replikation).
- ② Bei der PCR fungieren die neusynthetisierten DNA-Stränge als Matrizen des nachfolgenden Zyklus. Berechnen Sie die Zahl der Stränge nach 30 Zyklen.
 - 2^{30} Moleküle
- ③ Vervollständigen Sie die Basensequenz (Abb. 3).
 - ATAACAAGCGTAAGATTAACACAGCTCCGCTCT
- ④ Wie lautet die Basensequenz des Matrizen-DNA-Stranges?
 - TATTGTTTCGCATTCTAATTGTGCGAGGCAGA

Biotechnologie (Seite 79)

- ① Eukaryotische Gene sind meist gestükkelt, d.h. sie besitzen codierende Bereiche (Exons) und nicht codierende (Introns), prokaryotische hingegen nicht. Erklären Sie, mit welchen Schwierigkeiten bei der Übertragung von eukaryotischer DNA auf Bakterien zu rechnen ist.
 - Die Gene können nicht korrekt translatiert werden, da die Introns in Bakterien nicht entfernt werden können.
- ② Das Enzym Reverse Transkriptase besitzt die Fähigkeit, m-RNA in DNA „zurück zu übersetzen“. Stellen Sie sich vor, Sie bekämen aus menschlichen Bauchspeicheldrüsen reife Insulin-m-RNA und das Enzym Reverse Transkriptase zur Verfügung gestellt.
Wie würden Sie das in Aufgabe 1 diskutierte Problem experimentell lösen? Skizzieren Sie einen Versuchsplan.
 - s. Abbildung



- ③ Viele eukaryotische Proteine werden nach ihrer Translation an den Ribosomen in das Endoplasmatische Retikulum eingeschleust und dort modifiziert. Es werden z.B. oftmals Kohlenhydratreste hinzugefügt. Bei Bakterien gibt es derartige posttranslationale Modifikationen nicht. Es werden meist auch keine Disulfidbrücken zwischen den Resten der Aminosäure Cystein geknüpft wie beim Insulin.
Welche Probleme resultieren daraus bei der Insulinproduktion durch Bakterien?
 - Wenn die Kohlenhydratreste für die Funktion des Proteins wichtig sind, wirkt das Protein nicht richtig. Fehlende Disulfidbrücken führen zu einer nicht korrekten Raumstruktur.
- ④ Mehrere Pflanzenarten, die landwirtschaftlich genutzt werden, sind im Labor bereits mit Fremdgenen versehen worden. Dabei ging es z.B. um die Resistenz gegen Viren, Herbizide oder Trockenheit. Die meisten Pflanzenvektoren tragen ein Gen, das gegen das Antibiotikum Kanamycin resistent macht. In Tierversuchen konnte die Befürchtung zerstreut werden, die Produkte der Resistenzgene könnten für den Menschen toxisch sein. Warum weisen Pflanzenvektoren Resistenzgene auf? Welche medizinischen und ökologischen Probleme könnten Resistenzgene in Lebensmitteln verursachen?
 - Vektoren weisen Resistenzgene auf, um die Zielzellen, die den Vektor aufgenommen haben, von solchen ohne Vektor zu trennen (Selektion). Handelt es sich um Antibiotika-Resistenzgene, die sich z.B. auf Plasmiden befinden, können die Plasmide von Bakterien aufgenommen werden. Durch Transformation wären diese dann gegen das entsprechende Antibiotikum resistent. Das Antibiotikum wäre medizinisch wertlos geworden. Handelt es sich um Resistenzgene gegen Herbizide, die auf Kulturpflanzen übertragen werden, kann die Resistenz auf „Unkräuter“ übertragen werden. Das Herbizid wäre gegen diese unwirksam.

Genetischer Fingerabdruck (Seite 81)

- ① Erklären Sie, warum DNA-Bereiche, die für Proteine codieren, für den genetischen Fingerabdruck ungeeignet sind.
 - *Proteine können ihre Funktion nur dann erfüllen, wenn ihre Struktur dazu geeignet ist. In Genen, die für Proteine codieren, sind daher wenige Mutationen möglich. Die DNA-Sequenzen in Genen sind sich sehr ähnlich und bieten kaum individuelle Unterschiede. Sie sind daher für den genetischen Fingerabdruck ungeeignet.*
- ② Erklären Sie, warum die Sicherheit eines genetischen Fingerabdrucks mit der Anzahl der untersuchten Microsatelliten (STRs) steigt.
 - *Je mehr STRs untersucht werden, umso unwahrscheinlicher ist es, dass jemand genau die gleiche Kombination von Wiederholungen in allen untersuchten STRs aufweist.*
- ③ Analysieren Sie das Ergebnis des Vaterschaftstestes in Abbildung 2 und erklären Sie, welcher Mann als Vater infrage kommt.
 - *Der Vater ist V3. Die untere Bande der Analyse bei der Tochter findet man bei der Mutter, die obere stimmt mit dem Test von V3 überein.*

Gentechnik in der Landwirtschaft (Seite 85)

- ① Informieren Sie sich über die Argumente für und gegen die Gentechnik am Beispiel von Herbizidresistenz, Insektenresistenz und „Anti-Matsch-Tomate“.
 - *Herbizidresistenz:*
 - Pro: Herbizide können gezielter eingesetzt werden, oft schon früh in der Vegetationsperiode, was auch die Einsatzmenge reduziert.*
 - Contra: Abnehmer geraten in Abhängigkeit von Gentech-Firmen, da sie Saatgut nicht mehr selbst gewinnen können. Der Herbizideinsatz wird möglicherweise vermehrt. Gesundheitsbedenklichkeit transformierter Pflanzen, Auswilderungsrisiko*
 - *Insektenresistenz:*
 - Pro: Weniger Insektizide sind nötig.*
 - Contra: Gesundheitsbedenklichkeit und Auswilderungsrisiko transformierter Pflanzen*
 - *„Anti-Matsch-Tomate“:*
 - Pro: bessere Transport- und Lagerfähigkeit*
 - Contra: Unsichtbares Altern und Verlust von Vitaminen und anderen Inhaltsstoffen. Die Tomate altert trotzdem, ihr Vitamin-gehalt nimmt ab. Gesundheitsbedenklichkeit transformierter Pflanzen.*

Material: Gen-Ethik (Seite 86/87)

Gentechnisch veränderte Pflanzen oder Mikroorganismen müssen gekennzeichnet werden. Bei gentechnisch veränderten Bestandteilen werden die Kennzeichnungen unter Umständen komplex.

Wichtige Webadressen hierzu:

<http://www.transgen.de/home/>

<http://www.bmelv.de/SharedDocs/Standardartikel/Landwirtschaft/Pflanze/GrueneGentechnik/Gentechnikrecht.html>

<http://www.gentechnikfreie-regionen.de/hintergruende/recht.html>

http://www.bund.net/bundnet/themen_und_projekte/gentechnik/gesetze_und_zulassungen/eu_gentechnik_recht/

http://www.umwelt.nrw.de/umwelt/bio_gentechnik/gentechnikrecht/index.php

<http://www.mpiz-koeln.mpg.de/oeffentlichkeitsarbeit/FAQ/FAQBio/index.html>

Bei der Bearbeitung der weiteren Aufgaben geht es um Stellungnahmen auf der Basis von Fachwissen. Bei der Urteilsfindung und der daraus entstehenden Diskussion geht es nicht um persönliche Wertvorstellungen.

Aspekte hierbei sind:

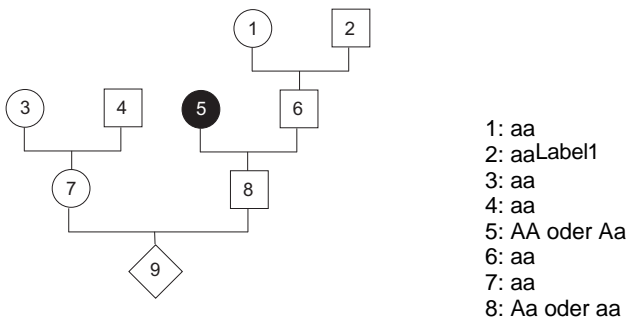
- der thematisch sachbezogene Wortschatz unter Verwendung der Fachbegriffe,
- aufeinander bezogene Argumente,
- Argumentation mit rotem Faden,
- das Abwägen von Argumenten,
- Differenzierung der eigenen Argumente hinsichtlich der Geltungsbereichweite,
- Bündelung von Gegenargumenten und eigenen Argumenten.

Material: Genetik und Gentechnik (Seite 88/89)

- ① Übernehmen Sie die Tabelle in Ihr Heft und ergänzen Sie die prozentualen Anteile der Basen mithilfe Ihres Kenntnisstandes über den genetischen Code. Begründen Sie Ihre Angaben.
– siehe Tabelle

Herkunft	Adenin	Thymin	Guanin	Cytosin
Mensch, Haar	30	30	20	20
Mensch, Auge	30	30	20	20
Escherichia coli	34	34	16	16
Grippe-Virus	30	26	26	18

- ② Welchen Typ von Erbsubstanz besitzen die verschiedenen Lebewesen? Begründen Sie Ihre Meinung anhand der Daten der Tabelle (s. Seite 10–29).
– Mensch: doppelsträngige DNA. Die Basen Adenin und Thymin wie auch Guanin und Cytosin treten als Basenpaare auf und kommen daher in gleicher Prozentzahl vor. Sie addieren sich zu 100 %.
Escherichia coli: doppelsträngige DNA. Die Basen Adenin und Thymin wie auch Guanin und Cytosin treten als Basenpaare auf und kommen daher in gleicher Prozentzahl vor. Sie addieren sich zu 100 %.
Grippe-Virus: einsträngige DNA. Die Basen Adenin und Thymin, wie auch Guanin und Cytosin kommen in unterschiedlichen Prozentzahlen vor. Ihre Addition ergibt 100 %.
- ③ Benennen Sie die Zelltypen (rote Zahlen der Abbildung), die im Verlauf der Entwicklung eines Menschen auftreten und geben Sie jeweils den Chromosomenbestand an (z.B. 1: Urkeimzelle 2n, 2C). Welche Vorgänge (blaue Zahlen) laufen in der Entwicklung der Zellen ab? Geben Sie jeweils den Chromosomenbestand an.
– 1: Urkeimzelle, 2n, 2C; 2: Reduktionsteilung, 1n, 2C; 3: Äquationsteilung, 1n, 1C; 4: Interphase, 1n, 2C; 5: Keimzelle, 1n, 2C; 6: Befruchtung; 2n, 2C; 7: Zygote, 2n, 2C; 8: Mitose, 2n, 1C; 9: Interphase, 2n, 2C; 10: Körperzelle, 2n, 1C
- ④ Im Biologie-Heft eines chinesischen Schülers findet man folgende Skizze: Übersetzen Sie die an den Ziffern befindlichen Schriftzeichen.
– 1 = Anaphase; 2 = Chromatiden; 3 = Spindelfasern; 4 = Centriol
- ⑤ Bestimmen Sie anhand der abgebildeten Codesonne die Aminosäuresequenz des entstehenden Peptidausschnitts.
– t-RNA: 3' UAC GGC ACG GUG 5'
m-RNA : 5' AUG CCG UGC CAC 3'
Aminosäure: Met Pro Cys His
- ⑥ Bei einem späteren Translationsvorgang einer Mutante des gleichen Gens bindet statt der dritten t-RNA eine fehlerhafte t-RNA, deren mittlere Base ausgetauscht wurde. Erläutern Sie eine mögliche Ursache für diese Veränderung. Welche verschiedenen Auswirkungen ergeben sich dadurch für die Aminosäuresequenz des Polypeptids?
– Bei Austausch von C gegen U muss das m-RNA-Triplett UAG sein: Statt Aminosäure Tyr wird ein Stoppcodon abgelesen. Das Protein wird nicht gebildet.
Bei Austausch von C gegen G muss das m-RNA-Triplett UCG sein: Die Aminosäure Ser wird statt Trp gebildet.
Bei Austausch von C gegen A muss das m-RNA-Triplett UUG sein: Die Aminosäure Leu wird statt Trp gebildet.
Je nachdem, welche Rolle die ursprüngliche Aminosäure im Polypeptid hatte, kann dies unterschiedliche Wirkungen haben.
- ⑦ Werten Sie die Abbildung aus. Begründen Sie, warum die Krankheit trotz tödlichen Verlaufs bei dominanter Vererbung immer wieder auftritt.
– Chorea Huntington-Patienten weisen mehr als 35 CAG-Wiederholungen auf. Die Schwere der Krankheit nimmt mit zunehmender Wiederholungszahl zu. Je mehr CAG-Wiederholungen vorhanden sind, desto früher erkrankt die Person. Viele Menschen erkranken erst nach bzw. im fortpflanzungsfähigen Alter mit ca. 20 bis 50 Jahren. Die Gene werden daher oft weitergegeben.
- ⑧ Erstellen Sie eine Stammbaumskizze der beschriebenen Familie mit allen möglichen Genotypen.
– siehe Abbildung



- ⑨ Leiten Sie mit Kombinationsquadraten aus dem Stammbaum ab, mit welcher Wahrscheinlichkeit das erwartete Kind von dieser Krankheit betroffen ist.

– Fall 1: Genotyp Aa: Wahrscheinlichkeit 50 %

	A	a
a	Aa	aa
a	Aa	aa

Fall 2: Genotyp aa: Wahrscheinlichkeit 0 %

	a	a
a	aa	aa
a	aa	aa

Gesamtwahrscheinlichkeit 25 %

- ⑩ Erklären Sie das Zustandekommen der Genotypen der Kinder.

– Der Großvater besitzt ein X-Chromosom mit beiden Defekten (Rot-Grün-Schwäche und Bluter). Dadurch ist die Mutter Konduktorin für beide Krankheiten, wobei beide mutierten Allele auf einem Chromosom liegen. Der Vater ist geno- und phänotypisch gesund.

Kind Nr. 5 erhielt von der Mutter das intakte X-Chromosom.

Kind Nr. 6 erhielt von der Mutter das X-Chromosom mit beiden Defekten.

Kind Nr. 7 erhielt von der Mutter ein X-Chromosom mit nur dem Allel für die Bluterkrankheit, was durch Crossingover zustande kommen kann.

Kind Nr. 8 erhielt von der Mutter ein X-Chromosom mit nur einem Allel für die Rot-Grün-Schwäche, was ebenfalls nur durch Crossingover zustande kommen kann.

- ⑪ Begründen Sie, ob man aus dem vorgegebenen Familienstammbaum die beiden Krankheiten jeweils eindeutig dem bekannten Erbgangstyp zuordnen kann.

– Nein, man kann nur sicher sagen, dass der Erbgang rezessiv ist, das gesunde Eltern auch kranke Kinder bekommen. Ob die Krankheit autosomal oder gonosomal vererbt wird, ist durch den Stammbaum nicht ersichtlich.

- ⑫ Geben Sie die Genotypen für alle Personen des Stammbaums an.

– 1: $X_{AB}X_{ab}$ bzw. $X_{AB}X_{aB}$; 2: $X_{ab}Y$; 3: $X_{AB}X_{ab}$; 4: $X_{AB}Y$; 5: $X_{AB}Y$; 6: $X_{ab}Y$; 7: $X_{AB}Y$; 8: $X_{ab}Y$

- ⑬ Person 6 heiratet eine phänotypisch gesunde Frau. Aus dieser Ehe geht eine Tochter hervor, die das unten abgebildete Karyogramm aufweist. Stellen Sie begründet dar, ob diese Tochter ebenfalls den Phänotyp ihres Vaters bzw. seiner drei Brüder aufweisen könnte.

– Die Tochter besitzt das Turner-Syndrom, da sie nur ein X-Chromosom besitzt. So wirken sich alle Mutationen auf dem X-Chromosom sofort aus. Wenn sie das X-Chromosom vom Vater erhalten hat, dann hat sie auch seinen Phänotyp. Hat sie das X-Chromosom von der Mutter erhalten, dann kann sie je nach Genotyp der Mutter unterschiedliche Phänotypen besitzen. Da die Mutter Konduktorin für eine Krankheit sein kann, ist es auch möglich, dass die Tochter die Phänotypen ihres Onkels aufweist.

- ⑭ Begründen Sie, welche Restriktionsenzyme für das Schneiden des Plasmids geeignet sind.

– Geeignete Restriktionsenzyme: Pst I, Sal I und Bam I, da sie in Bereichen von Antibiotikaresistenzgenen schneiden, sodass eine spätere Selektion möglich ist.

- ⑮ Durch die Anwendung verschiedener Kombinationen von Restriktionsenzymen erhält man DNA-Fragmente mit unterschiedlicher Länge. Beschreiben Sie ein Verfahren zur Bestimmung der Länge (Basenpaare) der unterschiedlichen DNA-Fragmente.

– Mit dem Verfahren der Gelelektrophorese lassen sich verschieden lange DNA-Fragmente ihrer Länge nach auftrennen. Die DNA wandert je nach Fragmentlänge unterschiedlich schnell in einem Agarosegel. Da die DNA negativ geladen ist, wandern die Fragmente zum Plus-Pol, wobei kürzere Moleküle diesen schneller erreichen.

- ⑯ Stellen Sie das Prinzip der Gewinnung des entsprechenden Hybridplasmids mithilfe beschrifteter Skizzen dar.

– Man gewinnt Fremd-DNA aus menschlichen Zellen und Plasmide aus Bakterienzellen. Das Plasmid wie auch die Fremd-DNA wird mithilfe von Restriktionsenzymen, z.B. Bam I geschnitten. Beide Fragmente werden dann mithilfe von Ligase zu einem Hybridplasmid zusammengefügt.

- ⑰ Leiten Sie aus den Angaben her, wie man Kolonien von Bakterien, die das gewünschte Plasmid mit Fremd-DNA enthalten, von anderen Bakterien unterscheiden kann.

– Das Hybridplasmid besitzt nur ein intaktes Antibiotikaresistenzgen für Ampicillin. Das Resistenzgen für Tetracyclin wurde durch den Einbau der Fremd-DNA zerstört. Man gibt nun die Bakterien auf ein Nährmedium mit Ampicillin. So kann man diejenigen Bakterien aussortieren, die kein Plasmid aufgenommen haben. Nun fertigt man mit einem Samtstempel eine Kopie des Koloniemusters an und drückt diese Kopie auf eine Nährplatte mit Tetracyclin. Die Bakterien, die das Hybridplasmid aufgenommen haben, können hier nicht wachsen. Durch Vergleich mit der Ausgangsplatte lassen sich diese identifizieren und gezielt vermehren.

Nerven, Sinne und Hormone

1 Reizaufnahme und Erregungsleitung

Praktikum: Nervenzelle (Seite 93)

- ① Vergleichen Sie beide Abbildungen in ihrer Aussagekraft. Weshalb erscheinen im Foto die Axone nicht in ihrer vollen Länge?
 - Die Golgi-Färbung ordnet die erkennbaren Nervenzellen in der Großhirnrinde der Katze verschiedenen Schichten zu. Die Zeichnung von CAJAL verdeutlicht das Netzwerk der Neuronen und den Verlauf der einzelnen Fortsätze.

Fortleitung des Aktionspotentials (Seite 101)

- ① Erklären Sie, warum die saltatorische Erregungsleitung weniger Energie benötigt als die kontinuierliche.
 - Bei der saltatorischen Fortleitung 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 der ATP verbrauchenden Na^+ - K^+ -Pumpe ab, deren Pumprate von der intrazellulären Na^+ - und der extrazellulären K^+ -Ionenkonzentration abhängt.
- ② Im Experiment wird ein präpariertes Axon in der Mitte überschwellig gereizt. Wie unterscheidet sich die Erregungsleitung in diesem Versuch von der unter natürlichen Verhältnissen?
 - Unter natürlichen Verhältnissen läuft das Aktionspotential nur vom Axonhügel in Richtung Synapse, da die hinter dem Aktionspotential liegenden Bereiche refraktär sind. Bei experimenteller Reizung in der Mitte des Axons könnte sich die Erregung nach beiden Seiten ausbreiten.

Material: Erkenntnisgewinnung (Seite 102/103)

- ① Beschreiben Sie die Vorgänge zu den Messwerten der Kalium- und Natriumionen und bringen Sie diese mit der Entstehung des Aktionspotentials in Zusammenhang.
 - Geöffnete K^+ -Kanäle erzeugen das Ruhepotential, K^+ -Ionen folgen dem Konzentrationsgefälle nach außen.
 - Durch einen Reiz ausgelöste Spannungsänderungen führen zur Öffnung einiger Na^+ -Kanäle. Na^+ -Ionen bewegen sich in Richtung des Konzentrationsgradienten nach außen. Depolarisierung in Richtung des Schwellenwertes.
 - Weitere spannungsabhängige Kanäle werden geöffnet (Overshoot).
 - Durch Spannungsänderung werden die Na^+ -Kanäle geschlossen und zeitverzögert spannungsabhängige K^+ -Kanäle geöffnet. K^+ -Ionen strömen nach außen (Repolarisierung).
- ② Stellen Sie die Patch-Clamp-Messung in eigenen Worten dar und erklären Sie Form und Amplitude der Einzelmessergebnisse (s. Seite 95).
 - Die Messung erfolgt über einen sehr kleinen Abschnitt der Neuromembran. Die Wahrscheinlichkeit der Öffnung einzelner Ionenkanäle kann durch die Leitfähigkeit gemessen werden. Bei den Einzelkanalmessungen entspricht die Breite der Amplitude der Öffnungszeit. Die Höhe (Amplitude) ist immer gleich. Dies entspricht dem Zustand: Kanal „offen“ oder Kanal „geschlossen“. Die Anzahl der Einzelimpulse entspricht der Reizstärke.
- ③ Tetrodotoxin, das Gift von Kugelfischen, wird zur Untersuchung der Kaliumionenkanäle verwendet, weil es die Natriumionenkanäle verschließt. Erläutern Sie, welche medizinische Bedeutung dieser Stoff bei der Zahnbehandlung hat, wenn er in die Umgebung der von den Zähnen kommenden Nerven gespritzt wird.
 - Tetrodotoxin im Gewebe an den Zähnen blockiert die sensorischen Neuronen durch Hemmung der spannungsabhängigen Na^+ -Ionenkanäle. Hierdurch können keine Na^+ -Ionen einströmen, trotz der Reizung beim Zahnarzt kann dadurch kein Aktionspotential gebildet werden.
- ④ Beschreiben Sie die Ergebnisse (Abb. 1) und erklären Sie die Vorgänge 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 von der Höhe des Konzentrationsunterschiedes der extra- und intrazellulären Kaliumionen.
- ⑤ Zeichnen Sie ein typisches Aktionspotential und tragen Sie die Veränderungen durch die Verringerung der extrazellulären Na^+ -Ionenkonzentration ein.
 - Bei Verringerung der extrazellulären Na^+ -Ionenkonzentration wird die im Kurvenverlauf typische Amplitude (bis ca. 30 oder 50 mV) schrittweise verringert.
- ⑥ Erklären Sie die Beobachtungen mithilfe der Ionentheorie des Aktionspotentials.
 - Nach Öffnung der spannungsabhängigen Na^+ -Kanäle diffundieren Natriumionen von außen nach innen. Dies umso mehr, je größer der Konzentrationsunterschied der Natriumionen zwischen außen und innen ist.
- ⑦ Erläutern Sie was passiert, wenn die Na^+ -Ionen nicht durch Glucosemoleküle ersetzt würden.
 - Die Veränderung der extrazellulären Na^+ -Ionenkonzentration am Axon führt zu veränderten osmotischen Werten. Ohne Zugabe der Glucose käme es zu einem Wassereinstrom in die Zelle, da die Konzentration der gelösten Stoffe in der Zelle höher wäre als außerhalb.

- ⑧ Begründen Sie die Wirkung von Cyaniden auf Neurone.
- Wird die Atmungskette blockiert, kann kein ATP mehr gebildet werden. Die Natrium-Kalium-Pumpe benötigt für den Transport der Ionen Energie in Form des ATP. Die Ionendifferenz scheint demnach so groß zu sein und die Veränderung der Konzentration während des Aktionspotentials so gering, dass erst einige Aktionspotentiale entstehen können, bis die Ionenverteilung nicht mehr zur Auslösung eines neuen Aktionspotentials ausreicht. Durch die geringe Ladungsdifferenz sinkt auch das Ruhepotential. Hinzu kommt, dass die spannungsabhängigen Na^+ -Ionenkanäle sich nicht mehr öffnen, wenn das Ruhepotential nicht mehr erreicht wird.
- ⑨ Berechnen Sie aus den dargestellten Messergebnissen die Leitungsgeschwindigkeit eines Nerven am Unterarm.
- 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 $0,27\text{ m} : 0,0046\text{ s} = 57,7\text{ m/s}$.
- ⑩ In der nebenstehenden Tabelle sind Beispiele für die mittlere Leitungsgeschwindigkeit unterschiedlicher Neurone angegeben. Leiten Sie aus den Daten die Faktoren ab, welche die Geschwindigkeit der Erregungsleitung beeinflussen und begründen Sie Ihre Angaben.
- 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.

2 Neuronale Schaltungen

Synapsen (Seite 105)

- ① Vergleichen Sie die Ionenkanäle eines Neurons am Axonhügel, am Axon und im synaptischen Spalt und erklären Sie die Unterschiede.
- Die Ionenkanäle in der Axonmembran sind spannungsgesteuert, reagieren also auf das elektrische Feld der Umgebung. In der postsynaptischen Membran (auf den Dendriten und im Bereich des Zellkörpers) hingegen befinden sich Rezeptorproteine, zu denen die Transmittermoleküle wie ein Schlüssel zum Schloss passen. Dies führt zu einer kurzen Formveränderung des Rezeptorproteins und zum Öffnen der Ionenkanäle (ligandengesteuerte Kanäle).
- ② Erklären Sie die Bedeutung der schnellen Spaltung der Transmittermoleküle im synaptischen Spalt.
- Die Transmittermoleküle wirken direkt oder indirekt auf die Ionenkanäle im synaptischen Spalt. Würden sie nicht sehr schnell abgebaut werden, könnten sich die ankommenden Impulse immer weiter addieren und es gäbe keine Abklingphase in der Erregung.
- ③ Erklären Sie die Bedeutung der Calcium-, Chlorid- und Natriumionen für die Erregungsweiterleitung.
- An der postsynaptischen Membran der erregenden Synapse werden Na^+ -Ionenkanäle geöffnet und führen zu einer Depolarisation. An der postsynaptischen Membran der hemmenden Synapse werden die Cl^- -Ionenkanäle geöffnet und führen zu einer Hyperpolarisation. Die Ca^{2+} -Ionen spielen auf der präsynaptischen Seite eine Rolle, da sie die Verschmelzung der synaptischen Bläschen mit der präsynaptischen Membran bewirken.

Material: Synapsengifte als Arzneimittel (Seite 109)

- 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, die sich gegen die schädigenden Antikörper richten.
- ③ Informieren Sie sich z.B. im Internet über gängige Therapieverfahren und erläutern Sie diese.
- Mögliche Adressen: www.dmg-online.de, www.myasthenia-gravis.de, www.dgn.org.
- ④ Beschreiben Sie das Experiment und seine Ergebnisse.
- 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 Wirkort und Wirkungsweise 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, um die Wirkung von Tubocurarin nach einer Operation aufzuheben?
- Alkylphosphate 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 für eine Kontraktion auszulösen.
- ⑨ Erläutern Sie, weshalb Atropin häufig vor Augenuntersuchungen auf das Auge getropft wird.
- Wird Atropin in den Bindehautsack des Auges getropft, 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, was eine Untersuchung des Augenhintergrunds erleichtert.
- ⑩ Geweitete Pupillen signalisieren anderen Menschen Aufmerksamkeit und machen eine Person „sympathischer“. Erklären Sie daraus die Bezeichnung „belladonna“ für das Gift der Tollkirsche.
- Früher wurde Atropin aus kosmetischen Gründen zur Pupillenerweiterung eingesetzt, das erklärt die wissenschaftliche Bezeichnung *Atropa belladonna* (*bella donna*, ital. = schöne Frau).
- ⑪ Atropin wird aber auch als Gegenmittel bei einer Vergiftung mit einem Acetylcholinesterase-Hemmstoff gegeben. Erläutern Sie dieses Vorgehen.
- 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.

Vom Reiz zur Reaktion (Seite 111)

- ① Erklären Sie, weshalb das Alles-oder-Nichts-Gesetz nicht für das Rezeptorpotential und das EPSP (s. Seite 105) gilt.
- In den Bereichen, in denen Rezeptorpotentiale entstehen, findet man keine spannungsabhängigen Na^+ -Ionenkanäle. Sie gibt es erst am Axonhügel und auf dem nachfolgenden Axon. Sie besitzen eine Schwelle, nach deren Überschreiten sie entsprechend dem Alles-oder-Nichts-Gesetz reagieren. In der für einen Reiz spezialisierten Region eines Neurons werden jedoch, je nach Reizstärke, unterschiedlich viele Ladungen durch die Membran verschoben, die zu verschiedenen Amplituden führen.
- ② Erklären Sie anhand der Abbildung 1 den Zusammenhang zwischen den Reizstärken, den Rezeptor- und Aktionspotentialen, sowie EPSP und beschreiben Sie den Einfluss der Reizdauer auf eine Frequenz- oder Amplituden-Codierung.
- 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 elektrotonisch ausbreitenden Rezeptorpotentials wird der Schwellenwert bei den spannungsabhängigen Na^+ -Ionenkanälen mehr oder weniger lange anhaltend erreicht und löst daher viele oder wenige Aktionspotentiale aus.

Neuromuskuläre Synapse – Motorische Endplatte (Seite 113)

- ① Erläutern Sie den als elektromechanische Kopplung bezeichneten Vorgang am Skelettmuskel anhand der Abb. 2.
- Die elektromechanische Kopplung verknüpft das elektrische Signal (Aktionspotential) mit der Kontraktion der Muskelfasern. Das Aktionspotential steigt steil an, erst verzögert steigt die Calciumionenkonzentration in den Muskelzellen. Die Calciumionen werden aus dem Sarkoplasmatischen Retikulum frei und gelangen in den Bereich des Aktins und Myosins. Stärker verzögert (erst beim Maximum der Ionenfreisetzung) erfolgt die Kontraktion, da die Ionen erst zu den Bindungsstellen zwischen Myosin und Aktin gelangen müssen.
- ② Muskelfasern enthalten viele Mitochondrien. Erklären Sie diesen Befund.
- In den Mitochondrien wird ATP gebildet. Nur in Muskeln, in denen viele Mitochondrien zur Verfügung stehen, erfolgt die Trennung von Myosin und Aktin sehr schnell und die Energie für die Kontraktion ist ausreichend vorhanden.

Reflexe (Seite 115)

- ① Lösen Sie den Kniesehnenreflex aus. Achten Sie auf die Reihenfolge von Reaktion und bewusster Wahrnehmung.
 - *Hinweis: Ursachen für das Nichtgelingen des Versuchs 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 ein Körperteil aufgefasst, so muss der Greifreflex als ein Eigenreflex gelten, allerdings werden zum Greifen wesentlich die Fingermuskeln angespannt, die nicht Ort der Reizung sind (Fremdreflex). In jedem Fall muss es sich um einen polysynaptischen Reflex handeln, da die Muskeln aller Finger beteiligt sind, und zwar jeweils Agonist und Antagonist.*
- ③ Der Herzschlag wird beim Menschen durch ständige, periodische Signale eines Muskelknotens (Sinusknoten) ausgelöst. Vergleichen Sie diesen Vorgang mit dem Ablauf eines Reflexes.
 - *Die rhythmische Kontraktion beruht auch auf einer einfachen Nervenschaltung, wird aber nicht durch singulär auftretende Außenreize ausgelöst.*

3 Sinnesorgane

Farben entstehen im Kopf (Seite 122)

- ① Beschreiben Sie die Zusammenhänge in Abb. 3 und erklären Sie daran die Aussage „Farben entstehen im Kopf“.
 - *Von der Sonne gelangen elektromagnetische Wellen in unsere Umgebung. Diese stellen jedoch noch keine Farben dar, sondern lösen spezifisch an unseren Zapfen Erregungen aus, die zum Gehirn geleitet werden. Hier wird den Erregungen eine Farbe zugeordnet. Betrachten wir eine Tomate werden bestimmte Wellenlängen an der Oberfläche absorbiert, andere reflektiert. Die reflektierten Wellenlängen gelangen zu unserem Auge, erregen in der Netzhaut den Rotzapfentyp. Die weitergeleitete Erregung löst im Gehirn die Wahrnehmung der roten Farbe aus.*

4 Bau und Funktion des Nervensystems

Nervensystem des Menschen (Seite 127)

- ① In Stresssituationen wird durch den Sympathicus die Leistungsfähigkeit gefördert. Zivilisationskrankheiten, wie z. B. erhöhtes Infarktrisiko, Vergrößerung der Nebennieren, Störung des Sexualverhaltens u.a. werden auch auf Dauerstress zurückgeführt. Zeigen Sie die Zusammenhänge auf (Abb. 1).
 - *Infarkt: Bei Dauerstress kommt es zu einer dauerhaften Erhöhung des Blutdrucks. Erhöhter Blutdruck ist ein Risikofaktor für die Arterienverkalkung und damit für den Herzinfarkt. Hinweis: Beim Herzinfarkt wird der Herzmuskel nicht mehr ausreichend mit Sauerstoff und Nährstoffen versorgt. Bei dauerndem Stress schlägt das Herz schneller und braucht daher mehr Sauerstoff und Nährstoffe zur Bedarfsdeckung. Sind bei einem Menschen die Arterien bereits zum Beispiel durch Arterienverkalkung verengt, kann nicht mehr so viel Blut hindurchfließen wie für das schnell schlagende Herz notwendig wäre. Folge ist eine relative Unterversorgung des Herzens (Angina pectoris) mit dem Herzinfarkt ähnlichen Beschwerden.*
Nebennierenvergrößerung: Die Stresshormone Adrenalin, Noradrenalin und bei Dauerstress auch Cortisol werden in den Nebennieren gebildet. Bei Dauerstress müssen diese Hormone dauerhaft in größeren Mengen gebildet werden, entsprechend vergrößert sich die endokrine Drüse, die Nebenniere.
Sexualverhalten: Die Sexualfunktionen sind komplex gesteuert. Sowohl der Sympathicus als auch der Parasympathicus sind beteiligt. Die Erektion des Mannes wird parasympathisch gesteuert. Bei Menschen, die im Dauerstress leben und diesen auch außerhalb der Arbeitswelt empfinden, besteht eine andauernde Stimulation des Sympathicus. Da das sympathische und das parasympathische System häufig gegensätzliche Wirkungen im Körper haben, ist in diesem Zustand die parasympathisch gesteuerte Erektion nur erschwert möglich. Folgen können zusätzlicher Stress auch im Sexualverhalten sein, was einer Erektion weiter abträglich ist. Abgesehen davon erscheint ein Partner im Dauerstress in einer Beziehung nicht unbedingt attraktiv.

Gehirn und Gedächtnis (Seite 133)

- ① Je länger wir uns mit einem Lerninhalt beschäftigen, desto besser bleibt er in Erinnerung. Erklären Sie diesen Zusammenhang mit den Vorgängen im Gehirn.
 - *Die häufige oder lange Beschäftigung mit Lerninhalten führt dazu, dass diese mit verschiedenen Inhalten des Langzeitgedächtnisses verbunden werden, da nach mehr Assoziationen gesucht wird. Immer wenn wir einen Inhalt neu aufrufen, ihn nutzen, wird er gleichzeitig auch neu verknüpft, d.h. zusätzlich gespeichert. So wird er schneller und aus vielen Aspekten abrufbar.*
- ② Gut gelaunt lernt man besser. Erläutern Sie, ob sich diese Aussage anhand der Vorgänge im Gehirn begründen lässt.
 - *Das limbische System mit der Amygdala spielt beim Einspeichern eine große Rolle. Sie weist den neuen Inhalten eine emotionale Bedeutung zu. Inhalte mit denen wir positive Gefühle verbinden oder einen Lernerfolg erahnen, lernen wir schneller, als Inhalte zu denen wir keine Beziehung haben oder die wir emotional ablehnen. Gute Laune erhöht die Aussicht auf erfolgreiches Lernen.*

5 Hormone

Die Hierarchie der Botenstoffe (Seite 135)

- ① Bei Winterschläfern wie der Fledermaus fand man im Herbst eine Rückbildung der Schilddrüse. Erst gegen Ende der Winterperiode erreichte sie wieder Normalgröße. Erläutern Sie die Zusammenhänge unter Berücksichtigung der biologischen Bedeutung des Winterschlafes.
- Während des Winterschlafs wird im Hypothalamus weniger TRF und resultierend in der Hypophyse weniger TSH gebildet. Die Folge ist eine geringere Produktion in der Schilddrüse, die entsprechend an Volumen verliert, was eine Verminderung des Grundumsatzes, der im Winterschlaf zur Überbrückung der kalten Jahreszeit mit schlechten Nahrungsbedingungen gewünscht ist, zur Folge hat.
*Hinweis: Der Winterschlaf ist ein Zustand der Lethargie zur Überbrückung der nahrungsarmen Zeit im Winter. Das Phänomen Winterschlaf findet sich bei einigen Säugern aus den Familien der Insektenfresser, Nagetiere und Fledermäuse. Die Winterschlafbereitschaft wird durch die verkürzte Tageslänge eingeleitet. Auslöser des Winterschlafs ist das Unterschreiten einer für jede Tierart spezifischen Außentemperatur. Aufgrund der niedrigeren Schilddrüsenhormonkonzentration im Blut sinkt während des Winterschlafs die Körpertemperatur bei den meisten Tieren auf 0 °C bis 10 °C ab, bei Fledermäusen sind Werte bis –10 °C möglich. Bei den Tieren findet sich in dieser Zeit ein generell verminderter Stoffwechsel, was sich in einer Herzfrequenz von 2 bis 3 Schlägen pro Minute und Atempausen über Minuten zeigt. Gleichzeitig ist der Energieumsatz auf etwa 10 bis 15 % des Grundumsatzes reduziert.
Während des Winterschlafs ist die Thermoregulation der Tiere nicht ausgeschaltet, sondern auf einen geringeren Sollwert eingestellt. Wird die spezifische Minimaltemperatur unterschritten, führt dies zu einer Steigerung der Schilddrüsenaktivität und damit verbunden zu einer höheren Stoffwechsellistung, ggf. auch zum Aufwachen aus dem Winterschlaf.
(Ein praktischer Leitfaden zum Thema Winterstarre bei Schildkröten findet sich auf der Seite der Schildkröteninteressengemeinschaft der Schweiz: <http://www.sigs.ch>.)*

Hormone bei Pflanzen – Phytohormone (Seite 141)

- ① Fassen Sie anhand der Abb. 1 und der Abbildung in der Randspalte und des Textes zusammen, welche wissenschaftlichen Erkenntnisse aus den jeweiligen Versuchen gezogen werden konnten und geben Sie an, welche Fragen zum Fototropismus und der Bedeutung der Phytohormone offen blieben.
- Experiment DARWIN: Vermutung, dass chemische Substanzen durch das Licht in der Keimlingsspitze gebildet werden; Experiment BOYSEN-JENSEN beweist, dass es eine Substanz aus der Spitze gibt, die mit Licht zusammen die Wirkung ausübt; Experiment PAAL zeigt, dass die Substanz nur auf der Keimlingsseite wirkt, auf der sie aufgetragen wird; Experiment WENT zeigt, dass die Substanz auch unabhängig vom Licht die Wirkung ausübt. Sie konnte danach isoliert und ihr Molekülbau analysiert werden.
Unbeantwortet blieb die Frage, wie das Licht die Synthese von Auxin beeinflusst und wie Auxin in die Genregulation des Zellwachstums eingreift. Sobald die Wirkungsweise von Phytohormonen bekannt ist, lassen sich für sie Einsatzmöglichkeiten z. B. in der Medizin oder der Nahrungsmittelindustrie vorstellen.
- ② Informieren Sie sich, welche Bedeutung das Ethylen im Blumenhandel hat und verfassen Sie darüber ein Kurzreferat.
- Ethylen wirkt auf spezifische Gene bei Blütenpflanzen ein und führt zu einem Welkvorgang, Kühle Lagerung und Ethylen absorbierende Substanzen, die zwischen die Blüten gelegt werden, können dies verhindern. Gentechnisch veränderte Blumen sollen die Wirkung von Ethylen verhindern.

Stress (Seite 143)

- ① Nennen Sie Unterschiede und Gemeinsamkeiten von Fight-or-Flight-Syndrom und Stress.
- Gemeinsam haben das Fight-or-Flight-Syndrom und Stress die Aktivierung des sympathischen Nervensystems und die Produktion von Cortisol durch Aktivierung der Hypothalamus-Hypophysenachse. Bei dem Fight-or-Flight-Syndrom bzw. Eustress erfolgt keine dauerhafte Aktivierung der beiden oben genannten Systeme.
Unter Stress bzw. genauer Distress ist die Aktivierung dauerhaft. Folgen sind Veränderungen der Organe, z. B. die Vergrößerung der Nebennierenrinde und Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems durch dauerhaft erhöhten Blutdruck.

Hormone und Verhalten (Seite 144)

- ① Während der Balz trägt das Zebrafinkenmännchen ständig einen kurzen Balzgesang vor. Dessen Häufigkeit ist ein gutes Maß für die Handlungsbereitschaft zur Balz. Einer Gruppe von Tieren werden die Hoden entfernt. Bei einer Kontrollgruppe führt man nur eine Scheinoperation durch. Anschließend vergleicht man die Balzaktivität beider Gruppen.
- a) Beschreiben und deuten Sie den in Abbildung 2a dargestellten Befund.
 - b) Die kastrierten Tiere erhalten viermal in kurzer Folge Testosteron. Wie ist das Ergebnis (Abbildung 2b) zu interpretieren?
- a) Bei der Kontrollgruppe, bei der eine Scheinoperation durchgeführt worden ist, zeigt sich in den ersten etwa 3 Wochen eine stark verminderte sexuelle Aktivität bei etwa 10 % des Ausgangswertes vor der Operation. Danach findet sich eine exponentielle Steigerung auf 25 % innerhalb etwa einer Woche, über 50 % nach 5 Wochen, der Ausgangswert wird nach etwa 7 Wochen nach der Operation wieder erreicht. Anscheinend hatte die Scheinoperation nur während der direkten Operationsfolgen einen Einfluss, der nach etwa 7 Wochen allerdings nicht mehr feststellbar ist.
Bei der Kastratengruppe findet sich in den ersten 3 Wochen eine geringe sexuelle Aktivität bei etwa 10 % des Ausgangswertes, vergleichbar mit den Vögeln der Kontrollgruppe. In der 4. Woche findet sich der Gipfel der sexuellen Aktivität der Kastratengruppe, bei etwa 25 % der sexuellen Aktivität des Ausgangswertes. Anschließend fällt der Wert rasch wieder ab, nach

6 Wochen sind es etwa noch 5 % des Ausgangswertes, nach 12 Wochen ist praktisch keine sexuelle Aktivität mehr festzustellen. Der Gipfel nach der 4. Woche lässt sich möglicherweise so erklären, dass nach der Genesungszeit nach der Operation das zuvor von den Hoden noch gebildete Testosteron wirkte, in der Folgezeit aber abgebaut wird, sodass die sexuelle Aktivität dann rasch zum Erliegen kommt.

- b) Nach 4 Einzelgaben von Testosteron bei Kastraten steigt innerhalb von 3 Tagen die sexuelle Aktivität bis auf etwa 50 % des Ausgangswerts an. Anschließend fällt sie rasch bis zum 7. Tag wieder auf etwa 10 % ab. Erstes augenscheinliches Ergebnis dieses Versuches ist, dass Testosteron die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von sexueller Aktivität entscheidend erhöhen kann. Der langsame Anstieg lässt darauf schließen, dass es sich anscheinend um einen komplexen Prozess handelt, der nicht ausschließlich vom Testosteron gesteuert wird. (Anmerkung: Eine andere Möglichkeit könnte auch das langsame Erreichen des notwendigen Testosteronspiegels im Blut nach Resorption des Testosterons nach Injektion in das Fett- oder Muskelgewebe sein). Wie im ersten Versuch sinkt die sexuelle Aktivität dann rasch wieder, was darauf schließen lässt, dass das Testosteron abgebaut wird.

Material: Brutverhalten bei Lachtauben (Seite 145)

- ① Schließen Sie aus den Versuchsergebnissen, welche Reize bei den Lachtauben Nestbau bzw. Brüten auslösen können und begründen Sie Ihre Aussagen.
 - Nistmaterial und Eier führen dann zu Brutverhalten, wenn ein Tier des anderen Geschlechtes mit im Käfig ist. Einzel gehaltene Tauben brüten nicht. Das andere Tier muss gesehen werden, wie der Versuch mit der Trennscheibe zeigt. Das Sehen des Partners wirkt in etwa 7 Tagen, während die Reize „Nest“ und „Eier“ spontan Brutverhalten auslösen können, wenn die vorherige Bedingung erfüllt ist.
- ② Interpretieren Sie die Versuchsergebnisse (Abb. 1d und e).
 - Progesteron führt zur Auslösung des Brutverhaltens, sofern ein Nest vorhanden ist. Eine Östrogengabe führt ebenfalls zu Brutverhalten, allerdings mit größerem zeitlichen Abstand zur Hormongabe.
- ③ Nehmen Sie Stellung zu der von LEHRMANN aufgestellten Hypothese zur Hormonwirkung auf das Verhalten.
 - Die Hormone bewirken, dass das gleiche Verhalten bei den Lachtaubenweibchen auftritt wie sonst nach 5 Tagen mit einem Nest mit Eiern. In dieser Zeit müssen also die entsprechenden Hormone produziert werden.
- ④ Erklären Sie alle Versuchsergebnisse mithilfe von Abbildung 2.
 - Vom Lachtaubenmännchen gehen Reize aus, die beim Weibchen die Ausschüttung von Sexualhormonen bewirken, die ihrerseits Brutverhalten auslösen. Östrogen erhöht die Bereitschaft zum Nestbauverhalten, woraufhin über die Hypophyse durch FSH-Ausschüttung die Progesteronbildung angeregt wird. Progesteron erhöht direkt die Bereitschaft zum Brüten.

6 Fragestellungen in der Verhaltensforschung

Kausale und funktionale Fragen (Seite 147)

- ① Erläutern Sie allgemein die Begriffe proximate und ultimate Ursachen von Verhaltensweisen.
 - Ebenen der Analyse bei Verhaltensuntersuchungen von Tieren (nach ALCOCK, 1996)
 - Proximate Ursachen
 1. Genetische und entwicklungsbiologische Mechanismen: Wirkung des Erbguts auf das Verhalten; Wechselwirkungen zwischen Genom und Umwelt während der Ontogenese, die zur Ausbildung sensorischer und motorischer Mechanismen führen.
 2. Sensorische und motorische Mechanismen: Wahrnehmung von Reizen aus der Umgebung durch Nervensysteme; Regulierung der inneren Bereitschaft durch hormonale Systeme; Ausführen der Verhaltensantworten durch Bewegungsapparate.
 - Ultimate Ursachen
 1. Evolutionsgeschichtliche Grundlagen eines Verhaltens: Ursprung eines Verhaltens und seine Abwandlungen im Laufe der Zeit
 2. Wirkungen der natürlichen Selektion in der Vergangenheit auf die Ausformung des gegenwärtigen Verhaltens: frühere und gegenwärtige Nützlichkeit eines Verhaltens im Hinblick auf die Fortpflanzung.
- ② Analysieren Sie das Beispiel des Monarchfalters und listen Sie mögliche proximate und ultimate Ursachen einzelner Verhaltensweisen auf.
 - Ultimate Faktoren werden durch den Vergleich der drei Populationen und die Untersuchung ihres unterschiedlichen (Wander-) Verhaltens analysiert (eventuelle Wirkung von Mutation und Selektion durch unterschiedliche Umweltbedingungen). Proximate Faktoren stehen bei den neurophysiologischen, stoffwechselphysiologischen und ökologischen Mechanismen im Vordergrund.
- ③ Verschiedene einheimische Tierarten wie Igel oder Eichhörnchen zeigen ebenfalls jahreszeitabhängige Änderungen ihres Verhaltens. Formulieren Sie für Untersuchungen dazu vergleichbare proximate und ultimate Fragestellungen.
 - Dies könnten Fragen zur Winterruhe (z. B. Eichhörnchen), Winterschlaf (z. B. Igel) oder Winterstarre (z. B. Frösche oder Wirbellose) sein, aber auch zum Verhalten der Zugvögel (z. B. Störche) oder der einheimische Falter, die ähnlich dem Monarchfalter wandern (z. B. Totenkopfschwärmer aus dem Mittelmeerraum).

Wahlversuche (Zettelkasten Seite 150)

- ① Analysieren Sie den Versuchsaufbau und erläutern Sie das Ergebnis unter Berücksichtigung kausaler und funktionaler Gesichtspunkte.
- *Durch die Versuchsanordnung können sich die beiden Männchen nicht sehen und damit auch nicht gegenseitig beeinflussen. Die Partnerwahl des Weibchens wird offensichtlich nur durch die Größe und Balzdarbietungen des jeweiligen Männchens beeinflusst. Die Versuchsplanung ging also vermutlich von der Hypothese aus, dass Buntbarschweibchen ihre Männchen nach bestimmten Kriterien aussuchen und die Verpaarung nicht durch den Kampf der Männchen untereinander entschieden wird. Die Wahl des größeren Männchens legt den Schluss nahe, dass die Größe ein Indikator für die Eignung des Männchens im Sinne väterlicher Fürsorge ist. Größere Männchen können z. B. bessere Beschützer oder aggressivere Verteidiger sein.*

Praktikum: Wandkontakt bei Mäusen (Seite 151)

- ① Ermitteln Sie die Anzahl der Fälle, in denen sich die Maus in Quadraten mit bzw. ohne Wandkontakt aufhält (Messwert f_M).
- *Meistens erbringen die Versuche für den Wandbereich höhere Werte als für die Mitte. Zur Berechnung wird die Anzahl der Aufenthalte in einem Bereich durch die Gesamtzahl der Messwerte dividiert und das Ergebnis mit 100 multipliziert.*
- ② Der Erwartungswert f_E (siehe statistische Auswertung) ergibt sich aus der Anzahl der Rasterquadrate für die beiden Bereiche (zu beachten: 5×20 Messwerte).
- *Bei 100 Messwerten ergeben sich z. B. folgende Erwartungswerte:
28 Wandfelder: $28/64 \times 100 = 44$
36 Mittelfelder: $36/64 \times 100 = 56$*
- ③ Werten Sie die Versuche mit dem χ^2 -Test aus (siehe Kasten).
- *In der Regel sind die im Versuch beobachteten Aufenthalte im Wandbereich deutlich häufiger als statistisch zu erwarten. Sie stützen also die Hypothese. Die Beweiskraft der Werte kann ohne statistisches Verfahren nicht abgeschätzt werden.*
- ④ Überprüfen Sie mit dem χ^2 -Test, ob die Abweichung von der Erwartung in diesem Versuch signifikant ist.
- *Zur Erläuterung der statistischen Auswertung
Rechenbeispiel für folgende Messwerte: 59 Aufenthalte im Wandbereich, 41 Aufenthalte in der Mitte:*

	f_E	f_M	$\frac{(f_M - f_E)^2}{f_E}$
Wand	44	59	$\frac{(59 - 44)^2}{44} = 5,11$
Mitte	56	41	$\frac{(41 - 56)^2}{56} = 4,02$

χ^2 -Wert: = 9,13

- ⑤ Welche biologische Bedeutung hat das Verhalten der Mäuse in beiden Versuchsanordnungen? Beschreiben Sie jeweils proximate und ultimate Ursachen.
- *Mit diesem Versuch kann untersucht werden, ob wirklich das Kriterium „Wand“ von ausschlaggebender Bedeutung ist oder die äußere Begrenzung des Areals in beliebiger Form zu einem bevorzugten Aufenthalt führt (Erkennen der Wand und Reaktion darauf als proximate Faktoren). In der Regel ergeben alle Versuche eine deutliche Bevorzugung der Wandbereiche. Der Vorteil für die Tiere liegt in einem besseren Schutz vor Fressfeinden (ultimate Ursachen).*

Beobachtungsmethoden (Seite 153)

- ① Beschreiben Sie anhand der Abbildungen in der Mittelspalte Seite 152 verschiedene Verhaltensweisen von Guanakos.
- *Guanakos setzen beim Laufen immer beide Beine einer Körperseite gleichzeitig vor – sie sind Passgänger. Sie können mit unter den Körper geschlagenen Beinen liegen und den Kopf dabei hochhalten oder auch auf den Boden legen. Seltener strecken sie die Vorderbeine beim Liegen nach vorne aus. Wenn sie ganz entspannt sind, können sie sich kurzfristig auch auf die Seite legen.*
- ② Beschreiben Sie auf der Grundlage der Soziomatrix die sozialen Beziehungen in einer Gorillagruppe.
- *Für eine Auswertung lassen sich die waagrechten Zeilen- und die senkrechten Kolonnensummen berechnen. Diese Werte zeigen, wer sich am häufigsten zu anderen hinbewegt bzw. am häufigsten aufgesucht wird. In diesem Fall wird Massa, das ranghöchste Männchen, am häufigsten aufgesucht. Bei seiner Annäherung weichen aber bis auf Boma die meisten Tiere aus. Andererseits suchen fast alle Weibchen Massas Nähe, der bei ihrer Annäherung stehen bleibt. Jambos Nähe wird von den Weibchen überhaupt nicht gesucht, er sitzt meist allein. Bei Annäherung Massas weicht er aus. Da Boma bei Massas Annäherung sitzen bleibt, ist sie das ranghöchste Weibchen. Tumba nimmt am häufigsten Kontakt zu ihrer Tochter Kira auf. Jamba sucht Kontakt zu seiner Mutter Boma. Kira nimmt freundlichen Gruppenkontakt zu allen auf, keiner weicht ihr aus. Muna und Oya bilden den Schluss der Rangordnung.*

Humanethologie (Seite 155)

- ① Beobachten Sie z. B. auf Bahnhöfen oder Flughäfen, wie Menschen verschiedener Kulturen sich begrüßen oder verabschieden. Beschreiben Sie das Verhalten.
 - *Je nach kultureller Zugehörigkeit können Begrüßungen und Abschiede sehr gefühlvoll oder auch distanziert mit oder ohne Körperkontakt ablaufen.*
- ② Beobachten und beschreiben Sie Mimik und Gestik von telefonierenden Menschen.
 - *Telefonierende Menschen zeigen meist eine ausgesprochen ausgeprägte Mimik und Gestik, obwohl ihr Gesprächspartner nicht anwesend ist – ein Zeichen für eine angeborene Disposition für dieses Verhalten.*
- ③ Tragen Sie Beispiele für die Verwendung des Kindchenschemas in Comics und bei Spielzeugen zusammen.
 - *individuelle Lösung*
- ④ Erläutern Sie, warum in Werbefotos die weiße Augenhaut der Models per Computer aufgehellt und die Beine verlängert werden.
 - *Diese Veränderungen wirken stärker auslösend als die Originale.*
- ⑤ Besorgen Sie sich eine Barbie-Puppe und analysieren Sie deren Merkmale unter den hier genannten Gesichtspunkten.
 - *Typische Kindchen- sowie Frauenmerkmale sind kombiniert.*
- ⑥ Fassen Sie die typischen Kindchenmerkmale nach den Abbildungen unten zusammen.
 - *Die typischen Kindchenmerkmale sind: großer Gehirn- und kleiner Gesichtsanteil, große Augen, große Stirn, Stupsnase, kleiner Mund*
- ⑦ Untersuchen Sie die Zeigerstellung von Uhren in der Uhrenwerbung und deuten Sie das Ergebnis im Sinne der menschlichen Mimik.
 - *In der Werbung stehen die Zeiger von Uhren meist auf 10 Minuten vor Zwei. Diese Stellung ähnelt der Mundstellung eines freundlichen Gesichtes.*

Material: Das Verhalten der Sandwespe (Seite 157)

- ① Beschreiben Sie für jedes Nest, welche Phasen erkennbar sind.
 - *Aus der Abbildung und dem Text ergeben sich: Nest A – nur 3. Phase, Nest B – 2. und 3. Phase, Nest C – alle drei Phasen, Nest D – nur 1. Phase, Nest E – alle drei Phasen.*
- ② In welchem Zustand waren die Nester am Abend des 9. August?
 - *Die letzte Aktivität vor dem genannten Termin zeigt: in Nest A und B – Kokon vorhanden, in Nest C – Larve mit einer weiteren Raupe, in Nest E – Ei mit einer Raupe und Nest D – ist leer.*
- ③ Nennen Sie Gründe für die Annahme, dass das Brutpflegeverhalten genetisch festgelegt ist.
 - *Das Verhalten tritt bei allen Sandwespen dieser Art mit ähnlichem, stereotypen Ablauf auf. Es wird nicht gelernt, z. B. durch Probieren. Es kann auch nicht von dem Elterntier vorgemacht und dann imitiert werden, weil jede Generation am Ende des Sommers stirbt.*
- ④ Erklären Sie die Unterschiede im Verhalten der Sandwespe beim Umgang mit der Raupe.
 - *Der Reiz „Raupe“ wird jedes Mal anders beantwortet. Die Raupe kann einerseits das „Fangen“ und „Lähmen“ der Beute auslösen, andererseits aber auch neutraler Reiz im Zusammenhang mit dem Nestbauverhalten sein.*
- ⑤ Vergleichen Sie das geschilderte Verhalten der Sandwespe mit der Handlungsabfolge des Stichlings.
 - *Die Verhaltensabfolge beim Stichling zeigt ebenso wie bei der Sandwespe genau definierte Verhaltens Elemente, die zwar nicht in einer starren Kette ablaufen, aber trotzdem in einer zeitlichen Abfolge zueinander stehen (z. B. Eiablage nicht vor Nestbau). Dabei scheint die Sandwespe weniger flexibel und „automatenhafter“ zu reagieren.*
- ⑥ Erläutern Sie anhand der Störversuche die Bedeutung des Inspektionsbesuches.
 - *Bei den Inspektionsbesuchen liegt offenbar eine enge Verschränkung einer genetisch bedingten Verhaltensweise mit Lernvorgängen vor. Liegt die Veränderung des Nestinhaltes vor dem Inspektionsbesuch, so wird das Nest entsprechend dem aktuellen Inhalt – und nicht gemäß der eigentlich anstehenden Phase – weiterversorgt. Nur wenn der Nestinhalt nach dem Inspektionsbesuch ausgetauscht wird, kann die Sandwespe bei ihrer späteren Rückkehr den veränderten Zustand nicht sinnvoll beantworten. Die Experimente zeigen, dass die Phasenabfolge für jedes Nest nicht genetisch festgelegt ist, sondern dass während des Inspektionsbesuchs der jeweilige Nestzustand gelernt wird. Er wird allerdings für die Dauer eines Tages so fest im Gedächtnis fixiert, dass dann kein flexibles Reagieren mehr möglich ist. Es ist denkbar, dass die Sandwespe erst durch die Existenz der Inspektionsbesuche in die Lage versetzt wird, mehrere Nester mit unterschiedlichem Inhalt gleichzeitig zu versorgen.*

Innere und äußere Impulsgeber (Seite 158)

- ① Leben Menschen für mehrere Wochen in einem gegen die Außenwelt abgeschirmten Raum, ergibt sich die in Abbildung 1 dargestellte Tagesperiodik. Erläutern Sie die Darstellung.
 - Die circadiane Periodik im „Bunkerversuch“ zeigt für den Menschen eine Phasenlänge von etwa 26,5 h. Werden alle Zeitgeber ausgeschlossen, beginnen die Aktivitätszeiten jeden Morgen etwas später. Nach 18 Tagen ist der Aktivitätsrhythmus gegenüber dem Außentag um 7 h verschoben. Kurz nach Ausschluss bzw. Wiedereinführung der äußeren Zeitgeber werden sehr auffällige Schwankungen beobachtet. Dies deutet auf die erforderlichen Umstellungen des Organismus hin.
- ② Viele Personen klagen nach einem Transatlantikflug über Schlafstörungen und fühlen sich tagelang matt (Jetlag). Erklären Sie.
 - Durch das Überfliegen der Zeitzonen und den kurzfristigen Wechsel der Hell-/Dunkelphasen hat der körpereigene Rhythmus keinen adäquaten bzw. einen falschen äußeren Zeitgeber. Individuell unterschiedlich resultieren daraus Müdigkeit, Kopfschmerzen, Schlafstörungen oder eine allgemeine Abgeschlagenheit, da die körpereigene Tagesperiodik gestört ist.
- ③ Wodurch unterscheiden sich im Jahresrhythmus gleich lange Tage?
 - Sie unterscheiden sich durch den Wechsel der Hell-/Dunkelphasen im zeitlichen Umfeld.

Konditionierung – das Tier als Automat? (Seite 159)

- ① Erläutern Sie die Unterschiede zwischen bedingtem Reflex und operanter Konditionierung.
 - Während der klassischen Konditionierung und der Ausbildung des bedingten Reflexes wird ein Tier mehr oder weniger „passiv“ zu einer Verhaltensänderung veranlasst. Die Assoziation mit einem neuen Reiz (z. B. Glocke) oder das Vermeiden einer Situation infolge negativer Erfahrung erfordert keine neuen Aktivitäten. Hingegen muss das Tier bei der operanten Konditionierung z. B. lernen, einen Hebel zu bedienen, einen Käfig zu öffnen oder eine Aktivität zu unterdrücken.

Prägung (Seite 162)

- ① Analysieren Sie die Experimente zur Gesangsprägung und vergleichen Sie diese mit anderen Prägungsarten.
 - Die Objektprägung ist gekennzeichnet durch die sehr eng begrenzte sensible Phase, den irreversiblen Lernvorgang und die Tatsache, dass ein auslösendes Reizmuster gelernt wird. Bei der Gesangsprägung gilt Letzteres nicht und es wird der individuelle Gesang über längere Zeit meist von den pflegenden Eltern gelernt (siehe Buchfink mit Wiesenpieper aufgezogen Abb. 1). Dabei liegt nur eine relative Beeinflussung vor. Der Vorgang führt nicht zum Entstehen des Gesangs, da die Jungvögel meist noch gar nicht singen; der Lernprozess und die darauf bezogene Handlung liegen also wie bei der sexuellen Prägung zeitlich weit auseinander.

Material: Nerven, Sinne und Hormone (Seite 164/165)

- ① Beschreiben Sie den Versuchsaufbau und die Messergebnisse in Abb. 1.
 - An einem Axon ist ein Teilstück stark gekühlt. Vor diesem Kälteblock wird ein Reiz ausgelöst. In unterschiedlichen Abständen nach dem Kälteblock wird eine Potentialmessung durchgeführt. Die Messergebnisse zeigen, dass mit zunehmender Entfernung das ausgelöste Potential immer kleiner (flacher) wird.
- ② Erklären Sie anhand der Messergebnisse die unterschiedlichen Prozesse am Riesenaxon vor und nach dem Kälteblock auf molekularer Ebene.
 - Die Axonmembran wird durch einen Reiz depolarisiert. Dadurch wird die Leitfähigkeit der Na^+ -Ionen erhöht. Es ändert sich das Membranpotential und durch diese Veränderung des elektrischen Feldes werden die benachbarten spannungsabhängigen Ionenkanäle geöffnet. An der gekühlten Stelle findet eine geringe Ionenbewegung statt, wodurch sich das Membranpotential kaum ändert. Es kommt zu keiner Weiterleitung. Das elektrische Feld vor dem Kälteblock wirkt jedoch noch auf die spannungsabhängigen Kanäle nach dem Kälteblock. Mit zunehmender Entfernung wird es immer schwächer.
- ③ Erläutern Sie anhand der Messergebnisse, welche der beiden Hypothesen durch die Versuche von HODGKIN in der Fragestellung bestätigt wurde.
 - Die Hypothese, dass Ionen entlang des Axons transportiert werden konnte widerlegt werden, da die geringe Temperatur die Ionenbewegung „einfriert“ und keine weiteren Potentiale nach dem Kälteblock auftreten können. Das elektrische Feld ist Kälte unabhängig und nimmt mit der Entfernung ab, was auch den Messungen von Hodgkin entspricht.
- ④ Beschreiben Sie mithilfe einer Zeichnung und eines Textes die Teilschritte der Erregungsweiterleitung an einer Synapse.
 - Ein Aktionspotential kommt über das Axon an einer Synapse an. Hierdurch wird in den Endknöpfchen die Ausschüttung von Transmittern ausgelöst. Je nach Anzahl der Potentiale werden mehr oder weniger Transmitter freigesetzt. An der postsynaptischen Membran werden durch die Transmitter Ionenkanäle geöffnet, durch die Natriumionen einströmen. Die Transmitter werden gespalten und können in der Synapse wieder recycelt werden.
- ⑤ Beschreiben Sie den Aufbau der Messanordnung in Abb. 3. Erklären Sie die drei Messkurven und stellen Sie dar, auf welche Weise eine Bewegungskoordination durch die Verschaltung mehrerer Neurone erfolgen kann.
 - Bei der Ableitung von Muskelspindeln aus den Beinmuskeln (Strecker und Beuger) werden Reize ausgelöst und an einem Neuron des Rückenmarks mithilfe einer Glasmikroelektrode die Potentiale gemessen. Es geht um die erregenden und hemmenden postsynaptischen Potentiale. Wird an dem Axon von der Spindel des Beugers ein Reiz ausgelöst, so ist am Neuron ein erregendes postsynaptisches Potential zu messen. Bei der Erregung des Axons von der Spindel des Streckers ist ein inhibitorisches postsynaptisches Potential zu messen.

ches Potential zu messen. Hier ist ein hemmendes Neuron zwischengeschaltet. Werden beide Axone gereizt, entsteht nur ein sehr kleines Potential. Die Koordination der Bewegung kann hierdurch sinnvoll geschaltet werden, da Bewegungsabläufe von Antagonisten durch Hemmung und Erregung sinnvoll geregelt werden können. Die Muskeln werden kontrahiert oder sie erschlaffen.

- ⑥ Beurteilen Sie an diesem Beispiel die Vor- und Nachteile der Fortleitung über Synapsen.
- Die Leitungsgeschwindigkeit ohne Synapsen ist zwar höher, jedoch sind Verschaltungen zur Verstärkung oder Schwächung von Erregungen nur über Schaltstellen wie den Synapsen möglich.
- ⑦ Stellen Sie mithilfe eines Textes die Vorgänge in den Lichtsinneszellen, z.B. den Stäbchen, dar.
- In den Stäbchen der Netzhaut sind die Sehpurpurmoleküle (Rhodopsin). Rhodopsinmoleküle reichen durch die Membran hindurch. Es besteht aus Retinal und Opsin. Durch Lichteinfall verändert sich die räumliche Struktur und das Retinal spaltet sich ab. Dieses wirkt indirekt auf die Na^+ -Ionenkanäle ein und führt zum Schließen der Na^+ -Ionenkanäle. Hierdurch sinkt die Membranspannung.
- ⑧ Beschreiben Sie den Verlauf des in Abbildung 4 dargestellten Rezeptorpotentials und vergleichen Sie diesen mit dem Verlauf des Aktionspotentials.
- Das Membranpotential ist bei verschiedenen intensiven Lichtreizen gegen die Zeit gemessen worden. Je höher die Lichtintensität ist, desto stärker sinkt das Membranpotential. Die unterschiedlichen Reizintensitäten führen hier zu unterschiedlichen Potentialintensitäten, die sich durch die Höhe des Ausschlags in der Messung zeigen (Amplitude). Das Aktionspotential ist immer gleich hoch und kommt häufiger oder weniger häufig (Frequenz).
- ⑨ Nennen Sie Ursachen der unterschiedlichen Potentialverläufe.
- In den Stäbchen ist die Potentialhöhe von der Anzahl der gespaltenen Rhodopsinmoleküle abhängig, welche auf die substratgesteuerten Ionenkanäle wirken. Das Aktionspotential wird durch spannungsabhängige Ionenkanäle ausgelöst.
- ⑩ Deuten Sie die Messergebnisse.
- Je höher die Lichtintensität ist, desto mehr Rhodopsinmoleküle werden im gleichen Zeitraum gespalten und umso mehr Na^+ -Ionenkanäle werden geschlossen. Dies führt zu den unterschiedlichen Potentialstärken.
- ⑪ Erklären Sie die Bedeutung des β -Carotins für die Sehfähigkeit des Menschen.
- Carotin(Provitamin A) ist in unserer Nahrung enthalten und wird durch die Halbierung des Moleküls zu Retina (Vitamin A). Dieses wirkt bei Lichteinfall indirekt auf die Ionenkanäle in den Stäbchen und Zapfen ein. Bei einem Mangel kommt es dadurch zu einer verminderten Sehfähigkeit oder sogar zur Erblindung.
- ⑫ Nehmen Sie Stellung zum Einsatz gentechnisch veränderter Organismen.
- Die Problematik in Ländern mit unzureichender Nahrung ist neben dem Hungern auch die nicht ausgewogene qualitativ hochwertige Nahrung. Hierdurch kommt es zu Mangelerscheinungen. Die normalen Züchtungen kommen hier nicht zu großen Erfolgen. Gentechnisch veränderte Grundnahrungsmittel, wie Reis können durch den Einbau des Gens zur Carotinbildung einen hohen Nutzwert für die Gesundheit der Menschen in diesen Regionen haben. Der golden Rice ist eines der gentechnisch veränderten Lebensmittel. Das Abwägen der Pro- und Contra-Diskussion muss auch von den Menschen in der betroffenen Region ausgehen.
- ⑬ Der Schwangerschaftstest muss aussagefähig auf nur ein Hormon reagieren. Beurteilen Sie anhand der Informationen zu den Hormonen, ob dies möglich ist.
- Hormone wirken sehr spezifisch, da sie an speziellen Rezeptormolekülen Folgereaktionen auslösen. Daher ist bei den Tests möglich, diese spezifischen, einzigartigen Molekülstrukturen zu nutzen und eindeutige Aussagen zu erhalten.
- ⑭ Im Blut oder im Urin kommen oft nur sehr geringe Mengen an Hormonen vor. Formulieren Sie eine kurze Erklärung, weshalb trotz der sehr geringen Hormonkonzentration im Blut eine hohe Wirksamkeit in den Zellen der Zielorgane erzielt wird.
- Die Wirksamkeit der Hormonmoleküle im Körper ist auch bei geringen Mengen groß, da sie gezielt auf die passenden Rezeptormoleküle andocken und dort durch die kaskadenartige Signalverstärkung zu einem hohen Umsatz führen.
- ⑮ Vergleichen Sie den „Schwangerschaftstest“ und den Diabetes-Test unter dem Aspekt des Messverfahrens.
- Der Schwangerschaftstest misst das Vorhandensein des Hormons, der Diabetikertest nicht. Dieser misst den Glukosegehalt im Blut, der durch ein Hormon gesteuert wird.

Ökologie

1 Lebewesen und Umwelt

Vom Flaschengarten zur Biosphäre (Seite 169)

- ① Erklären Sie, ob es sich bei dem Flaschengarten um ein offenes Ökosystem handelt oder nicht.
 - *Auch der Flaschengarten ist ein offenes System, denn das Sonnenlicht und atmosphärische Gase gelangen hinein.*
Anmerkung: Alternativ zum Flaschengarten ist auch die Modellvorstellung vom „Raumschiff Erde“ geeignet, die wesentlichen Komponenten eines Ökosystems zu verdeutlichen.
- ② Erläutern Sie, inwieweit die Konsumenten in einem Flaschengarten verzichtbar für das Gedeihen der Pflanzen sind.
 - *Die Pflanzen gedeihen, solange ausreichend Licht, Wasser, CO₂ und Mineralstoffe vorhanden sind. Destruenten sorgen für die Bereitstellung von Mineralstoffen und CO₂, die CO₂-Bildung bei der Atmung von Konsumenten ist daher ersetzbar.*
- ③ Nennen Sie Beispiele für die Umgestaltung eines Lebensraums durch seine Besiedler.
 - *Bodenlebewesen wie Regenwürmer, Springschwänze, Asseln usw. lockern den Boden und verbessern die Wachstumsbedingungen der Pflanzen.*
 - *Biber stauen Fließgewässer.*
 - *Weidende Huftiere verhindern das Aufkommen von Büschen und erhalten so die Steppenlandschaften.*
 - *Wattwürmer und andere grabende Tiere ermöglichen die Sauerstoffversorgung tieferer Wattbodenschichten.*
 - *Die sauerstoffhaltige Atmosphäre ist auf die Fotosynthese der Pflanzen zurückzuführen.*

Material: Energie und Lebensweise (Seite 171)

- ① Erklären Sie anhand der Abbildungen und der Werte zur Wärmeleitfähigkeit, wie es zu der geringen Außentemperatur des Seehundkörpers kommt.
 - *Ein Fell hat einen besseren Wert bei der Isolierung, da die Wärmeleitfähigkeit geringer ist als die des Fettes. Die gute Isoliereigenschaft wird jedoch durch die im Fell eingeschlossene Luft bewirkt. Beim Tauchen entweicht sie. Der Blubber ist nicht ganz so optimal wie ein Fell an der Luft, jedoch besser als ein Fell unter Wasser.*
- ② Beurteilen Sie, ob ein Fell bei dem Seehund den gleichen Effekt zeigen würde.
 - *Die Wärmeleitfähigkeit verschiedener Stoffe ist sehr unterschiedlich. Luft hat den geringsten Wert, Wasser hat einen sehr hohen. Seehunde als Regulierer würden im Wasser daher sehr viel Körperwärme abgeben. Dies wäre ein Nachteil, da sie mehr Nahrung aufnehmen müssten, um den Wärmehaushalt aufrechtzuerhalten. Seehunde haben eine sehr dicke Blubberschicht aus Fett. Fettgewebe hat eine geringere Wärmeleitfähigkeit als das Wasser. Die Durchblutung ändert sich, wenn der Seehund in das kalte Wasser gelangt. Die in der Blubberschicht – nahe der Körperoberfläche – verlaufenden Blutgefäße werden verschlossen und das warme Blut durch Gefäße unterhalb des Blubbers geleitet. Hierdurch kommt es zu einer deutlich geringeren Wärmeabgabe.*
- ③ Beschreiben Sie die Materialien zum Energiehaushalt der Kolibris.
 - *Durch den hohen Wärmeaustausch mit der Umgebung, der durch die große relative Oberfläche begründet ist, müssen die Kolibris viel energiereiche Nahrung aufnehmen. Da sie nur geringe Mengen an Reservestoffen speichern können, besteht die Gefahr, dass sie in den kälteren Tagesstunden oder in der Nacht den Stoffwechsel nicht ausreichend aufrechterhalten können und sterben. Durch das Absenken der Körpertemperatur wird die Stoffwechselaktivität gesenkt und der Zeitraum zum Überleben verlängert, da die Reservestoffe nicht so intensiv genutzt werden müssen. Da die Kolibris in der Torporphase nicht so aktiv sind, besteht die Gefahr, von anderen Tieren gefressen zu werden. Im Gegensatz zu den Winterschläfern (mit dem gleichen Mechanismus) ist daher der kurze Zeitraum im Minimalbereich der Energiereserven von Vorteil, da hierdurch der Schutz vor Fressfeinden besser ist.*
- ④ Erklären Sie anhand der Materialien die Bedeutung des Torpor für Kolibris.
 - *Kolibris haben bei der geringen Körpergröße eine relativ große Körperoberfläche und dadurch einen hohen Wärmeaustausch mit der Umgebung. Der Sauerstoffverbrauch ist bei den Kolibris im wachen Zustand bei verschiedenen Lufttemperaturen deutlich höher als bei Kolibris im Torpor. Die Messwerte zum Torpor liegen nur im Bereich von 0° bis 20 °C vor. Der Sauerstoffverbrauch sinkt mit zunehmender Temperatur. Die Energiereserven eines Kolibris verändern sich im Laufe des Tages. Sinken die Werte in einen minimalen Bereich, fallen die Kolibris in den Torpor.*
- ⑤ Beschreiben Sie das Diagramm und vergleichen Sie die Daten zur Maus und zur Zauneidechse.
 - *Das Diagramm zeigt die Stoffwechselrate einer Maus und einer Eidechse in Abhängigkeit von der Temperatur. Die Stoffwechselrate der Eidechse steigt kontinuierlich mit zunehmender Temperatur von 2 bis 40 °C. Die Stoffwechselrate der Maus sinkt von 2 bis 28 °C, bleibt dann bis ca. 35 °C konstant und steigt danach wieder an. Es wird deutlich, dass die Stoffwechselaktivität der Eidechse direkt mit der Außentemperatur gekoppelt ist. Eidechsen sind Konformer, die Zunahme der Stoffwechselaktivität lässt sich mithilfe der RGT-Regel erklären. Die Maus als Regulierer hat bei niedrigen Außentemperaturen eine hohe Stoffwechselaktivität, da sie ihre Körpertemperatur konstant hält. Mäuse gleichen die Körpertemperatur bei höheren Außentemperaturen durch Kühlmechanismen an. Dies erhöht ebenfalls die Stoffwechselrate.*

- ⑥ Beurteilen Sie anhand der Daten die Vor- und Nachteile der Homoiothermen und Poikilothermen in verschiedenen Lebensräumen.
- Die Regulierer sind zwar unabhängig von der Außentemperatur, benötigen durch die hohe Stoffwechselrate jedoch genügend Nährstoffe zur Aufrechterhaltung der Stoffwechselrate. Sie sind jedoch im Vorteil gegenüber Fressfeinden. Die Eidechsen als Konformer benötigen bei Kälte weniger Energie als die Regulierer, sind jedoch stärker durch Fressfeinde gefährdet.

Material: Präferenz und Toleranz (Seite 173)

- ① Vergleichen Sie den Präferenzbereich von Hochmoorameise und Sumpfschrecke (Abb. 1). Inwieweit lassen sich diese Laborergebnisse auf das Freiland übertragen?
- Die Präferenz der Hochmoorameise liegt bei höheren Temperaturen (um 30 °C +/- 5 °C) und streut weniger als die der Sumpfschrecke (15 °C +/- 10 °C). Im Freiland werden weitere Faktoren (Feuchtigkeit, Licht usw.) das Vorkommen beeinflussen.
- ② Wie lässt sich der Versuch abwandeln, um zu klären, ob es individuelle Unterschiede in der Präferenz gibt oder ob die Tiere nur einen bestimmten Abstand zueinander einhalten?
- Man muss die Individuen einzeln auf die Temperaturorgel setzen und ihre Präferenz notieren. Dann kann das Ergebnis nicht durch innerartliche Konkurrenz beeinflusst werden.
- ③ Die Larven des Mehlkäfers (umgangssprachlich: „Mehlwürmer“) lassen sich in Zoohandlungen als Futtertiere beziehen, treten aber auch als Vorratsschädlinge auf. Stellen Sie ihre Toleranzkurve (Abb. 3) in Bezug zur temperaturabhängigen Enzymaktivität (Abb. 4).
- Beide Kurven zeigen ein sehr ähnliches Maximum und ähnliche Grenzwerte. Das deutet darauf hin, dass die Temperaturtoleranz des Mehlwurms durch die physiologischen Grenzen seiner Enzymaktivität bestimmt wird.
- ④ Die weiblichen Falter des Kiefernspinners legen im August Eier ab, aus denen zwei bis drei Wochen später junge Raupen schlüpfen. Wie groß ist der Schlüpfertag bei einer Luftfeuchtigkeit von 20 % und einer Temperatur von 20 °C? Verwenden Sie Abb. 2.
- Der Schlüpfertag beträgt 25 %.
- ⑤ Zeichnen Sie unter Verwendung von Abb. 2 die Luftfeuchte-Toleranzkurve für eine Temperatur von 10 °C entsprechend der Vorlage in Abb. 5.
- Wertetabelle bei 10 °C:
- | | | | | |
|------------------|------|------|------|------|
| rel. Luftfeuchte | 20 % | 34 % | 75 % | 86 % |
| Schlüpfertag | 0 % | 25 % | 25 % | 0 % |

Der Einfluss von Feuchtigkeit (Seite 175)

- ① Erklären Sie die Bedeutung der beschriebenen Pflanzengestalt für den Wasserhaushalt und ordnen Sie die Pflanzen einem Standorttyp zu:
- Bei der Schwertlilie sind die Blätter so gefaltet, dass die Blattoberseiten verdeckt und die Blattunterseiten mit den Spaltöffnungen nach außen gekehrt sind.
 - Durch die exponierte Lage der Spaltöffnungen kann die Schwertlilie die Transpiration steigern und so den Wassertransport an einem feuchten Standort sichern.
 - Der Frauenmantel und einige tropische Pflanzen besitzen Drüsen, über die sie aktiv Wasser in Tropfenform ausscheiden (siehe Randspalte).
 - Hohe Luftfeuchtigkeit erschwert die Transpiration, durch die aktive Wasserabgabe bleiben der Wassertransport und die Mineralstoffversorgung an derartigen Standorten gesichert.

Material: Leben mit wenig Wasser – die Kängururatte (Seite 176)

- ① Interpretieren Sie die Abbildung unter Verwendung des Textes.
- Die Kängururatte ist nur nachts an der Oberfläche aktiv. Zu dieser Tageszeit ist die Temperatur mit ca. 20 °C mäßig. Während des Tages, an denen die Temperaturen an der Oberfläche bis 60 °C steigen, hält sich die Kängururatte in ihrem Bau auf. Dort herrschen physiologisch unbedenkliche 30 bis 35 °C.
- ② Beschreiben und erklären Sie die Veränderung der Luft beim Ein- und Ausatmen der Kängururatte. Bedenken Sie dabei, dass Wasserverdunstung mit Abkühlung verbunden ist.
- Streicht die 30 °C warme, aber trockene Einatemluft (25 % Luftfeuchtigkeit) an der feuchten Nasenschleimhaut vorbei, nimmt sie Wasser bis zur Sättigung auf (bis 100 % Luftfeuchtigkeit). Gleichzeitig erwärmt sie sich und nimmt dabei noch mehr Wasser auf. Bis zur Lunge hat sie von anfangs knapp 10 mg Wasser pro Liter Luft nun ca. 55 mg Wasser/Liter Luft (bei 38 °C) aufgenommen. Durch diese Wasserabgabe (Verdunstung) kühlt die Nasenschleimhaut aus. Wegen der mangelnden Durchblutung bleibt dieser Temperaturgradient bestehen. Beim Ausatmen wird die 38 °C warme Ausatemluft durch die kühle Nasenschleimhaut abgekühlt. Dabei gibt sie Wasser an diese ab, da die kühle Luft weniger Wasserdampf bindet. Im Endeffekt enthält die Ausatemluft bei 27 °C noch ca. 30 mg Wasser/ pro Liter Luft. Sie hat also ca. 25 mg/Liter, d. h. ca. 45 % wieder abgegeben.
- ③ Die Nasenschleimhaut der Wanderratte ist besser durchblutet. Ihre Abkühlung durch die eingeatmete Luft wird rasch durch Wärme aus dem Blut ausgeglichen. Stellen Sie eine Hypothese über die Auswirkung dieser Unterschiede zur Kängururatte auf.
- Die wärmere Luft im Nasenraum der Wanderratte bindet mehr Feuchtigkeit als die kältere Luft bei der Kängururatte.

- ④ Nennen Sie Konsequenzen des Unterschieds für den Wasserverlust beim Ausatmen.
 – Der Wasserverlust der Wanderratte beim Ausatmen ist größer als bei der Kängururatte.
- ⑤ Vergleichen Sie die Wasserbilanz von Känguru- und Wanderratte und erklären Sie die Unterschiede mithilfe aller Materialien.
 – Wasserabgabe: Die Kängururatte verliert unter vergleichbaren Bedingungen (100 g Nahrungsaufnahme) 6 g weniger Wasser als die Wanderratte durch Atmung und Verdunstung. Das erklärt sich aus dem Kondensationseffekt der speziell gebauten Nase (s. Aufgabe 2–4). Kot und Harn sind deutlich weniger wasserhaltig als bei der Wanderratte. Das Material erlaubt dazu keine Erklärung. Der Kot der Kängururatte ist offenbar sehr trocken. Insgesamt gibt die Kängururatte pro 100 g Nahrung 23 g weniger Wasser ab als die Wanderratte. Das ist eine Ersparnis von ca. 28 %.
 Wasseraufnahme: Die Kängururatte nimmt nur indirekt Wasser auf, im Gegensatz zur Wanderratte trinkt sie nicht. Der Wassergehalt der Nahrung ist bei der Kängururatte mit 6 % deutlich geringer als bei der Wanderratte (12 %).
 Durch den hohen Anteil an Fett (40 %) in der Nahrung spielt das Oxidationswasser mit 54 g eine um ca. 17 % (8 g/100 g Nahrung) größere Rolle als bei der Wanderratte, deren Nahrung überwiegend aus Kohlenhydraten besteht. Bei deren Oxidation entsteht deutlich weniger (fast nur die Hälfte) Oxidationswasser. Die Ersparnis von 28 % bei der Wasserabgabe erlaubt diese gedrosselte Wasseraufnahme.
- ⑥ Listen Sie alle aus den Materialien ersichtlichen Eigenschaften auf, durch die die Kängururatte an das Leben in der Trockenwüste angepasst ist.
 – Insgesamt zeigt die Kängururatte eine ganze Reihe von Anpassungen an das Wüstenleben (s. Tabelle).

nächtliche Lebensweise	Nachts sind die Temperaturen geringer. Dadurch erübrigen sich Kühlungsmechanismen wie Schwitzen etc. Ferner ist nachts die Luftfeuchtigkeit höher als am Tage.
fettreiche Nahrung	erlaubt effektive Nutzung von Oxidationswasser
gering durchblutete und Wasser bindende Nasenschleimhaut	vermindert Wasserabgabe mit der Atemluft
geringer Wassergehalt im Kot und Harn	
springende Lebensweise	ist energiesparend und ermöglicht den Zugang zu weit verstreuter Nahrung

Der Einfluss von Sauerstoff auf Tiere (Seite 177)

- ① Stellen Sie in einer Tabelle die Anpassungsmechanismen von Tubifex an unterschiedliche Sauerstoffgehalte des Wassers zusammen.
 – siehe Tabelle

Angepasstheit	niedriger O ₂ -Gehalt	hoher O ₂ -Gehalt
Schlingelfrequenz	hoch (starker Wasseraustausch an der Haut)	niedrig (energiesparend)
Länge im freien Wasser	groß (große Austauschfläche)	gering (geringeres Risiko gefressen zu werden)
Atmung oder Gärung	bei sehr niedrigen O ₂ -gehalten: Gärung	Atmung (ökonomischerer Umgang mit Nährstoffen)

- ② Begründen Sie die hohe Überlebensrate von Tubifex bei geringem Sauerstoffgehalt des Wassers (Abb. 1) mithilfe von Daten aus Abb. 2.
 – Tubifex hat ein Hämoglobin mit einer sehr hohen Sauerstoffaffinität. Dieses Hämoglobin kann also schon bei geringen Sauerstoffgehalten das Gas an sich binden und dem Organismus zur Verfügung stellen. Allerdings wird Sauerstoff erst bei sehr geringen Partialdrücken wieder freigegeben. Der Sauerstoffpartialdruck im Gewebe von Tubifex muss folglich sehr gering sein.
- ③ Der Raubfisch Forelle hat einen größeren Sauerstoffbedarf als der Friedfisch Karpfen (0,39 bzw. 0,12 mg O₂ / kg Körpermasse). Stellen Sie einen Bezug zu den Werten in Abb. 1 und 2 her.
 – Der hohe Sauerstoffbedarf der Forelle begründet sich in ihrer Lebensweise: Als Raubfisch muss sie schnell schwimmen können; das erfordert einen höheren Energie- und damit Sauerstoffbedarf als bei dem Friedfisch Karpfen. An diesen hohen Bedarf ist die Forelle auch physiologisch angepasst: Ihr Hämoglobin bindet Sauerstoff nur locker. Der Sauerstoffgehalt des Gewässers muss folglich hoch sein, da nur unter diesen Bedingungen ausreichend Sauerstoff an Hämoglobin gebunden wird. Andererseits wird das Gas im Gewebe schon bei relativ hohen Partialdruckwerten abgegeben. Damit steht den „Hochleistungsmuskeln“ der Forelle viel Sauerstoff zur Verfügung.
 Die etwas festere Sauerstoffbindung des Karpfen-Hämoglobins erlaubt zwar eine Existenz in sauerstoffärmeren Gewässern, dem Gewebe wird allerdings erst bei niedrigeren Partialdrücken genügend Sauerstoff zur Verfügung gestellt. Der Sauerstoffbedarf der Karpfenmuskeln ist also geringer

Zeigerarten (Seite 178)

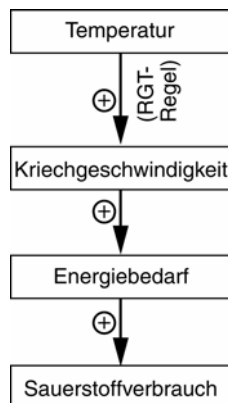
- ① Erklären Sie, warum nur stenöke Arten als Zeigerarten infrage kommen.
 - Stenöke Arten leben in einem schmalen Toleranzbereich eines Umweltfaktors.
- ② Beschreiben Sie, inwieweit sich unterschiedliche Toleranzbereiche auch auf das gemeinsame Vorkommen von Arten auswirken (Abbildung 2).
 - Arten mit unterschiedlichen Toleranzbereichen kommen nur in wenigen Lebensräumen nebeneinander vor, konkurrieren also nicht.

Das Konzept der ökologischen Nische (Seite 181)

- ① Leiten Sie die Punkte A, B und C in Abbildung 1b aus der Abbildung 1a ab.
 - Punkt A und C beziehen sich auf eine Lufttemperatur von 27 °C, die auch im unteren Diagramm bei 60%iger Luftfeuchtigkeit direkt ablesbar ist (Überlebensrate von 90 %).
Punkt C findet sich bei gleicher Temperatur und 90%iger Luftfeuchtigkeit; die Überlebensrate beträgt etwa 85 %.
Punkt B findet sich im linken oberen Diagramm (12 °C, 20%ige Überlebensrate, dagegen nicht im unteren Diagramm, da dort keine Werte für 12 °C angegeben sind).
- ② Vergleichen Sie die unterschiedlichen Temperaturoptima des Apfelwicklers bei verschiedener Luftfeuchte mit den Lebensbedingungen der Puppe (Internet).
 - Der Apfelwickler überwintert als Raupe, die sich ungefähr Mitte April (je nach Witterung) bis Anfang Mai verpuppt. Die nächste Generation verpuppt sich im Juli. Mitte April ist es deutlich kühler, aber auch feuchter als im trockeneren und wärmeren Juli. Die Merkmalskombination trocken/warm und feucht/kühl entspricht tendenziell also diesen beiden Generationen und kann als Angepasstheit aufgefasst werden. Es ist aber noch eine andere Deutung als Angepasstheit möglich: Die Puppen finden sich entweder im Boden (kühler, feucht) oder in Ritzen der Baumrinde (wärmer und trocken, wenn sonnenexponiert).

Material: Die ökologische Nische von Strudelwürmern (Seite 182)

- ① Stellen Sie fest, in welchen Temperaturgrenzen die drei Arten jeweils im deutschen Bachsystem vorkommen.
 - Verbreitung: *Cr. alpina* bis ca. 7 °C, *P. felina* von 7 °C bis 13 °C, *D. gonocephala* oberhalb von 13 °C.
- ② Stellen Sie den Zusammenhang zwischen Sauerstoffverbrauch (Abb. 2), Kriechgeschwindigkeit (Abb. 3) und Temperatur in einem Pfeildiagramm dar (Symbolik wie Seite 186).
 - siehe Abbildung



- ③ Welche Konsequenzen sind bezüglich der Temperaturtoleranz der drei Arten zu erwarten?
 - Der hohe Sauerstoffbedarf von *Cr. alpina* setzt dieser Art physiologische Grenzen: Im wärmeren Wasser ist der Sauerstoffgehalt zu gering bzw. der Sauerstoffverbrauch zu hoch. Deshalb ist diese Art stenopotent und an kaltes Wasser angepasst. *D. gonocephala* ist dagegen an wärmeres Wasser angepasst, da sein Sauerstoffbedarf am geringsten ist. Falls die geringe Kriechgeschwindigkeit kein Problem ist (Nahrungserwerb), sollte diese Art sehr eurypotent bezüglich der Temperatur sein.
- ④ Stellen Sie eine begründete Hypothese zur Verbreitung der drei Arten im deutschen Bachsystem auf.
 - Die Verteilung der drei Arten legt den Verdacht nahe, dass sie sich gegenseitig ausschließen.
Hypothese: Das Material erlaubt als Hypothese nur die Annahme, dass es um Nahrungskonkurrenz geht. Da alle drei Arten dieselbe knappe Ressource Nahrung nutzen, kann nach dem Konkurrenzausschlussprinzip jeweils nur die bestangepasste in einem Abschnitt existieren. *Cr. alpina* ist kälteangepasst und dort auch am schnellsten. Das ist ein Vorteil beim Nahrungserwerb. *Cr. alpina* ist den beiden anderen Arten in der Jagd überlegen. Möglicherweise vermindert seine Population die Beutedichte so stark, dass sie für die Existenz der beiden anderen Arten zu gering wird. *D. gonocephala* ist als langsamster Strudelwurm am konkurrenzschwächsten. Er kann nur dort existieren, wo die beiden anderen Arten aufgrund der physiologischen Grenzen nicht vorkommen. *P. felina* ist konkurrenzstärker als *D. gonocephala*, aber konkurrenzschwächer als *Cr. alpina*.

- ⑤ Nennen Sie mögliche Gründe für das Fehlen von *Polycelis felina* in Frankreich.
- Für *P. felina* liegt ein pH-Wert von 7,5 bereits im Pessimum. *D. gonocephala* und *Cr. alpina* dagegen können diesen pH-Wert noch gut tolerieren. Dagegen liegt der pH-Wert von 6,7 im deutschen Bachsystem für alle drei Arten im Optimum. Deshalb können dort alle drei Arten gut existieren.
- ⑥ Vergleichen Sie die Verbreitung der Arten in den beiden Bachsystemen und nennen Sie eine mögliche Erklärung für die Unterschiede.
- Im französischen Bachsystem besetzt *D. gonocephala* die Temperaturzone des fehlenden *P. felina*. Das ist möglich, da dieser Temperaturbereich für ihn keine physiologische Barriere darstellt, sondern nur eine ökologische (Hypothese: Konkurrenz). Fehlt der Konkurrent, kann sich *D. gonocephala* hier ausbreiten.
- ⑦ Entwickeln Sie Überprüfungsexperimente für Ihre Hypothesen (Aufg. 6).
- Im Labor werden alle drei Arten bei pH 6,7 und bei pH 7,5 zusammen in Aquarien mit abgestuften Temperaturen gehalten (etwa 5 °C – 10 °C – 15 °C). Die Nahrung wird in einem Versuchsansatz in größerer Menge zur Verfügung gestellt, in einem zweiten Ansatz stark begrenzt. Wenn die Hypothese zutrifft, sollten die drei Arten im Falle der unbegrenzten Nahrung bei pH 6,7 im 5 °C-Wasser koexistieren können, bei Begrenzung der Nahrung dagegen sollte jeweils wie im Freiland die bestangepasste sich langfristig durchsetzen; die beiden anderen würden jeweils aussterben. Im 10 °C-Wasser sollte *Cr. alpina* aussterben, da ihm physiologische Grenzen gesetzt sind (mit und ohne Nahrungsüberschuss). Entsprechend sollte im 15 °C-Wasser auch bei Nahrungsüberschuss nur *D. gonocephala* existieren können.
- ⑧ „Bei konkurrenzstarken Arten gleicht die Fundamentalnische weitgehend der Realnische.“ Überprüfen Sie, inwieweit diese Regel im vorliegenden Fall zutrifft.
- Die Fundamentalnische ist physiologisch und nicht durch Konkurrenz begrenzt. Bei *Cr. alpina* entspricht die Fundamentalnische völlig der Realnische. Da diese Art am konkurrenzstärksten ist, entsprechen sich diese beiden Nischenelemente. Bei *D. gonocephala* ist die Fundamentalnische (hier: ökologische Potenz bezüglich Temperatur und Sauerstoff) sehr breit, er ist weitgehend bezüglich Temperatur und pH-Wert eurypotent. Die Realnische ist nur ein kleiner Ausschnitt dieser Fundamentalnische, da in weiten Teilen die konkurrenzstärkeren Arten dominieren und *D. gonocephala* verdrängen. *P. felina* ist konkurrenzstärker als *D. gonocephala*, aber konkurrenzschwächer als *Cr. alpina*. Das legen der Sauerstoffverbrauch und die Kriechgeschwindigkeit nahe.

Material: Höhenzonierung der Alpen (Seite 185)

- ① Fertigen Sie eine Tabelle an, in der die abiotischen Faktoren (Temperatur, Niederschlagsmenge, jährliche Wachstumsperiode) den einzelnen Vegetationszonen zugeordnet sind. Gehen Sie dabei von 15 °C, 600 mm Niederschlag und 250 Tagen Wachstumsperiode in 0 m Höhe aus.
- siehe Tabelle

	Temperatur	Niederschlag	jährl. Wachstumsperiode
Nival (über 3 000 m)	ständiger Frost	über 2 700 mm	kein Pflanzenwachstum
Subnival (bis 3 000 m)	– 6 °C bis 0 °C	2 700 mm	< 40 Tage
Alpin (bis 2 500 m)	– 2,5 °C bis 2,5 °C	2 350 mm	< 75 Tage
Subalpin bis 2 000 m	1 °C bis 5 °C	2 000 mm	< 110 Tage
Montan (bis 1 500 m)	4,5 °C bis 7,5 °C	1 650 mm	< 145 Tage
0 m	15 °C	600 mm	etwa 250 Tage

- ② Inwieweit sind die Tiere an die abiotischen Bedingungen angepasst? Kann man sie bestimmten Zonen zuordnen?
- **Kälte:** Bei den Gleichwarmen isoliert ein dichtes Fell oder Gefieder. Dieses ist häufig dunkel gefärbt, da die schwarze Farbe Licht absorbiert und in Wärme umwandelt. (Das weiße Winterkleid von Schneehasen oder Schneehuhn stellt einen Schutz gegen optisch orientierte Räuber wie die Greifvögel dar.) Murmeltiere gehen in den Winterschlaf, da sie im Winter keine Nahrung finden. Bei den Wechselwarmen überwintern oft nur die Eier. Hohe Vermehrungsraten gleichen Verluste aus. Der Gletscherfloh ist ebenfalls dunkel gefärbt. Er zeigt physiologische Anpassungen an niedrige Temperaturen.
 - Licht:** Strahlenschutz durch dunklere Pigmente.
 - Felsiger Untergrund:** Bei kletternden Tieren, wie den Gämsen, schmiegen sich die Hufe besonders gut an den Untergrund an. Die verlängerten Hinterhufe entlasten das Rückgrat. Durch ihre Beweglichkeit können die Tiere oft im Winter talwärts wandern und sind nicht wie die Pflanzen an die Zone gebunden.

Ressourcen und Umweltfaktoren (Seite 187)

- ① Untersuchen Sie mithilfe der Abbildung 186.1, inwieweit alle Faktoren mit wechselseitiger Beeinflussung als Ressourcen bezeichnet werden können.
 - *Faktoren wie Fressfeinde und Artgenossen (Konkurrenten) stehen auch in wechselseitiger Beeinflussung, sind aber keine Ressourcen. Manche Ressourcen wie Sauerstoff oder der Flugraum zeigen bei Landtieren nicht die typischen Kriterien einer Ressource, nämlich bei hoher Populationsdichte zu verknappen; dazu ist das Angebot zu groß und der Verbrauch zu gering.*
- ② Vergleichen Sie die Fundamental- und die Realnische der Waldbäume (Abb. 2 und Randspalte) und erklären Sie die Unterschiede.
 - *Rotbuche: Fundamentalnische (Optimum) und Realnische gleichen sich weitgehend. Das spricht für Konkurrenzstärke. Diese begründet sich in den minimalen Lichtansprüchen der Jungbäume, die als einzige unter dem tatsächlich im Rotbuchenwald herrschenden Lichtangebot liegen. Die Stieleiche kann nur in den Bereichen als dominierende Baumart existieren, die außerhalb des Optimums der Rotbuche liegen. Vermutlich ist in diesem Fall das Blätterdach der Rotbuche nicht so dicht, damit fällt mehr Licht auf den Boden und auch Jungeichen können existieren. Unklar bleibt, weshalb sich nicht trotzdem die Jungbuchen neben der Stieleiche behaupten. Die Waldkiefer hat die höchsten Lichtansprüche. Diese sind weder im Buchen- noch im Eichenwald erfüllt. Jungkiefern können also nur in Bereichen aufwachsen, in denen diese beiden Baumarten nicht – oder nur schlecht – existieren können. Da sie die konkurrenzschwächste Art sind, ist ihre Realnische am meisten eingeschränkt.*

2 Populationsökologie

Wachsende Populationen (Seite 189)

- ① Berechnen Sie die Bevölkerungen der beiden Länder (Abb. 188.1) für die Jahre 2015 und 2020. Gehen Sie vom aktuellen Jahr aus und nehmen Sie vereinfachend exponentielles Wachstum an.
 - *Abweichend von der Aufgabenstellung werden als Ausgangswerte die Tabellenwerte für das Jahr 2000 verwendet:*
Brasilien: $N_0 = 170,12 \text{ Mio.}$, Kongo: $N_0 = 51,39 \text{ Mio.}$
Jahr 2015, $t = 15$:
Brasilien: $N_{15} = 170,12 \text{ Mio.} \times (1 + 0,017)^{15} = 170,12 \text{ Mio.} \times 1,29 = 219 \text{ Mio.}$
Kongo: $N_{15} = 51,39 \text{ Mio.} \times (1 + 0,032)^{15} = 51,39 \text{ Mio.} \times 1,6 = 82 \text{ Mio.}$
Jahr 2020, $t = 20$:
Brasilien: $N_{20} = 170,12 \text{ Mio.} \times 1,017^{20} = 170,12 \text{ Mio.} \times 1,4 = 238 \text{ Mio.}$
Kongo: $N_{20} = 51,39 \text{ Mio.} \times 1,032^{20} = 51,39 \text{ Mio.} \times 1,88 = 96 \text{ Mio.}$
Bei den berechneten Ergebnissen (Taschenrechner-Ausgabe) sollte diskutiert werden, inwieweit weitere Nachkommastellen wirklich genauer sind oder nur eine vermeintliche Genauigkeit darstellen.

Material: Eichhörnchen und Grauhörnchen (Seite 193)

- ① Erklären Sie, in welcher ökologischen Beziehung die beiden Hörnchen zueinander stehen und ob das Grauhörnchen Ursache für das Verschwinden der Eichhörnchen ist.
 - *Eichhörnchen und Grauhörnchen stehen in Konkurrenz zueinander, da sich die benötigten Ressourcen (vor allem Nahrung) deutlich überschneiden. Das Nahrungsspektrum des Grauhörnchens ist jedoch breiter, außerdem ist es größer, das macht es konkurrenzstärker als das Eichhörnchen. Auch zeigen die Zahlen von Anglesey, dass Grauhörnchen in deutlich höherer Dichte vorkommen können als Eichhörnchen. Durch diese Eigenschaften scheint das Eichhörnchen aus Gebieten verdrängt zu werden, in denen sich das Grauhörnchen ausbreitet (Konkurrenzausschluss). Dafür spricht auch die Beobachtung auf Anglesey, dass eine Reduktion des Grauhörnchenbestandes offenbar den Konkurrenzdruck auf die Eichhörnchen nimmt und ihnen ein Wiederanwachsen der Population ermöglicht.*
- ② Erklären Sie, inwieweit das Parapox-Virus für das Verschwinden der Eichhörnchen verantwortlich ist und welche Bedeutung die Grauhörnchen dabei haben.
 - *Parapox-Viren befallen sowohl die Grauhörnchen als auch die Eichhörnchen. Das Immunsystem der Grauhörnchen kann aber offenbar erfolgreich Antikörper gegen die Viren bilden, sodass zwar ein erheblicher Teil der Population Antikörper besitzt, aber nicht erkrankt. Das Immunsystem der Eichhörnchen schafft dies jedoch nicht, denn einmal befallene Eichhörnchen sterben an der Infektion, und nur sehr wenige Individuen können Antikörper ausbilden und überleben (oder: sie waren evtl. zum Zeitpunkt der Untersuchung noch nicht erkrankt). Die Population der Grauhörnchen stellt eine ständige Infektionsquelle dar; sie wirken für die Eichhörnchen als Verteiler der Viren und tragen (neben der normalen Konkurrenz) auch über diesen Weg zum Aussterben bzw. Verdrängen der Eichhörnchen bei.*
- ③ Experten vermuten, dass sich die Situation zwischen Eichhörnchen und Grauhörnchen auf dem gegenwärtigen Stand stabilisieren könnte. Lässt sich diese Vermutung mit den vorliegenden Informationen stützen?
 - *Gegenwärtig leben die meisten verbliebenen Eichhörnchen in Schottland. Diesen gebirgigen Lebensraum besiedeln die Grauhörnchen nicht, sodass hier ein Rückzugsgebiet für die Eichhörnchen existiert. Wenn die Eichhörnchen aus dem übrigen Gebiet der britischen Hauptinsel verschwunden sind, sollte sich die Situation auf diesem Stand stabilisieren.*

Mehrartensysteme: Beutewechsel des Luchses (Seite 198)

- ① Erörtern Sie, wie sich eine Zunahme der Populationsdichte der Schneeschuhhasen auf die Dichte der Karibus bzw. Luchse auswirkt.
 - *Je größer die Dichte der Schneeschuhhasen, desto leichter machen die Luchse Hasenbeute und schonen die Karibukälber. Der Karibubestand kann sich erholen, der Luchsbestand wächst. Dadurch werden schließlich die Hasen knapper und die Karibus sind wieder in Gefahr.*
- ② Beschreiben Sie, welche Rolle der Beutewechsel des Luchses im Nahrungsnetz der Säuger Neufundlands spielt und vergleichen Sie diese mit der Rolle des Wolfes.
 - *Der Beutewechsel des Luchses führt zu Dichteschwankungen in den Beutepopulationen, der Wolf hatte einen stabilisierenden Einfluss.*

Material: Rebhuhn-Dichte (Seite 199)

- ① Stellen Sie die Positionen der beiden Parteien gegenüber und leiten Sie die Begriffe „Bottom up“ und „Top down“ ab.
 - *Den Begriffen „Bottom up“ und „Top down“ liegt die ökologische Pyramide zugrunde, die Dichteregulation im Nahrungsnetz kann von niedrigeren Trophiestufen („Bottom up“) aus erfolgen oder durch höhere Konsumentenebenen. Die Position des BJV lautet: Stärkere Bejagung der Konsumenten (Fuchs, Rabenkrähe, Elster) des Rebhuhns („Top down“). NABU fordert den Schutz der Nahrungsgrundlage und des Lebensraumes des Rebhuhns, also eine Stärkung der potenziellen Beute („Bottom up“).*
- ② Machen Sie eine Diskussionsrunde Pro und Contra „Jagd auf Fuchs und Krähe zum Schutz des Rebhuhns“.
 - *individuelle Lösung*
- ③ Entwerfen Sie eine Versuchsanordnung, um in einem Feldversuch nachzuweisen, ob die Dichte des Rebhuhns von Nahrung und Lebensraum (Bottom up) oder von der Zahl der Beutegreifer abhängt (Top down).
 - *Beispiel: Zwei landschaftlich vergleichbare Versuchsfelder abgrenzen, die mit einer gleichen Anzahl Rebhuhnpaaren ausgestattet werden und Deckungsmöglichkeiten und Nahrungspflanzen bieten. Auf einer Fläche werden alle Räuber ausgeschlossen, auf der anderen nicht. Nach einer Saison Bestandszählung. Anschließend die Flächen austauschen, um verdeckte landschaftliche Unterschiede auszuschließen.*

Ernährungsstrategien: Spezialisten und Generalisten (Seite 202)

- ① Interpretieren Sie die Angaben zur Beutewahl des Mauswiesels (Abb. 1).
 - *Die Hauptnahrung des Mauswiesels in Mitteleuropa stellt die Wühlmaus dar. Bei hohen Dichten dieser Beutetierart ist die Raubrate bezüglich der Blaumeisennester sehr gering, da die Wühlmaus-Jagdkosten in diesen Jahren gering sind. In den Jahren mit kleiner Wühlmauspopulation bevorzugt das Mauswiesel Blaumeisennester. 1961 ist dieser Effekt nicht so deutlich (evtl. dritte Beutearart beteiligt?).*
- ② Beziehen Sie die Begriffe stenopotent / eurypotent auf Generalisten und Spezialisten.
 - *Nahrungsspezialisten zeigen eine geringe Toleranz bezüglich ihrer Beutewahl, sind also stenopotent. Entsprechend sind Nahrungsgeneralisten als eurypotent einzuordnen.*
- ③ Spezialisten rotten ihre Beute praktisch nie völlig aus. Erklären Sie.
 - *Beim Zusammenbruch der Beutedichte steigen die Kosten des Beuteerwerbs für die spezialisierten Räuber so stark, dass auch ihre Population zusammenbricht und folglich keinen Einfluss mehr auf die verbliebenen wenigen Beutetiere haben wird. Die Räuber sterben am Nahrungsmangel oder wandern aus.*

Parasitismus (Seite 203)

- ① Informieren Sie sich über Krankheitserreger wie Pestbakterium und Salmonellen. Zeigen Sie typische Parasitenmerkmale?
 - *Salmonellen: Endoparasit, der den Darmtrakt besiedelt, ohne zwingenden Wirtswechsel, sondern direkte Übertragung über mit Kot verunreinigten Nahrungsmitteln. Der mit der Infektion verbundene Durchfall erhöht die Wahrscheinlichkeit von Neuinfektionen. Die Erreger sind recht unspezifisch, auch das erhöht die Wahrscheinlichkeit einer Übertragung auf einen neuen Wirt. Der Parasit tötet den Wirt nicht zwingend, doch Todesfälle sind nicht selten. Die extrem hohe Vermehrungsrate der Bakterien ermöglicht dennoch eine Weiterverbreitung des Parasiten.*
 - *Pesterreger (Yersinia pestis): Endoparasit im Blut, nicht sehr spezifisch (Mensch, Nagetiere). Wirtswechsel über den Rattenfloh; durch dessen Stich erfolgt mit hoher Wahrscheinlichkeit die Übertragung auf die potenziellen Hauptwirte Mensch und Ratte. Für den Hauptwirt häufig tödlich. Durch die Existenz im Zwischenwirt und die direkte Verbreitungsart (Blut saugender Rattenfloh, der spezifisch potenzielle Hauptwirte befällt) ist die Verbreitung des Parasiten gewährleistet.*

Material: Pilzsymbiosen (Seite 205)

- ① Planen und begründen Sie ein Experiment mit markiertem Phosphat, um die Hypothese zu überprüfen, dass die Mykorrhiza Bäume mit Phosphat versorgt.
 - *Markiertes Phosphat kann gegenüber nicht markiertem Phosphat in den Pilzen, den Bäumen und im Boden nachgewiesen werden. Ein möglicher Versuch wäre, Pilze auf einem Boden mit markiertem Phosphat zu züchten und diese dann in die Nähe von spezifischen Bäumen umzusiedeln. Im Gewebe des Baumes müsste in festgelegten Zeitrahmen die Konzentration an markiertem Phosphat gemessen werden können.*
- ② Erläutern Sie, ob es sich bei der Lebensweise des Fichtenspargels um eine Symbiose handelt. Begründen Sie Ihre Aussage im Vergleich zu den Pilzen und Waldbäumen.
 - *Der Fichtenspargel besitzt kein eigenes Chlorophyll, ist daher nicht in der Lage Fotosynthese zu betreiben. Da er von grünen Pflanzen Nährstoffe erhalten muss und selbst keine Vorteile für diese grünen Pflanzen bringt, handelt es sich nicht um eine Symbiose.*

Populationsökologie und Pflanzenschutz (Seite 207)

- ① Analysieren Sie die Folgen des Azodrineinsatzes gegen den „Baumwollwurm“ (Abb. 206.1).
 - *Die Zahl der Larven ist bei Azodrinanwendung höher als ohne Anwendung. Drastisch reduziert sind dagegen die Feinde. Vermutlich waren die Larven des Eulenfalters in der Pflanze besser gegen das Insektizid geschützt als die Feinde. Durch deren Dezimierung konnte auf den behandelten Flächen die Zahl der Schädlinglarven zunehmen. Ein Beleg für die direkte Wirkung des Giftes auf die Feinde, aber indirekte Wirkung auf die Baumwollwürmer ist der zeitliche Verlauf: Bei den Baumwollwürmern tritt der Effekt zeitlich versetzt, bei den Feinden unmittelbar auf. Die Zahl der geschädigten Kapseln unterscheidet sich nur unwesentlich. Dieser Befund ist schwer zu erklären. Möglicherweise reicht die Larvendichte in beiden Fällen für eine Schädigung (es werden gleich viele Kapseln geschädigt, die Dichte der Larven in den befallenen Kapseln ist dagegen unterschiedlich).*
- ② Vergleichen Sie den Effekt chemischer und biologischer Bekämpfung bei der Schildlausbekämpfung in einem schweizer Obstanbaugebiet (Abb. 2).
 - *Die chemische Bekämpfung erweist sich als wenig effektiv. Vermutlich wurden durch die Spritzung zu wenige der Schildläuse direkt erreicht (versteckt in Astringen, dichtes Laub etc.). Die Parasiten dagegen suchen ihre Wirte direkt auf und erreichen so auch versteckte Schildläuse. Das Ergebnis zeigt einen mit den Jahren zunehmenden Parasitierungsgrad. Das liegt zum einen an der Vermehrung des Parasiten, zum anderen an den von Jahr zu Jahr steigenden Aussetzzahlen. Insgesamt kann die biologische Schädlingsbekämpfung mit der Schlupfwespe als erfolgreich angesehen werden.*

3 Synökologie

Primärproduktion (Seite 210)

- ① In den Ozeanen gibt es küstennahe Zonen, in denen mineralreiches Tiefenwasser aufsteigt. Begründen Sie, warum in derartigen Auftriebszonen die Primärproduktion besonders hoch ist.
 - *Der Mineralsalzgehalt ist der Faktor, der im Meer offenbar das Ausmaß der Primärproduktion bestimmt (s. Liebig'sches Minimumgesetz). Größerer Mineralreichtum führt in diesen Auftriebszonen zu höherer Primärproduktion und in der Folge zu Fischreichtum. Solche Regionen findet man an den Westküsten der Kontinente: Südamerika (Humboldtstrom), Nordamerika (Kalifornischer Strom), Südafrika (Benguelastrom) und Nordafrika (Kanarenstrom).*
- ② Die Primärproduktion ist in verschiedenen Ökosystemen der Erde sehr unterschiedlich (Abb. 2). Erklären Sie, welcher Faktor im Einzelfall wahrscheinlich begrenzend wirkt.
 - *Bei Ozean, Küstenzone, Mangrove und tropischem Regenwald ist der Mineralstoffgehalt begrenzend (bei tropischen Regenwäldern ist er auch stark von der Beschaffenheit des Untergrundes abhängig); die Feuchte und die Temperatur sind weniger begrenzend.*
 - *Bei kühlfeuchten Wäldern begrenzen die Temperaturen die Produktion; vor allem in gemäßigten Breiten kommen die Jahreszeiten hinzu, die nur periodisches Wachstum ermöglichen.*
 - *In Fels und Eis begrenzt vorwiegend die niedrige Temperatur; daneben kommt auch Trockenheit durch Frost hinzu.*
 - *Im Trockenbusch und in der Savanne begrenzt die fehlende oder nur periodische Feuchte die Produktion; die Temperaturen sind weniger begrenzend.*
 - *In Wüsten ist die Trockenheit begrenzend, in der Tundra zu niedrige Temperaturen und nur kurze Vegetationsperioden, daneben auch Trockenheit durch Frost.*

Stoffkreislauf und Energiefluss (Seite 215)

- ① Stellen Sie anhand der Abb. 214.1 Bildungsprozesse (Quellen) und fixierende Prozesse (Senken) für Kohlenstoffdioxid gegenüber.
 - *Bildungsprozesse (Quellen): Zellatmung, Zersetzung durch Destruenten, Brände, zivilisatorischer Verbrauch, Atmung und Zersetzung durch Konsumenten und Destruenten im Meer;*
fixierende Prozesse (Senken): Fotosynthese der Produzenten, chemische und geologische Prozesse, Ablagerung in Sedimenten.
- ② Berechnen Sie von der Strahlungsenergie, die täglich auf die Atmosphäre trifft, den bis zur Erdoberfläche gelangenden Anteil (in %).
 - *auf die Atmosphäre treffende Energie = 100 000 (kJ/m² x Tag), entspricht 100 %; bis zur Erdoberfläche durchgedrungene Energie = 10 000 (kJ/m² x Tag), entspricht 10 %.*
- ③ Eine Wassermühle soll als Modellvorstellung für die enge Verbindung zwischen Stoffkreislauf und Energiefluss dienen. Erläutern Sie die Vorzüge und Grenzen der Modellvorstellung.
 - *Stoffe reagieren unter Energieaufnahme – Rad dreht sich; Energie wird dabei (teilweise) entwertet. Energiefreisetzung durch Stoffumwandlungen wird nicht dargestellt.*

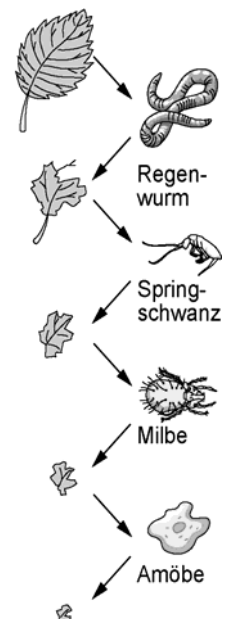
4 Ökosysteme

Der Wald als Lebensraum (Seite 221)

- ① Der Massenbefall durch Laub fressende Schadinsekten stellt nur sehr selten eine wirkliche Bedrohung für die betroffenen Wälder dar. Begründen Sie diese Aussage.
 - *Physiologische Begründung: Bäume haben nur einen relativ kleinen Teil ihrer Biomasse als Laubblätter angelegt. Bei Verlust der Blätter reichen die Mineralstoffvorräte in der Regel für einen neuen Austrieb aus. Die Insektenlarven sind dann durch Verpuppung verschwunden.*
Ökologische Begründung: Das vielfältige Nahrungsnetz im Wald führt dazu, dass eine Vielzahl von Fressfeinden (Insekten fressende Vögel, Spinnen, Raubinsekten wie Ameisen) die Zahl der Schädlinge nachhaltig dezimieren kann.
- ② Ordnen Sie den mitteleuropäischen Wald einem der auf Seite 219 modellhaft dargestellten Stabilitätstypen zu.
 - *Der mitteleuropäische Wald ist im Klimaxstadium stabil. Nach Störungen (z. B. Sturm) kehrt er in den Ausgangszustand zurück (Typ Elastizität).*
- ③ Vergleichen Sie die Schichtung eines Forstes mit der eines naturnahen Waldes.
 - *In naturnahen Wäldern findet man einen Stockwerkbau mit Kraut-, Strauch- und Baumschicht, die je nach Jahreszeit und Lichteinfall unterschiedlich ausgeprägt sein können. Durch Windbruch, Feuer oder Massenbefall mit Insekten entstehen mosaikartige Verteilungen von Baumgruppen. Durch diese unterschiedlichen Strukturen entsteht eine große Artenfülle. In Forsten werden nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten Bäume angepflanzt und das Wachstum durch menschliche Eingriffe, wie die Entfernung von Totholz oder von Sträuchern, optimiert. Eine so große Artenfülle wie in naturnahen Wäldern kann daher nicht entstehen.*

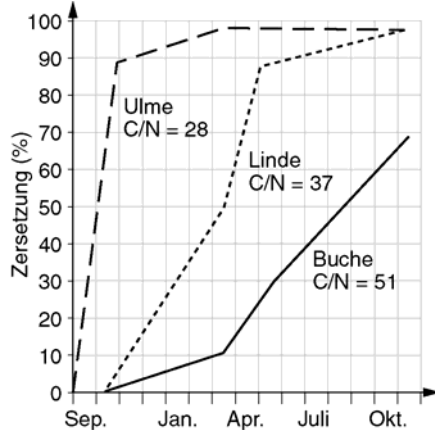
Praktikum: Wald (Seite 222/223)

- ① Mikroskopieren Sie die Probe in Tagesabständen (Mikroskop, Stereolupe) und protokollieren Sie die Veränderungen. Vergleichen Sie die Beobachtungen in den verschiedenen Bodenproben.
 - *Bei diesen Untersuchungen sollte man darauf achten, dass beim Mikroskopieren das Präparat durch die Beleuchtung erwärmt wird und dadurch schnell austrocknen kann. Es ist darauf zu achten, dass die Feuchtigkeit immer ausgeglichen wird, da sonst die Messergebnisse verfälscht werden.*
- ② Ordnen Sie das Vorkommen der gefundenen Pflanzen im Wald den gemessenen abiotischen Faktoren zu und vergleichen Sie Ihre Befunde mit der Abbildung unten rechts. Erläutern Sie die Vorteile der Zeigerarten gegenüber den physikalischen Messungen (s. Seite 222).
 - *Die biologischen Befunde werden nicht immer mit den abiotischen Messwerten übereinstimmen, da viele Pflanzen kurzfristige Schwankungen durchaus ertragen können.*
- ③ Stellen Sie mithilfe der gesammelten abgestorbenen Substrate des Waldbodens die fortschreitende Zersetzung auf einem Plakat dar. Ordnen Sie den jeweiligen Zersetzungsstufen die gefundenen Kleintiere zu und notieren Sie diese auf dem Plakat. Erläutern Sie die Bedeutung dieser Kleinlebewesen bei der Mineralisierung. Gehen Sie hierbei auch auf die Präferenzen der gefundenen Bodenbewohner ein.
 - *siehe Abbildung*



Material: Waldstreu (Seite 224)

- ① Beschreiben Sie die Beteiligung der Bodenlebewelt an der Zersetzung (s. Abb. oben und Tabellen).
- Springschwänze u. a. öffnen durch ihren Fensterfraß die Epidermis der Waldstreu. Dadurch wird die Oberfläche für die Pilz- und Bakterienbesiedlung vergrößert. Durch die Fraßtätigkeit weiterer Bodentiere (Zweiflüglerlarven, Asseln, Doppelfüßer) entstehen Löcher, bis schließlich nur noch das Blattskelett übrig bleibt. Jetzt ist der Höhepunkt des Wachstums von Bakterien und Pilzen erreicht. Bakterien, Pilze und Kot dienen weiteren Bodentieren (Moosmilben, Enchyträen) als Nahrung. Räuberische Arten wie die Hundertfüßer stellen sich ein. Regenwürmer fressen und durchmischen dieses Mischsubstrat, das schließlich die für Mull typische Krümelbildung aufweist.
- ② Mit Falllaub gefüllte Netzbeutel (Maschenweite 0,25 mm) schließen die größeren Zersetzer wirksam von der Zersetzung aus. Vergleichen Sie die Zersetzungsdauer mit und ohne Netzbeutel im Buchenwald und Auwald (Abb. unten). Erläutern Sie anhand der gegebenen abiotischen und biotischen Daten Gründe für die Unterschiede.
- Buchenlaub hat ein hohes C/N-Verhältnis, die Mikroorganismen finden daher ungünstigere Bedingungen als in der gemischten Streu des Auwaldes. Im Buchenwald erfolgt die Zersetzung 4- bis 5-mal langsamer als im Auwald. Nach knapp zwei Jahren ist die Streu auf die Hälfte reduziert, danach verlangsamt sich der Abbau. In den Netzbeuteln ähnelt das erste Jahr der Kontrolle, da in dieser Phase nur physikalisch-chemische Prozesse und Mikroorganismen eine Rolle spielen. Danach ist die Zersetzung beim Ausschluss größerer Bodentiere um bis zu einem Jahr verzögert. Im Auwald ist von der Streu schon nach einem Jahr kaum noch etwas übrig, im Netzbeutel wird die Zersetzung schon nach drei Monaten verlangsamt. Netzbeutel beeinträchtigen den Abbau hier stärker als im Buchenwald, denn im Auwald dominieren Mega- und Makrofauna (besonders die Regenwürmer), im Buchenwald dagegen Meso- und Mikrofauna (besonders Enchyträen), die durch den Netzbeutel nicht behindert wird. Die Energieaufnahme der Bodenfauna ist im Auwald 2- bis 2,5-mal größer als im Buchenwald.



Material: Der Wald im Wandel (Seite 225)

- ① Beschreiben Sie die Vegetationsgeschichte des Waldes anhand eines Pollendiagramms (Abb. 1).
- Am Ende der Würm-Eiszeit vor etwa 10 000 Jahren herrschte eine gehölzarme Tundra (Kaltsteppe) vor. Daraus entwickelte sich ein Wald aus Birken, Weiden und Kiefern. Die in der Nacheiszeit eingeleitete Erwärmung erreichte etwa 5000 – 3000 v. Chr. ihr Optimum. Damals war es im Mittel 2,4 – 4 °C wärmer als heute. Birken und Kiefern wurden allmählich durch die Massenausbreitung der Hasel zurückgedrängt. In der mittleren Warmzeit (6 000 – 3 000 v. Chr.) herrschten Eichenmischwälder mit Ulme, Linde, Ahorn und Esche vor. In der späten Warmzeit (3 000 – 0 v. Chr.) sanken die Temperaturen, die Niederschlagsmenge stieg. Bis zur Neowarmzeit (heute) verdrängten Rotbuchenwälder die Eichenmischwälder.
- ② Nur in einem Forst sind alle Bäume altersgleich. Unter natürlichen Bedingungen findet man im Wald Areale mit verschiedenen Altersklassen mosaikartig nebeneinander. Erklären Sie das und beschreiben Sie dabei den Ablauf des Mosaikzyklus anhand Abbildung 2.
- Verjüngungs-, Optimal- und Zerfallsphase werden zyklisch durchlaufen. Dieser Vorgang ist vor allem auf die Altersstruktur der dominanten Baumarten zurückzuführen. Wo überalterte Bäume absterben, entstehen Kahlfelder, in denen sich lichtbedürftige Kräuter ansiedeln. Es folgen schattenverträgliche Jungpflanzen der ehemals dominanten Arten und damit die allmähliche Wiederbesiedlung.
- ③ Stellen Sie die jahreszeitlichen Veränderungen im Laubwald für Vegetation und Vögel (Abb. 3) tabellarisch zusammen und erklären Sie die Aspektfolge. Sind vergleichbare Änderungen in einem Nadelwald zu erwarten?
- Im Nadelwald ändert sich die Belichtung im Jahreslauf kaum, es fehlen viele Elemente der Krautschicht. Der Laubwald bietet durch die Artenvielfalt mehr Vogelarten Nahrung.

Verhaltensökologie: Habitatwahl und Reviere (Seite 227)

- ① Erklären Sie das in Abb. 2 dargestellte Ergebnis des Gesangsexperiments.
- Die Abbildung zeigt zwei Aspekte: Zum einen wird das Gebiet ohne Gesang sofort wieder besiedelt. Der Gesang signalisierte demnach, dass das Gebiet besetzt ist, und wirkte dadurch abschreckend. Zum anderen ergaben sich innerhalb der Gebiete mit Gesang Unterschiede: der komplexere Gesang war abschreckender als der einfache Gesang. Die Varianten des Gesangs drücken demnach etwas über den jeweiligen Sänger aus (bzw. über seine Kondition oder Stärke). Letzten Endes sind aber alle Gebiete wieder neu besetzt worden, kein Gesang hat eine endgültig abschreckende Wirkung; Neuankömmlinge „versuchen ihr Glück“ immer aufs Neue.

Mineralstoffe im See (Seite 237)

- ① Begründen Sie, weshalb das „Umkippen“ eines Sees vor allem im Sommer gegen Ende der Nacht erfolgt.
- Die hohen Wassertemperaturen im Sommer senken den Sauerstoffgehalt und steigern den Sauerstoffverbrauch im Gewässer. Nachts findet keine Fotosynthese und damit keine Sauerstofffreisetzung statt. Folglich ist der Sauerstoffgehalt morgens am niedrigsten.

Material: Daphnien im See (Seite 238/239)

- ① Klären Sie weitere Auslöser der Vertikalwanderung anhand der Abbildung und der Tabelle.
- Es ist eine Kombination aus zwei Einflüssen: Wichtigster Auslöser ist das Licht. Morgens bei einsetzender Helligkeit wandern die Daphnien in tiefere Wasserschichten, abends bei einsetzender Dunkelheit steigen sie wieder auf. Ob die Wanderungen überhaupt stattfinden oder unterbleiben, hängt von der Anwesenheit von Fischen ab: fehlen die Fische, so unterbleibt auch die Wanderung.
- ② Erklären Sie, welchen Vorteil die Vertikalwanderung für die Daphnien darstellt.
- Bei Anwesenheit von Fischen ist es von Vorteil, tagsüber dem Räuberdruck durch Wanderung in die Tiefe entgehen zu können, da Fische ihre Beute vorwiegend visuell orten. Ohne Fische ist es dagegen vorteilhaft, tagsüber die Zeit hoher Produktion der Algen für die Nahrungsaufnahme nutzen zu können. Das Verhalten bzw. sein möglicher Wechsel ist daher entsprechend dem Kosten-Nutzen-Prinzip sehr gut angepasst.
- ③ Stellen Sie die Unterschiede zwischen *D. hyalina* und *D. galeata* zusammen. Begründen Sie das Zustandekommen der einzelnen Unterschiede. Informieren Sie sich gegebenenfalls noch einmal über die Bedeutung der RGT-Regel.
- ④ Nennen Sie die Vor- und Nachteile der Vertikalwanderungen.
- Im Vergleich zu *D. hyalina* gilt für *D. galeata*:
 - *D. galeata* wandert nicht tagesperiodisch, *D. hyalina* schon
 - mehr Eier, kurze Entwicklungsdauer
 - geringere Populationsdichte, aber stärkere Zunahme
 - deutlich höhere Geburtenrate, aber auch deutlich höhere Sterberate*D. galeata* lebt auch tagsüber im Oberflächenwasser. Sie kann dort die aktuelle Produktion fressen und ist daher besser genährt. Das führt u. a. zu einer höheren Reproduktion (mehr Eier, höhere Geburtenrate). Außerdem ist das Oberflächenwasser wärmer, was die raschere Entwicklung der Nachkommen erklärt. Das Leben im Oberflächenwasser führt aber auch zu einer höheren Sterberate, da die optisch jagenden Fische ihre Beute gut wahrnehmen können. In der Summe ergibt sich zwar für *D. galeata* ein stärkeres Populationswachstum (ca. 4-mal von August bis September) als bei *D. hyalina* (ca. 3-mal), aber die Population erreicht dennoch nur ein niedrigeres Niveau.
- ⑤ Erklären Sie den Einfluss des Zooplanktons auf das Phytoplankton des Bodensees. Was würde sich mit einer größeren Population von *D. galeata* bzw. *D. hyalina* ändern?
- Beide Daphnienarten nutzen die Produktion des Phytoplanktons als Nahrungsressource. *D. hyalina* kann aber davon nur nachts profitieren, wenn sie an die Oberfläche kommt. Sie ist dann auf die Planktonmenge angewiesen, die *D. galeata* übrig gelassen hat. Eine größere Population von *D. galeata* würde damit die Population von *D. hyalina* beeinträchtigen. Andererseits würde sie aber auch die Fischpopulationen fördern und damit die Sterberate der eigenen Population erhöhen. Eine größere Population von *D. hyalina* (bei kleinerer Population von *D. galeata*) würde das Algenwachstum weniger beeinträchtigen, da sich die Algen tagsüber ungestört vermehren könnten. Die Fischpopulationen hätten jedoch größere Schwierigkeiten, Nahrung zu finden.
- ⑥ Erklären Sie, wie die unten dargestellten Unterschiede in der Talsperre vor und nach der Biomanipulation zustande kommen.
- Durch den Einsatz der Raubfische verringert sich die Menge der planktivoren Fische. Die daraufhin besser überlebenden Zooplanktonarten bauen höhere Populationsdichten auf, die wiederum das Phytoplankton stark reduzieren. Insgesamt haben sich geringe Dichten in hohe gewandelt und umgekehrt.
- ⑦ Die künstlich geschaffene Situation ist auf längere Sicht nicht stabil, vor allem wenn Nachwuchs von Hechten und Barschen vorhanden ist. Die Populationen müssen daher gegebenenfalls neu eingestellt werden. Erklären Sie die Zusammenhänge.
- Die Nahrungspyramide beginnt mit dem Phytoplankton, auf seiner Produktion bauen alle anderen Stufen auf. Damit bestimmt das Phytoplankton aufwärts (Bottom up) die nachfolgende Stufe. Die weiteren Ebenen sind in der Regel alternierend bestimmt (Top down, dann wieder Bottom up, usw.).

- ⑧ Die Biomanipulation verändert gezielt die Kontrolle der trophischen Ebenen der Talsperre. Erklären Sie, welche Form der Kontrolle vor und nach der Biomanipulation vorliegt.
- *Die Biomanipulation kehrt die Einflüsse um. Die Population der Raubfische ist nun für das Gewässer zu groß, vor allem, wenn sie sich vermehren und Hunger leiden, weil ihre Nahrungsbasis zu klein ist. Langfristig ist die künstlich eingestellte Situation daher nicht stabil und entwickelt sich wieder auf den ursprünglichen Zustand zurück. Will man den Vorteil sauberen Wassers weiterhin bewahren, muss man die manipulierte Situation immer wieder einstellen.*

Bäche und Flüsse als Lebensraum (Seite 241)

- ① Ökosysteme sind offene Systeme. Erklären Sie, warum diese Aussage ganz besonders auf Fließgewässer zutrifft.
- *Das Flusswasser wird durch Quelle und Nebenflüsse ständig erneuert und ausgetauscht. Außerdem gibt es Einträge aus der Umgebung in Form von Sediment, Geröll und pflanzlichen Materialien.*

Energiefluss im Nahrungsnetz eines Fließgewässers (Seite 242)

- ① Berechnen Sie, welchen prozentualen Anteil der aufgenommenen Biomasse der Rollegel in körpereigene Substanz umwandelt.
- $825 / (4655 + 19) = 0,1765$, also ca. 18 %

Selbstreinigung und Abwasserbelastung (Seite 245)

- ① Beschreiben Sie die Entwicklung der N- und P-Einträge in den letzten Jahren (Abb. 244.1) und stellen Sie eine Verbindung zur Gewässergüte (s. Randspalte) her. Worauf führen Sie die Entwicklung zurück?
- *N-Einträge: 1975 bis 2000 von 1 100 000 auf 600 000 t/Jahr gesunken, die Anteile der Eintragsquellen sind etwa gleich geblieben.
P-Einträge: 1975 bis 2000 von 126 000 auf 33 000 t/Jahr gesunken, vor allem durch die Verringerung der Einträge aus kommunalen Kläranlagen (Waschmittel!). Durch die verringerten P- und N-Einträge haben sich z. B. die Flussflächen mit Güteklasse II von 42 auf 58 % vergrößert, die Gewässergüte hat profitiert.*
- ② Beschreiben Sie die Veränderung der Umweltfaktoren nach einer Abwassereinleitung (Abb. 1).
- *Sauerstoff: sinkt stark, erholt sich langsam
Algen: Anzahl sinkt zunächst, steigt dann auf ein vorübergehendes Maximum an
Nitrat: Kurvenverlauf geht dem der Algen voran, fördert das Algenwachstum und wird verbraucht
Phosphat: steigt zunächst stark, wird dann allmählich verbraucht
BSB: zunächst hoch durch großen Gehalt an organischen Stoffen, sinkt langsam mit der Selbstreinigung des Gewässers*

Lebensraum Stadt (Seite 247)

- ① Beschreiben Sie die unterschiedlichen Umweltbedingungen in Stadt und Land (s. Randspalte S. 246) und nennen Sie die Ursachen.
- *In der Stadt ist es wärmer, es fallen etwas mehr Niederschläge, die Luft ist dennoch häufig weniger feucht (höhere Temperatur) und schadstoffreicher. Wolken und Nebel bilden sich häufiger, sodass die Sonneneinstrahlung vermindert ist. Die Tageslänge ist im Jahresverlauf durch künstliche Beleuchtung oft ausgeglichener, kalkreiche Baureste führen zu meist alkalischen Böden.*

5 Mensch und Umwelt

Wachstum der Weltbevölkerung (Seite 249)

- ① Erstellen Sie anhand des Textes drei kurze Zeitungsartikel unter folgenden Aspekten:
- Weltbevölkerung gestern – heute – morgen;
 - Voraussetzungen für die Zunahme der Weltbevölkerung;
 - Problematik der Entwicklungsländer.
- *Bei dieser Auswertung muss deutlich werden, dass die Anzahl der Menschen immer durch Umweltfaktoren bestimmt war und durch technologische Veränderungen erhöht werden konnte. Sammler und Jäger konnten sich nur mit den vorhandenen Ressourcen ernähren. Mehr Menschen konnten nicht überleben. Mit der Entwicklung landwirtschaftlicher Techniken konnten immer mehr Menschen ernährt werden. Bei der heutigen Bevölkerungszahl muss deutlich werden, dass durch die hohen Ansprüche der Industrienationen der Hunger in den anderen Erdteilen gefördert wird, da Anbauflächen für den Export genutzt werden. Hinzu kommt, dass durch den hohen Fleischbedarf die Anbauflächen für pflanzliches Tierfutter gesteigert werden müssen (Trophie-stufen, Energiepyramide).*

Umweltschutz – unsere Verantwortung? (Seite 252)

- ① Reflektieren Sie Ihren Standpunkt zu einem aktuellen Thema und überlegen Sie, inwiefern persönliche Sichtweisen hierdurch beeinflusst werden.
 - *Bei der Bearbeitung dieser Aufgabe sind nur individuelle Lösungen möglich. Aspekte hierzu: Auffassung von der Stellung des Menschen zur Natur in den verschiedenen Religionen und bei Naturvölkern gegenüber der Bevölkerung in Industrienationen. Wichtig bei diesen Überlegungen ist es, innerhalb des persönlichen Standpunktes die Frage nach der eigenen Verantwortung für die Natur und die Folgen in der Zukunft zu klären.*

Material: Ökologie (Seite 254/255)

- ① Erklären Sie anhand der Daten in der Abbildung 5 die Veränderungen, die durch das Fernhalten der Beringsmöwen und Braunmantel-Austernfischer zustande kommen.
 - *Das Fernhalten der Beringsmöwen und Braunmantel-Austernfischer führte nicht zu der deutlichen Veränderung der bevorzugten Beutetiere, wie man es erwartet hatte. Hier sind andere Faktoren mitbestimmend. Der Platzbedarf an der Steilküste ist der entscheidende Faktor. *L. strigatella* ist dem Konkurrenzdruck der anderen Arten unterlegen. Durch das Fehlen der Entenmuschel wird sogar die Pflanzenwelt verändert, da durch geringeres Abweiden der Napfschnecken mehr thallose Algen vorhanden sind.*
- ② Erörtern Sie, weshalb während des Experimentes die Anzahl von *Lottia pelta* nicht zunimmt, obwohl sie von den Seevögeln als Beute bevorzugt werden. Benutzen Sie hierzu auch die untersuchten Zusammenhänge (1–7) zwischen den einzelnen Lebewesen.
 - *Die verschiedenen Tiere und Pflanzen zeigen zusammen einen größeren Zusammenhang als einzelne Beobachtungen von jeweils zwei Arten. Dies liegt daran, dass auch Platzprobleme durch die festsitzenden Lebewesen auf engem Lebensraum mit den räuberischen Feinden in einem Zusammenhang stehen. Des Weiteren kommt hinzu, dass bestimmte Napfschnecken die festsitzenden Algen dezimieren und es so auch zu veränderten Platzbedingungen kommt.*
- ③ Beschreiben Sie vergleichend die Häufigkeitsverteilung der Waldkiefer in Abhängigkeit vom Faktor Bodenfeuchte in Versuchsbeeten und an natürlichen Standorten nach Abb. 7 und Abb. 8.
 - *Die physiologische Toleranz der Waldkiefer reicht von trocken bis nass mit einem deutlichen Optimum bei feuchtem Boden und nur geringer Verbreitung bei trockenen und nassen Standorten. Das natürliche Vorkommen ist dagegen auf nasse und trockenere Standorte beschränkt.*
- ④ Erklären Sie mit Bezug auf die Abbildungen die Begriffe ökologische Toleranz und ökologische Potenz und deuten Sie die Befunde unter diesen Aspekten.
 - *Die breite ökologische Toleranz ermöglicht es der Waldkiefer unter Konkurrenzbedingungen an extremen Standorten zu wachsen, weit entfernt vom Optimum ihrer physiologischen Potenz. Die reale ökologische Potenz hängt wesentlich von den Konkurrenzarten ab.*
- ⑤ Beschreiben Sie den Frühjahrs-, Sommer- und Herbstaspekt im Buchenwald.
 - *Im Frühjahr steht der Wald vor der Laubentfaltung. In der Krautschicht ist im März und April die Lichtintensität relativ hoch. Frühblüher, wie Buschwindröschen und Scharbockskraut haben ihre Blütezeit. Die Buche setzt vor dem Blattaustrieb vermehrt Kohlenstoffdioxid frei. D.h. sie mobilisiert durch die Zellatmung Energie für den Blattaustrieb. Im Sommer ist die Buche voll belaubt. Ihre Fotosyntheserate ist maximal infolge der hohen Lichtintensität mit steigendem Sonnenstand. Nur wenige Schatten liebende Pflanzen, wie der Waldziest, sind unter dem Laubdach zu finden. Mit dem Laubfall im Herbst kommt es zum Abfall der Fotosyntheserate.*
- ⑥ Erläutern Sie mögliche Zusammenhänge der dargestellten abiotischen und biotischen Faktoren im Jahreslauf.
 - *Die Lichtverhältnisse sind entscheidend für die Fotosyntheseaktivität und die Wuchsbedingungen für Licht und Schatten liebende Pflanzen. Die Temperatur ist für die Laubmenge der Bäume mitentscheidend. Biotische Aspekte spielen hierbei nur eine untergeordnete Rolle.*

Evolution

1 Variabilität und Auswahl

Selektion verändert Populationen (Seite 263)

- ① In den vergangenen 30 Jahren hat man in den Industriegebieten Englands den Umweltschutz vorangetrieben. Beobachtungen belegen, dass die Häufigkeit der hellen Birkenspanner zugenommen hat. Erläutern Sie den Zusammenhang.
- Die Verbesserung des Umweltschutzes führte zur Reduktion des Schwefeldioxidgehaltes sowie der Staub- und Rußpartikel in der Luft. Die hellen Flechten konnten sich auf der Borke der Eichen und Birken wieder entwickeln. Damit waren die hellen Birkenspannerformen wieder besser getarnt als die melanistischen Formen. Sie wurden weniger gefressen und konnten vermehrt Nachkommen zeugen. Die reproduktive Fitness der hellen Falter stieg und damit auch ihr Anteil an der Gesamtpopulation.
- ② Begründen Sie, warum die geschlechtliche Fortpflanzung gegenüber der ungeschlechtlichen bei sich ändernden Umweltbedingungen Vorteile hat.
- Bei ungeschlechtlicher Fortpflanzung entstehen die Nachkommen mitotisch. Eltern und Nachkommen sind genetisch identisch. Auftretende Variabilität innerhalb von Populationen ist also lediglich modifikatorisch bedingt und wird nicht vererbt. Bei geschlechtlicher Fortpflanzung werden bei der Bildung der Keimzellen (Meiose) die Allele (Rekombination der Chromosomen, Crossingover) neu kombiniert. Dieser Prozess der Neukombination ist neben dem Zufall, welche Keimzellen zu Zygoten verschmelzen, die wesentliche Ursache für die genetische Variabilität. Unter einer großen Anzahl von Nachkommen treten dadurch häufig Phänotypen auf, die veränderten Bedingungen besser angepasst sind als ihre Eltern. Bei rasch wechselnden Bedingungen ist eine Anpassung, die das Aussterben einer Population verhindert, häufig nur aufgrund der durch die geschlechtliche Fortpflanzung hervorgerufene Variabilität möglich.
Anmerkung: Beim obigen Vergleich sind Mutationen nicht berücksichtigt worden, da sie selten auftreten und zudem vom Fortpflanzungstyp unabhängig sind.

Populationsgenetik (Seite 264)

- ① Vergleichen Sie die ideale mit der realen Population.
- siehe Tabelle

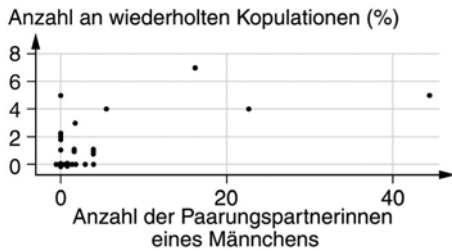
	ideale Population	reale Population
Individuenzahl	so groß, dass Tod oder Geburt keinen Einfluss auf den Genpool haben	bisweilen sehr klein, Änderungen haben Einfluss auf den Genpool
Paarungsmöglichkeiten	unbeschränkt möglich	beschränkt
Selektionsvorteil bestimmter Genotypen	keine	bestimmte Genotypen haben Selektionsvorteile
Mutationen	nein	ja
Zu- oder Abwanderungen	nein	ja
Änderung der Allelhäufigkeit	nein	ja
Evolution	findet nicht statt	findet statt

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

Material: Simulation von Evolutionsprozessen (Seite 265)

- ① Bestimmen Sie die Häufigkeiten der Genotypen AA, Aa und aa sowie die absolute Anzahl der Träger der zugehörigen Merkmale.
- Aus Abb. 1 Werte entnehmen: $p = 0,6$; $q = 0,4$
Relative Genotypfrequenz und absolute Anzahl:
Für AA: $p^2 = 0,36$; Anzahl = $0,36 \times 100\,000 = 36\,000$
Für Aa: $2pq = 2 \times 0,6 \times 0,4 = 0,48$; Anzahl = $48\,000$
Für aa: $q^2 = 0,16$; Anzahl = $16\,000$
- ② Abb. 2 zeigt den Verlauf derselben Allelhäufigkeit für eine weitere Population. Vergleichen Sie die beiden Abbildungen. Begründen Sie, welche Abbildung praktisch eine Idealpopulation beschreibt. In welcher Eigenschaft können sich die beiden Populationen unterscheiden?
- Abb. 2: Relative Allelfrequenzen schwanken im zeitlichen Verlauf zufallsbedingt. Keine Idealpopulation; Population wesentlich kleiner als bei Abb. 1. Auch möglich: starke Zu- und Abwanderungen.
- ③ Begründen Sie, welches der Diagramme die Verhältnisse wiedergibt, die bei der Population im Malariagebiet eintreten werden.
- Allelfrequenz Sichelzelle: $q = 0,15$
Allelfrequenz Normalallele: $p = 1 - q = 0,85$
Genotypfrequenzen: AA: $p^2 = 0,7225$; Aa: $2pq = 0,255$; aa: $q^2 = 0,025$
- ④ Diskutieren Sie die in Abb. 3 und Abb. 4 dargestellten Kurvenverläufe.
- Erklärungen zu Abb. 3: In Malariagebieten besteht ein Selektionsvorteil für den Genotyp Aa gegenüber dem Genotyp AA. Daher nimmt im zeitlichen Verlauf der Anteil Heterozygoter zu und der des Genotyps AA ab. Der Anteil von Trägern des Genotyps aa nimmt ebenfalls zu, da infolge der Zunahme Heterozygoter auch ein höherer Anteil von Homozygoten mit dem Genotyp aa entsteht. Insgesamt ist diese Gruppe klein, da dieser Genotyp aa nur eine geringe Lebenserwartung hat.
Erklärungen zu Abb. 4: Außerhalb von 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 10 000 Individuen vorhanden sind.
- Melanismusallele: A; Normalallele: 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: $p = 1 - q = 1 - 0,995 = 0,005$
Genotypfrequenz von Aa: $2pq = 2 \times 0,005 \times 0,995 \approx 0,00995$
Genotypfrequenz von AA: $p^2 = 0,005 \times 0,005 = 0,000025$
Absolute Anzahl des Genotyps Aa: $0,00995 \times 10\,000 = 99,5$
Es sind 100 heterozygote Tiere in der Population zu erwarten.
Absolute Anzahl des Genotyps AA: $0,000025 \times 10\,000 = 0,25$
Es ist nicht zu erwarten, dass homozygote Tiere in der Population sind.
- ⑥ Abb. 5 zeigt den zeitlichen Verlauf der Genotyphäufigkeiten für den Fall, dass infolge von Luftverunreinigungen die Baumrinden dunkel gefärbt werden. Erklären Sie den Verlauf der Genotyphäufigkeiten, insbesondere Anstieg und Abnahme beim Genotyp Aa.
- Sind die Baumrinden dunkel, so haben die melanistischen Tiere gegenüber den hellen Tieren einen Selektionsvorteil. Der Anteil der hellen Tiere (Genotyp aa) nimmt ab, der Anteil der dunklen Tiere mit dem Genotyp AA steigt.
Die Genotypfrequenz der dunkel gefärbten Tiere mit dem Genotyp Aa beträgt nach der Hardy-Weinberg-Regel $2 \times p \times q$. Dieses Produkt ist klein, wenn anfänglich die Allelfrequenz p für das Melanismusallel A klein ist. Es finden also selten helle Tiere einen dunklen Kreuzungspartner. Nimmt die Allelfrequenz p im Verlauf zu, so wächst auch die Genotypfrequenz $2 \times p \times q$. Jetzt finden immer mehr helle Tiere einen dunklen Kreuzungspartner, unter deren Nachkommen heterozygote sind.
Im weiteren Verlauf wird infolge der Selektionswirkung die Allelfrequenz p für das Allel A immer größer, jedoch nimmt jetzt q ab. Das Produkt $2 \times p \times q$ wird wieder kleiner. Es nimmt die Anzahl heller Organismen immer weiter ab und dadurch entstehen bei den Kreuzungen weniger heterozygote. Das Maximum ist erreicht, wenn $p = q = 0,5$ ist.
- ⑦ Erklären Sie, ob es möglich ist, dass die Genotypen Aa und aa bei sehr großen Populationen unter den Selektionsbedingungen von Aufgabe 6 verschwinden, wenn man Neumutationen ausschließt.
- 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



- ⑨ Bestimmen Sie die Zeitspanne, in der die Allelhäufigkeit auf die Hälfte absinkt. Gehen Sie von 25 Jahren Generationszeit aus.
- Zeitspanne ca. $60 \times 25 \text{ Jahre} = 1500 \text{ Jahre}$

Selektionsfaktoren (Seite 269)

- ① Rauchschnalbenmännchen mit langen Schwanzfedern haben eine bessere Konstitution und weniger Parasiten. Sie ziehen mehr Weibchen an als solche mit kurzen Schwanzfedern. Stellen Sie eine Hypothese zur Erklärung der Bevorzugung auf. Berücksichtigen Sie dabei die reproduktive Fitness der Tiere.
- *Starke Männchen können sich beim Streit um Ressourcen besser gegen Konkurrenten behaupten. Sie erreichen daher eine bessere Konstitution, sind gesünder und können nach der Mauser längere Schwanzfedern ausbilden. Weibchen haben eine höhere Fitness (d. h. mehr und „bessere“ Nachkommen), wenn sie Männchen mit den besten Eigenschaften als Vater ihrer Kinder wählen. Geht man von einer Variabilität im Wahlverhalten aus, dann haben diejenigen Weibchen eine höhere Fitness, die sich bei der Wahl an Merkmalen orientieren, die die Qualität der Männchen indirekt widerspiegeln und nicht täuschbar sind. Die Orientierung an der Länge der Schwanzfedern erfüllt diese Voraussetzungen, sodass sich dieses Wahlverhalten gegenüber möglichen Alternativen durchgesetzt hat.*

Material: Selektion auf Körpergröße (Seite 270)

- ① Berechnen Sie das Oberflächen/Volumen-Verhältnis für Würfel von 1, 2, 3, 4 und 5 cm Kantenlänge und stellen Sie dies in einem Schaubild dar.
- Das Oberflächen-/Volumenverhältnis der fünf Würfel von 6; 3; 2; 1,5 und 1,2 soll über der entsprechenden Kantenlänge aufgetragen werden.
- ② Beschreiben und begründen Sie die in beiden Abbildungen dargestellten Unterschiede zwischen den Skeletten großer und kleiner Arten.
- *Die Knochen größerer Tiere sind im Verhältnis zur Körpergröße massiver gebaut und wiegen, bezogen auf die Gesamtmasse des Tieres, prozentual mehr. Wenn Tiere größer werden, nimmt ihre Masse mit der 3. Potenz zu. Würde der Knochenquerschnitt mit der 2. Potenz zunehmen, dann würde die Querschnittsbelastung zu hoch werden und die Knochen könnten brechen. Bei Zunahme der Masse müssen die Knochenquerschnitte daher stärker zunehmen.*
- ③ Erläutern Sie, wie sich das Knochenwachstum eines großen Tieres von dem eines kleineren unterscheidet.
- *Knochen eines größeren Tieres müssen ein stärkeres Querschnittswachstum haben als diejenigen von kleineren Tieren.*
- ④ Fassen Sie die genaue Aussage des Schaubildes zusammen.
- *Je größer die Körpermasse eines Tieres ist, desto weniger Sauerstoff (gemessen in ml) verbraucht die Tierart pro Stunde und g Körpermasse.*
- ⑤ Erklären Sie, weshalb die großen Tiere, obwohl sie absolut mehr Kraft als die kleinen haben, keine wesentlich höheren Sprünge schaffen.
- *Wenn Tiere größer werden, wächst ihre Masse mit der 3. Potenz. Da ihre Kraft vom Muskelquerschnitt und nicht von der Muskelmasse abhängt, nimmt sie mit der 2. Potenz zu. Die Kraft eines größeren Tieres ist absolut gesehen größer, bezogen auf die Körpermasse jedoch relativ kleiner.*
- ⑥ Erläutern Sie, warum die größten Schlangenarten in den Tropen leben, während in nördlichen Ländern nur kurze Arten vorkommen.
- *Als wechselwarme Tiere müssen die Schlangen Wärme über ihre Oberfläche aus der Umgebung aufnehmen. Bei großen Schlangen mit einer relativ geringeren Körperoberfläche würde das Aufwärmen unter gemäßigten Klimabedingungen zu lange dauern. Besonders weit nördlich vorkommende Schlangen (z. B. in Kanada) sind entsprechend klein und dünn.*

Künstliche Selektion: Tier- und Pflanzenzucht (Seite 271)

- ① Stellen Sie die Zuchtziele des Menschen für je zwei Beispiele aus der Tier- und Pflanzenzucht zusammen.
 - *Zuchtziele bei Tieren: Hohe Milchproduktion, rasches Erreichen des Schlachtgewichts, geringer Fettgehalt im Fleisch, geringe Aggressivität, hohe Zutraulichkeit, äußere Attraktivität*
 - Zuchtziele bei Pflanzen: Große Samen und Früchte, hoher Zuckergehalt, geringer Gehalt an Bitterstoffen, Schädlingsresistenz, lange Lagerfähigkeit, Schnittfestigkeit (z.B. Tomaten), äußere Attraktivität (z.B. Äpfel, Birnen etc.)*
- ② Erläutern Sie den Einfluss der vegetativen Vermehrung bzw. den mutagener Substanzen auf die Evolutionsgeschwindigkeit in der Pflanzenzucht.
 - *Vegetative Vermehrung: Bei vegetativer (asexueller) Fortpflanzung werden Nachkommen ohne genetische Rekombination erzeugt. Es entsteht eine Population genetisch identischer Organismen (Klon). Die vegetative Vermehrung dient der Vergrößerung der Population. Da die Allel- und Genotypenhäufigkeiten unverändert bleiben, findet keine Evolution statt (Evolutionsgeschwindigkeit ist Null.).*
Einfluss mutagener Substanzen: Mutationen sind seltene Ereignisse. Im Bereich der Mutationszüchtung werden sie durch Chemikalien, radioaktive Strahlung und Röntgenstrahlung sowie Kälte- und Hitzeschocks künstlich ausgelöst. Mutagene Substanzen erhöhen also die Evolutionsgeschwindigkeit.

Praktikum: Selektionsspiele (Seite 273)

- ① Entwickeln Sie eine Variante des Spiels über mehrere Generationen. Für die „Reproduktion“ werden nach dem ersten Absammeln Dreiecke der gleichen Helligkeit nachgelegt, bevor wieder abgesammelt wird.
 - *Varianten können den Selektionsdruck (unterschiedliche Zeitvorgaben für das Absammeln) und die Reproduktionsrate (Anzahl der Dreiecke, die pro verbliebener Dreieckfarbe ergänzt werden) betreffen. Entsprechend wird es unterschiedlich lange dauern, bis sich eine Farbe durchgesetzt hat.*
- ② Wechseln Sie nach der zweiten Generation die Unterlage für die verbleibenden Dreiecke.
 - *Durch den Wechsel der Untergrundfarbe wechselt die Richtung des Selektionsdrucks. Das simuliert eine stabilisierende Selektion, die nicht zu einer Veränderung der Farbanteile in der Population führt, so lange die Population groß genug ist.*
- ③ Stellen Sie dar, inwieweit das Spiel die Selektionssituation beim Birkenspanner modelliert.
 - *Auch beim Birkenspanner gibt es eine dunklere und eine hellere Variante, die jeweils auf hellem und dunklem Untergrund unterschiedlichem Selektionsdruck ausgesetzt sind.*
- ④ Wie lässt sich das Spiel am PC verwirklichen, z.B. in einer Tabelle?
 - *7 x 7-Gitter einem Tabellenkalkulationsprogramm entwerfen, Kreisobjekt zeichnen und in die Zellen kopieren, jeweils 12 mit einer von 3 Farben füllen. Mit 2 Würfeln die Koordinaten auswürfeln und Füllfarbe entsprechend der Spielregel ändern. Einige Tabellenkalkulationsprogramme stellen die Funktion ZUFALLSBEREICH (1; 6) zur Verfügung, mit der auch das Würfeln simuliert werden kann.*
- ⑤ Würfeln Sie die Koordinaten aus, bis eine Farbe dominiert. Wurde das Ergebnis geradlinig erreicht?
 - *Nein, die dominante Farbe wechselt. Welche Farbe letztlich siegt, ist vom Zufall abhängig.*
- ⑥ Wie wirkt sich die Variante Mutation auf den Endstand der Farben aus?
 - *Auch bei langer Spieldauer erobert keine Farbe eindeutig das Spielfeld, da die seltenste Farbe immer wieder durch Mutation gestärkt wird. Die Variabilität bleibt also erhalten.*
- ⑦ Wie wirkt sich die Variante Reproduktionsrate auf den Endstand aus?
 - *Die gelbe Farbe ist durch geringe Selektion (nur bei einem Wurf von 1 wird sie entfernt) und hohe Reproduktion stark begünstigt und wird in den meisten Spielverläufen das Spielfeld erobern.*

Material: Simulationen zur Gendrift (Seite 275)

- ① Ein Ehepaar besitzt die Genotypen MM bzw. MN. Bestimmen Sie die Wahrscheinlichkeit, dass
 - a) ihr erstes Kind den Genotyp MM hat,
 - b) vier Kinder alle den Genotyp MM haben.
 - a) *Die Wahrscheinlichkeit, dass das erste Kind homozygot MM hat, beträgt 0,5.*
 - b) *Die Wahrscheinlichkeit für MM bei den ersten vier Kindern beträgt:*
 $0,5 \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot 0,5 = 0,0625$, entspricht 6,25 %.
- ② Vergleichen Sie die in der Tabelle angegebenen Häufigkeiten der Allele des MN-Systems und deuten Sie das Ergebnis.
 - *Bei den Dunkern liegt das Allel M mit 66 % wesentlich häufiger vor als das Allel N. Bei Rheinländern und Amerikanern ist das Allel M mit 55 % bzw. 54 % nicht ganz so überwiegend vertreten im Vergleich zu N wie in der Dunkerpopulation. Die Daten stützen die Hypothese, dass Gendrift vorliegt: Eine kleine, genetisch zufällig zusammengesetzte Population, die Dunker, hat sich von der Ursprungspopulation der Rheinländer abgespalten und ist ausgewandert. Die Genpools der beiden Populationen unterscheiden sich erheblich. Dies ist zufallsbedingt und mit dem Gründereffekt zu erklären. Die Ähnlichkeit der Allelfrequenzen zwischen Dunkern und Amerikanern ist vermutlich zufällig (aber keine Gendrift). Sie trifft nur für das MN-System zu. Beim AB0-System sind die Unterschiede zwischen den Allelfrequenzen der Populationen erheblich. Andere Untersuchungen belegen, dass aufgrund der Umweltstabilität der Blutgruppenallele ein ähnlicher Selektionsdruck nicht die Ursache für die Ähnlichkeit sein kann.*

- ③ Bestimmen Sie die Allelhäufigkeiten der Ausgangs-, der Gründer- und der 1. Folgegeneration.
 - Durchführung und Protokollierung der Simulation
- ④ Wiederholen Sie den 2. Spielabschnitt 7-mal und bestimmen Sie die Allelhäufigkeiten aller Folgegenerationen. Stellen Sie Ihr Ergebnis grafisch dar.
 - Durchführung und Protokollierung der Simulation
- ⑤ Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit den Ergebnissen der anderen Gruppen. Deuten Sie die Kurvenverläufe.
 - Die Kurvenverläufe sollten von Gruppe zu Gruppe unterschiedlich sein und so den Einfluss des Zufalls verdeutlichen.
- ⑥ Vergleichen Sie Ihre Simulation mit den in der Population der Dunker vermutlich abgelaufenen Prozessen.
 - siehe Tabelle

	Simulation	Dunker-Evolution
Zufall 1	Ziehen der 16 Spielmarken	Bildung der Gründerpopulation
Zufall 2	Ziehen von 2 x 4 Spielmarken	Paarbildung innerhalb der Gründerpopulation
Zufall 3	Ermittlung der Anzahl der Kombinationen MM, MN und NN	Allel- und Genotyphäufigkeiten in der Folgegeneration

- ⑦ Vergleichen Sie die drei Grafiken. Deuten bzw. erklären Sie die Unterschiede und Gemeinsamkeiten.
 - In drei unterschiedlich großen Mehlkäferpopulationen wird die Häufigkeit des Allels B in den ersten zwanzig Generationen verfolgt. In den Ausgangspopulationen haben das Allel B und damit auch das Allel A jeweils die Häufigkeit 0,5. Je kleiner die Ausgangspopulation ist, desto mehr schwankt die Häufigkeit des Allels B. Tendenziell nimmt sie in allen drei Populationen zu. Die Schwankungen können aber im Versuch mit der kleinsten Populationsgröße so groß sein, dass das Allel B ausstirbt bzw. nach wenigen Generationen zu 100 % vorliegt. Da die Schwankungen um so größer sind, je kleiner die Population ist, sind sie auf den Zufall zurückzuführen. Es liegt also Gendrift (Gründereffekt) vor. Die tendenzielle Zunahme des Allels B in allen drei Populationen ist auf Selektion zurückzuführen. Gendrift und Selektion überlagern sich in diesem Beispiel.

2 Artbildung

Material: Evolution der Baumläufer (Seite 279)

- ① Stellen Sie eine begründete Hypothese über die Artbildung von Gartenbaumläufer und Waldbaumläufer auf. Erklären Sie in diesem Zusammenhang auch die heutigen Unterschiede im Vorkommen.
 - Durch die Eiszeit entstanden möglicherweise aus einer Ausgangspopulation eine westliche und eine östliche Teilpopulation. Durch die Isolation können sich Unterschiede ausgeprägt haben, die bei späterer Überschneidung der Verbreitungsgebiete eine Vermischung verhindert haben (allopatrische Artbildung).
- ② Erklären Sie das Zustandekommen der Kontrastbetonungen bei den Schnabellängen. Vergleichen Sie dazu Mitteleuropa mit Regionen, in denen nur eine der beiden Arten vorkommt.
 - Nach dem Ende der Eiszeit haben sich beide Teilpopulationen wieder nach Mitteleuropa ausgebreitet. Die dortigen Populationen blieben zwar isoliert, waren aber noch recht ähnlich. Die ähnliche Schnabellänge bedingte die Nutzung ähnlicher Ressourcen, was zu interspezifischer Konkurrenz führte. Bei beiden Arten besaßen aber diejenigen Individuen einen Selektionsvorteil, deren Schnäbel sich stärker von denen der Konkurrenten unterschieden, während die ähnlichsten am meisten unter Konkurrenz litten. Dies hatte zur Folge, dass Individuen mit deutlich verschiedenen Schnäbeln eine höhere Fitness besaßen (d. h. mehr Nachkommen) als andere Artgenossen. Im Laufe der Generationen wurden daher die Schnabelunterschiede immer deutlicher. Dieses Szenario wird gestützt durch die Individuen aus Verbreitungsgebieten, in denen die jeweils andere Art nicht vorkommt: Südwesteuropa beim Gartenbaumläufer sowie Osteuropa bis Asien beim Waldbaumläufer. In diesen Regionen war keine Konkurrenz wirksam und die Schnabellängen unterscheiden sich weniger stark von denen der dort nicht vorkommenden Konkurrenzart.
- ③ Stellen Sie eine begründete Hypothese zur Lösung der Frage auf, wie die ökologischen Unterschiede innerhalb jeder Art entstanden sein könnten.
 - Nach dem erneuten Zusammentreffen beider Baumläufer-Arten nach der Eiszeit waren sie einander noch sehr ähnlich. Dies führte zu starker Konkurrenz. Diejenigen Individuen besaßen Selektionsvorteile, die der Konkurrenzart weniger ähneln. Auf lange Sicht werden daher Individuen das Erscheinungsbild der Arten bestimmen, die sich klarer von den Konkurrenten unterscheiden. Die ökologische Kontrastbetonung ist dort zu finden, wo beide Arten vorkommen. Dort, wo nur eine Art vorkommt, tritt dieser Effekt nicht auf.
- ④ Erklären Sie die Bedeutung des Gesangs bei Singvögeln für Auseinandersetzungen und Partnerwahl. Erklären Sie das Zustandekommen der Kontrastbetonungen beim Gesang.
 - Gesang ist durchaus anstrengend, vor allem, wenn er laut und variantenreich vorgetragen wird. Er enthält daher für die Artgenossen Informationen über den Sänger, wie z. B. dessen Kondition bzw. Stärke. Mithilfe des Gesangs erhalten Geschlechtsgenossen als Rivalen Informationen darüber, ob sich eine evtl. Auseinandersetzung (im Sinne von Kosten und Nutzen) für den möglichen Gewinn lohnen würde. Durch diese Information finden viele Kämpfe gar nicht erst statt. Mit dem Gesang erhalten potenzielle Partnerinnen Informationen darüber, inwieweit der Sänger als Partner (und Vater ihrer Nachkommen) geeignet ist. Gute Sänger werden rascher gewählt (brüten früher) und haben oft mehr Nachkommen als andere.

Artbildung ohne geografische Isolation (Seite 281)

- ① Vergleichen Sie präzygote und postzygote Isolationsmechanismen bezüglich der Stabilität von Artgrenzen.
- *Aus postzygoten Isolationsmechanismen entstandene Artgrenzen sind stabiler. Postzygote Isolationsmechanismen führen zu Nachkommen, die aufgrund von genetisch fehlgesteuerten Differenzierungsprozessen nicht existenzfähig oder steril sind. Bei präzygoten Isolationsmechanismen wird die Zygotenbildung u. a. durch tageszeitliche Isolation, ethologische oder jahreszeitliche Paarungsisolierung verhindert. Aufgrund der geringen genetischen Distanz zwischen den Arten sind diese Artgrenzen wesentlich labiler.*

Adaptive Radiation (Seite 283)

- ① 1000 km nordöstlich der Galapagos-Inseln liegt die Kocos-Insel. Sie bietet viele verschiedene Lebensräume. Erläutern Sie, warum hier nur eine Finkenart lebt.
- *Adaptive Radiation ist an eine Unterbrechung des Genflusses gebunden. Da diese Bedingung nur auf dem Galapagos-Archipel mit den zahlreichen kleinen Inseln, aber nicht auf der mehrere hundert Kilometer entfernten, allein im Ozean liegenden Kocos-Insel gegeben ist, konnten sich hier trotz der vielen verschiedenen Lebensräume unterschiedliche Rassen, aber nicht unterschiedliche Arten entwickeln.*

Koevolution: Anpassung und Gegenanpassung (Seite 285)

- ① Beschreiben Sie weitere Beispiele für die Koevolution von Blüten und deren Bestäubern.
- *Bienenblumen: nektarreich, Blütenfarben im UV-Bereich*
Nachtfalterblumen: abends öffnend, duftend, Nektar tief liegend
Käferblumen: robust, viel Pollen, offen dargeboten
Vogelblumen: tiefe Kelche, duftarm, oft leuchtend gefärbt
Fledermausblumen: abends öffnend, kräftig
Fliegenblumen: leicht erreichbarer Nektar, oft Aasgeruch

Koevolution bei Passionsblume und Heliconius-Falter (Zettelkasten Seite 285)

- ① Belegen Sie anhand der Diagramme, dass Heliconius-Weibchen Blätter ohne Flecken oder Eier bevorzugen.
- *Heliconius-Weibchen legen schon nach kurzer Zeit Eier auf unbesetzten oder fleckenfreien Blättern ab, während sie lange zögern, wenn sich auf den Blättern bereits Eier oder eiartige Flecken befinden.*

Material: Wirksamkeit der Mimikry (Seite 287)

- ① Planen Sie ein Realexperiment, mit dem die Schutzwirkung der Mimikry des Hornissenschwärmers untersucht werden könnte.
- *Man müsste das Beutefangverhalten zweier Gruppen von Fressfeinden untersuchen: eine Gruppe mit Vorerfahrungen mit Hornissen und Wespen, die andere ohne (Kontrollgruppe). Wenn die Gruppe mit Vorerfahrungen unter den Beutetieren weniger häufig Hornissenschwärmer auswählt, wäre dies ein direkter Nachweis für die Schutzwirkung der Mimikry.*
- ② Welche Vereinfachungen enthält das Simulationsmodell zur Mimikry des Hornissenschwärmers?
- *Beispiele für Vereinfachungen: Populationsgröße der Fressfeinde ist konstant (unabhängig vom Nahrungsangebot); Populationsgröße der Vorbilder ist konstant; alle Fressfeinde haben die gleiche Lebensdauer; bei den Nachahmern gibt es keinen Alterstod; die Nachahmer sind nur durch die Mimikry geschützt; z. B. berücksichtigt das Modell eventuelle Fluchtmöglichkeiten nicht; bereits einmaliger Kontakt mit dem wehrhaften Vorbild führt zum Lernprozess der Fressfeinde. Der Lernprozess bewirkt dauerhaftes Verschonen der Nachahmer.*
- ③ Von welchen Faktoren hängt die Schutzwirkung der Mimikry ab? Belegen Sie Ihre Aussage anhand der Simulationsexperimente 1–5.
- *Beobachtung: Vergleich V1 – V2: die Populationsstärke der wehrlosen Nachahmer in V1 nimmt ab, in V2 bleibt sie etwa konstant. Die Wirkung der Mimikry hängt von der Generationsdauer der Fressfeinde ab. Erklärung: Wenn im Modell ein Fressfeind einmal Erfahrung mit einem wehrhaften Vorbild gemacht hat, erbeutet er in seiner gesamten Lebenszeit keine Nachahmer mehr. Je länger er also lebt, umso sicherer sind die Nachahmer. Beobachtung: Vergleich V1 – V5: Die Populationsstärke der Nachahmer in V1 nimmt ab, bleibt aber in V5 etwa konstant. Bei fast doppelt so vielen Begegnungen Fressfeind/Nachahmer sind viel weniger Tiere erbeutet worden. Die Wirkung der Mimikry ist von der Anzahl der wehrhaften Vorbilder abhängig. Erklärung: Bei hoher Anzahl der Vorbilder ist die Wahrscheinlichkeit größer, dass ein Fressfeind bereits Erfahrung mit einem wehrhaften Vorbild hatte, wenn er auf einen Nachahmer trifft. Die Überlebenswahrscheinlichkeit für Nachahmer ist größer.*
- ④ Vergleichen Sie V1 und V3. Beschreiben und erklären Sie den Verlauf der Populationskurven. Ist die Wirksamkeit der Mimikry bei V1 und V3 verschieden?
- *Die Populationsstärke der Nachahmer nimmt in V1 ab, aber in V3 zu. Der Unterschied beruht auf einer erhöhten Fortpflanzungsrate der Nachahmer in V3. In V3 wurden viel mehr Nachahmer erbeutet als in V1. Dennoch sinkt die Stärke der Population nicht, weil die erhöhte Fortpflanzungsrate diese Verluste mehr als ausgleicht. Die Schutzwirkung durch Mimikry ist in V3 nicht erhöht verglichen mit V1.*

- ⑤ Bilden und interpretieren Sie das Verhältnis von Begegnungszahl Fressfeind – Nachahmer und der Anzahl gefressener Nachahmer.
- Das Verhältnis gibt an, wie viel Begegnungen Feind/Nachahmer für einen Fang durchschnittlich nötig waren. Je größer der Quotient, desto besser ist die Schutzwirkung der Mimikry. Da die Individuenanzahlen vergleichsweise gering sind, können nur starke Abweichungen interpretiert werden; kleinere Abweichungen können zufällig sein. Im Vergleich zu V1 ist nur bei V2 und V5 die Schutzwirkung deutlich größer. Die Berechnung zeigt auch, dass bei V4 kaum eine Veränderung der Wirkung im Vergleich zu V1 vorliegt. Die etwas stärkere Abnahme der Populationsstärke der Nachahmer wird durch die verdoppelte Anzahl der Fressfeinde verursacht, die aber auch zu nahezu doppelt so vielen Begegnungen führt.

Material: Malaria und Sichelzellanämie (Seite 288/289)

- ① Erläutern Sie, warum Malaria in Deutschland kaum auftritt.
- Die Entwicklung der Parasiten in der Mücke ist von der Temperatur abhängig. Bei niedrigen Temperaturen, wie z. B. in Mitteleuropa, verläuft sie wesentlich langsamer als in den Tropen und Subtropen. Bei Temperaturen unter 15°C unterbleibt sie. Dies ist die Hauptursache für die geografische Beschränkung der Malaria.
- ② Erklären Sie die biologische Bedeutung der Fieberschübe.
- Entsprechend der RGT-Regel erhöht sich durch den Temperaturanstieg (Fieberschub) die Geschwindigkeit der Stoffwechselprozesse zum Abbau der freigesetzten giftigen Abfallstoffe beim Zerfall der Roten Blutzellen.
- ③ Beschreiben Sie das Vorkommen der beiden genannten Krankheiten und fassen Sie die medizinischen Befunde zusammen.
- Vorkommen der Krankheiten: Die Verbreitungsgebiete von Malaria und Sichelzellanämie überlappen sich in Zentralafrika. Ferner kommt Malaria entlang des Nils, Südeuropa und Vorderasien vor. Die Sichelzellanämie findet man auch in Westafrika.
- Medizinische Befunde:
- Malaria: Fieberschübe mit starkem Schwitzen, Herzrasen, Muskelzittern, synchroner Zerfall von Roten Blutzellen
 - Sichelzellanämie: Unter Sauerstoffmangel sichelförmige Rote Blutzellen, Blutarmut, Thrombosen, Nierenversagen, Komazustände,
 - Zusammenhang Sichelzellanämie und Malaria: Sichel haben seltener Plasmodien im Blut als Nicht-Sichler
- ④ Formulieren Sie eine Hypothese, die die auffälligen Häufigkeiten des Sichelzellallels in den Tropen erklärt.
- Die Sichelzellanämie verringert die Infektionsgefahr und schützt so vor Malaria.
- ⑤ Klären Sie die genetischen Ursachen der Sichelzellanämie und analysieren Sie den Erbgang mithilfe von Abbildung 5.
- Die Elektrophorese (Abb. 4) belegt, dass es zwei Hämoglobintypen (Hb A und Hb S) gibt, die beim Überträger zu gleichen Teilen vorkommen. Gemeinsam mit dem Stammbaum (Abb. 5) ergibt sich die Hypothese, dass die Sichelzellanämie entsprechend dem autosomal-rezessiven Erbgang vererbt wird. Die DNA-Sequenzen der beiden Hämoglobin-Typen unterscheiden sich lediglich an der Position 6 in einer Aminosäure (siehe Abb.).

Triplet-Nr.	5	6	7	8
Hb A:				
DNA	GGA	CTC	CTC	TTT
m-RNA	CCU	GAG	GAG	AAA
AS-Sequenz	Pro	Glu	Glu	Lys
Hb S:				
DNA	GGA	CAC	CTC	TTT
m-RNA	CCU	GUG	GAG	AAA
AS-Sequenz	Pro	Val	Glu	Lys

- ⑥ Entwickeln Sie eine Hypothese, die die verminderte O₂-Bindungsfähigkeit des Sichel-Hämoglobins erklärt.
- Die Sichelzellanämie ist auf eine Punktmutation Thymin → Adenin zurückzuführen. Diese Mutation hat eine Veränderung der Aminosäuresequenz von Glu → Val zur Folge. Damit verändern sich Sekundär-, Tertiär- und Quartärstrukturen des Proteins. Die Elektrophorese zeigt, dass das Sichel-Hb aufgrund der veränderten Ladungsverhältnisse zum negativen Pol gezogen wird. Diese Strukturveränderung bedingt die Verminderung der Sauerstoff-Bindungsfähigkeit des Sichel-Hämoglobins.
- ⑦ Erläutern Sie den Zusammenhang zwischen dem Sauerstoffgehalt im Blut und der Vermehrung der Plasmodien (Abb. 6, 7).
- Bei hohem O₂-Gehalt (17%) vermehren sich die Plasmodien in allen drei Erythrocytentypen gleich gut. Sinkt der O₂-Gehalt (dies entspricht Bedingungen im Gewebe bei körperlicher Belastung), sterben vor allem die Plasmodien in den Roten Blutzellen der Sichel aber auch der Überträger. Bei niedrigem O₂-Gehalt durchlöchert bei Sichelern und Überträgern das fädige Sichel-Hb die Erythrocytenmembran. K⁺-Ionen diffundieren hinaus (kein aktiver Transport mehr). Die Plasmodien sterben aufgrund des K⁺-Mangels ab. Die Sichel-Form wird vermutlich ebenfalls durch die spitzen, fädigen Hb-S-Moleküle bewirkt.

- ⑧ Überprüfen Sie Ihre Hypothese (Aufg. 4) anhand der neuen Befunde.
- Die alte Hypothese hat sich bestätigt, sie lässt sich weiter differenzieren: Die Sichelzellanämie bewirkt bei Sauerstoffmangel einen Schutz vor Malaria, da die Plasmodien aufgrund der geringen K^+ -Konzentration in den Roten Blutzellen von Überträgern und Kranken absterben.
- ⑨ Im 19. Jahrhundert war die Sichelzellanämie in Süditalien ziemlich weit verbreitet. Seitdem aber alle größeren Sümpfe trocken-gelegt worden sind, kommt sie kaum noch vor. Erklären Sie dies.
- Durch das Trockenlegen der Sümpfe sind die Biotope vernichtet worden, in denen die Anophelesmücke existieren konnte. Plasmodien konnten nicht mehr übertragen werden. In Italien trat Malaria nicht mehr auf. Damit sank der Selektionsvorteil der Überträger der Sichelzellanämie auf Null. Die Häufigkeit des Sichelzellallels nahm ab. Die Sichelzellanämie kam in Italien immer seltener vor.

3 Reproduktion und Fitness

Material: Fortpflanzungstaktiken der Heckenbraunelle (Seite 296/297)

- ① Fassen Sie anhand der Informationen aus Text und Grafiken (Abbildung 2 und 3) zusammen, unter welchen Bedingungen die verschiedenen Paarungssysteme entstehen.
- Paarungssysteme entstehen durch die Überlappung von Revieren der Männchen und Weibchen. Die Größe des Weibchenreviers hängt von dem Nahrungsangebot des Raumes ab. Die Größe der Männchenreviere hängt nicht von der Nahrungsversorgung ab, sondern von den Möglichkeiten, den Raum zu verteidigen. Aus den Überlappungen unterschiedlich großer Reviere ergeben sich die verschiedenen Paarungssysteme. Je größer das Revier eines Weibchens ist, desto eher kommen zwei oder sogar drei Männchen darin vor (Abb. 3).
- ② Beschreiben Sie anhand der Informationen, wie die Häufigkeit der Paarungssysteme von Jahr zu Jahr wechseln kann.
- zu Abb. 4: Während die relative Häufigkeit von Heckenbraunellen-Männchen in kalten Wintern nicht signifikant zurückgeht, haben Weibchen in schneereichen Wintern größere Verluste. Dies ist auf das Rangordnungsverhalten zurückzuführen. An den verbleibenden schneefreien Futterstellen bildet sich unter den anwesenden Tieren eine Rangordnung aus, in der die Männchen die ranghöchsten Plätze einnehmen. Die rangniederen Weibchen scheinen vom Futterplatz vertrieben zu werden. In einem beobachteten Fall, in dem zwei Männchen von einer Katze gefressen wurden, hielten sich die verbleibenden Weibchen anschließend signifikant häufiger an der Futterstelle auf. Wegen der schlechteren Nahrungsversorgung fliehen anscheinend die Weibchen bei Greifvogelangriffen als letzte und kehren als erste zurück, was dazu führt, dass sie häufiger als die Männchen gefressen werden.
 - zu Abb. 5: Als Folge der unterschiedlichen Wintersterblichkeit von Männchen und Weibchen erreichen mehr Männchen das nächste Frühjahr, sodass sich als Folge gehäuft polyandre Paarungssysteme ausbilden, da die Weibchen größere Reviere ausbilden können.
- ③ Arbeiten Sie aus den geschilderten Sachverhalten die verschiedenen Mechanismen heraus, die
- a) vor der Kopulation
 - b) nach der Kopulation bzw.
 - c) nach der Eiablage
- wirken und dadurch dem einzelnen Männchen Fortpflanzungsvorteile sichern.
- Taktiken der Verhinderung von Fremdkopulation: Männchen erkämpfen ein Revier. Können sie alle anderen Männchen vertreiben, haben sie alleinigen Zugang zu einem oder mehreren Weibchen. Ist dies nicht möglich, versuchen Männchen nach Rangordnungen Paarungen konkurrierender Männchen zu verhindern.
Nach der Kopulation eines Weibchens mit mehreren Männchen konkurrieren die Samenzellen mehrerer Männchen um die Eizellen des Weibchens. Dabei befruchten am wahrscheinlichsten Samenzellen desjenigen Männchens die Eizellen, das die meisten Spermien abgibt und sich am häufigsten mit dem Weibchen paart. Heckenbraunellen verhalten sich – wie die Paarungshäufigkeiten in den verschiedenen Systemen belegen – so, als ob sie diesen Zusammenhang kennen. Eine weitere Taktik, die eigene Fortpflanzung zu sichern, ist das „Kloakenpicken“. Vogelweibchen besitzen Spermienbehälter, die bei häufigen Kopulationen mit einem Männchen voll sein können. Wenn diese Behälter aufgefüllt sein sollten, kann ein Männchen nur dann erfolgreich Spermien im Weibchen unterbringen, wenn dieses die Spermienbehälter vorher geleert hat. Aus der „Sicht“ des Männchens können die schon vorhandenen Spermien von einem fremden Männchen sein. Die von ihm abgegebenen Spermien sind dagegen sicher von ihm selbst. Da das Verhalten die Vaterschaftssicherheit steigert, könnte es auch die Bereitschaft zur Mithilfe bei der Bruthilfe steigern. (Durch das Picken an der Kloake gibt das Weibchen die von einer vorherigen Paarung noch vorhandenen Spermien ab.) Aufgrund der Konkurrenz entwickelten sie die großen Hoden. Eine Fortpflanzungstaktik, die nach der Eiablage wirkt, ist Infantizid durch die β -Männchen. Durch Beseitigung der Gelege bzw. der Jungtiere legt das Weibchen bald neue Eier, die befruchtet werden können. Dabei hat das β -Männchen erneut die Chance, mit dem Weibchen zu kopulieren und muss nicht warten, bis eine Brut großgezogen wurde, d. h. es hat Zeit gewonnen.
- ④ Stellen Sie einen Sachzusammenhang zwischen den Aussagen beider Abbildungen (Abb. 2, 3) her.
- Abbildung 2 zeigt, wie viele Jungtiere einer Brut vom β -Männchen gezeugt wurden in Abhängigkeit von der Häufigkeit, mit der das β -Männchen sich mit den Weibchen paaren konnte. Es zeigt sich klar, dass von der Paarungshäufigkeit auch die Nachkommenshäufigkeit abhängt. Die Paarungshäufigkeit mit den β -Männchen hängt von der Fähigkeit des Weibchens ab, sich der Bewachung durch das α -Männchen zu entziehen. Abbildung 3 zeigt den Anteil der Mithilfe bei der Brutpflege durch das β -Männchen in Prozent der Fütterungen durch die Männchen in Abhängigkeit von der Fähigkeit des Weibchens, sich der Bewachung durch das α -Männchen zu entziehen. Je erfolgreicher die Bewachung zum Zeitpunkt der Kopulation war, desto weniger hilft das β -Männchen mit. Anders ausgedrückt: Je häufiger das β -Männchen mit dem Weibchen kopulieren konnte, desto bereit ist es, bei der Brutpflege mitzuhelfen. Die β -Männchen verhalten sich so, als verstünden sie, dass mit den häufigeren Kopulationen auch die Vaterschaftssicherheit erhöht wird. Sie sind aber nicht „bereit“, in fremde Nachkommen zu investieren.

- ⑤ Erläutern Sie, wodurch es zwischen verschiedenen Partnern zu Konflikten kommen muss, indem Sie aufzeigen, wie Fitnessgewinn beim einen zu Fitnessverlusten beim anderen führt. Werten Sie in diesem Zusammenhang die Daten der Tabelle mit aus.
- *Nach soziobiologischer Theorie ist zu erwarten, dass Individuen das Sozialsystem anstreben bzw. das Verhalten zeigen, das für sie am meisten Nachwuchs erbringt. Wie die Untersuchungsergebnisse aus Abbildung 4 zeigen, sind diese Zahlen für Weibchen und Männchen unterschiedlich, sodass Konflikte vorprogrammiert sind. Für Weibchen ist ein polyandrisches System am besten, in dem beide Männchen füttern. Hier sind die Verluste unter den heranwachsenden Jungen am geringsten. Den nahezu gleichen Fortpflanzungserfolg kann ein Männchen erreichen, wenn es in einem polygynen System mit zwei Weibchen brütet. Während Männchen also ein polygynes System anstreben „sollten“, sind die Weibchen an polyandrischen Systemen „interessiert“ und kopulieren möglichst mit beiden Männchen, wodurch sie sich die Mithilfe des β -Männchens sichern.*

Verwandtschaft und Selektion (Seite 299)

- ① Aus evolutionsbiologischer Sicht ist zu erwarten, dass Tiere, die verschiedene Verhaltensalternativen (Taktiken) ausführen können, immer das Verhalten zeigen, das unter den gegebenen Umständen den höchsten Fortpflanzungserfolg hat. Die Untersuchungsergebnisse an den Buschblauhähern bestätigen dies. Erfahrene Eltern ziehen ohne Hilfe im Jahr durchschnittlich 1,62 Junge groß, mit Unterstützung eines Helfers sind es 1,94. Die Anzahl der von einem erstmalig allein brütenden Paar aufgezogenen Jungen liegt dagegen bei durchschnittlich 1,36.
- Belegen Sie die erste Aussage des Textes und begründen Sie ihn mit dem Begriff der Gesamtfitness.
 - Belegen Sie anhand des oben genannten Zahlenmaterials, dass sich Bruthelfer als Alternative zum Nichthelfer ohne Revierbesitz evolutiv durchsetzen konnte.
- *a) Aus dem Text ist ersichtlich, dass die Helfer ihre Rolle aufgeben, sobald ein Revier für das eigene Brüten frei wird. Die Tiere erreichen durch Umschalten auf das unter den gegebenen Umständen jeweils erfolgreichste Verhalten die höchstmögliche Gesamtfitness.*
 - *b) Ein revierloses, nicht helfendes Tier erlangt weder direkte noch indirekte Fitness, im Vergleich dazu erreicht der Bruthelfer, dass zusätzlich 0,32 Jungtiere großgezogen werden, was bei einem Verwandtschaftsgrad von 0,5 einem Gewinn an indirekter Fitness von 0,16 entspricht.*

Gegenseitigkeit bei Vampiren (Seite 300)

- ① Begründen Sie, warum der Altruismus gegen Verwandte und gegen Nichtverwandte unterschiedliche evolutionstheoretische Erklärungen verlangt.
- *Altruismus gegenüber Verwandten fördert indirekt die Verbreitung eigener Gene in der Folgegeneration. Hilfeleistungen gegenüber nicht verwandten Artgenossen kann die eigene reproduktive Fitness erhöhen, wenn das Tier bei Bedarf selbst Hilfe erfährt.*

Gegenseitigkeit bei Primaten (Seite 301)

- ① Biologen sehen im Altruismus die Grundlagen menschlicher Moral. Begründen Sie.
- *Altruistisches Verhalten setzt voraus, dass Tiere sich gegenseitig kennen, dass sie sich langfristig an soziale Interaktionen erinnern und erkennen können, dass der Partner Hilfe braucht. Forscher sehen in diesen Fähigkeiten die Grundlage dafür, dass Menschen auch völlig fremden, hilfsbedürftigen Personen helfen können, ohne zu wissen, ob der Unterstützte sich jemals revanchieren wird.*

Material: Lebenslaufstrategien (Seite 302/303)

- ① Werten Sie den Text und die Abbildung 2 aus und deuten Sie das Ergebnis im Sinne einer Lebenslaufstrategie.
- *Die Einsiedlerkrebse können bei Gehäusemangel nicht wachsen, da sie kein neues größeres Gehäuse finden würden, also setzen sie die aufgenommene Nahrung in die Produktion von Eiern ein. Stehen genug Gehäuse zur Verfügung, beginnen sie nicht nur später mit der Eierproduktion, sondern investieren weniger in die Gelege und wachsen weiter.*
- ② Fassen Sie die Ergebnisse der Abbildungen zusammen und stellen Sie Zusammenhänge zwischen den Einzelergebnissen her.
- *Mit der Zunahme der Jungenzahl im Nest erreichen die Jungtiere ein geringeres Durchschnittsgewicht. Von den ausgeflogenen Jungtieren fand man umso mehr wieder, je kräftiger sie beim Verlassen des Nestes waren. Jungtiere aus sehr kleinen und sehr großen Gelegen wurden später seltener wieder eingefangen. Dies liegt im unteren Bereich an der geringen Zahl der Nachkommen und im oberen Bereich an der schlechten Überlebensfähigkeit, die aus a und b hervorgeht. Das Überleben der Eltern hängt von der Anzahl der zuvor aufgezogenen Jungen ab. Je mehr Jungtiere großgezogen werden, desto häufiger müssen die Eltern Futter bringen. Dies erfordert viel Zeit und Energie und erschöpft die Eltern bei hoher Jungenzahl so, dass sie den nächsten Winter zum Teil nicht überleben. Da die einzelnen Jungtiere weniger Futter bekommen, bleiben sie kleiner.*
- ③ Erläutern Sie, welche Faktoren die optimale Gelegegröße bestimmen.
- *Die Eltern sollten so viele Junge großziehen wie möglich, die jedoch noch genug Futter bekommen, um gute Überlebenschancen zu haben. Außerdem sollten sie nur so viele Junge großziehen, dass sie nicht vorzeitig sterben, da sonst die Fitness gesenkt wird.*
- ④ Erörtern Sie, welchen Einfluss ein gutes Futterangebot auf die Fortpflanzungsrate haben könnte.
- *Gutes Futterangebot kann die Futtermversorgung erleichtern, ein höheres Jungengewicht und eine bessere Überlebensrate der Jungen und der Eltern bewirken.*

- ⑤ Deuten Sie die Befunde.
- In Gewässer A, in dem besonders die großen ausgewachsenen Guppys erbeutet werden, bleiben die Weibchen und Männchen klein und stecken den größten Teil der Biomasse in die Reproduktion. Sie reproduzieren in kurzen Abständen und produzieren kleine Nachkommen. In Gewässer B stecken die Fische zunächst einen größeren Anteil der Biomasse in das Wachstum, wachsen so aus der „gefährdeten“ Größe heraus und reproduzieren sich dann.

4 Evolutionstheorien

Evolution durch natürliche Selektion (Seite 306)

- ① Erläutern Sie die Abbildung in der Mitte kritisch im Sinne der Selektionstheorie.
- Die Abbildung unterstützt die Aussage der Selektionstheorie, dass es innerhalb einer Population zwischen den verschiedenen Individuen zu einem Existenzkampf kommt (struggle for life). Träger vorteilhafter Merkmale, in diesem Fall Giraffen mit einem langen Hals, überleben dabei mit höherer Wahrscheinlichkeit, da sie konkurrenzstärker sind. Allerdings verläuft die Evolution in vielen kleinen Schritten und nicht gestuft, wie es die Bilderabfolge suggeriert.

Lamarcks Vorstellungen (Seite 307)

- ① Erläutern Sie die Abbildung in der Mitte im Sinne der Lamarck'schen Evolutionstheorie.
- Die Abbildung verdeutlicht den Lamarck'schen Grundsatz, wonach die Veränderungen der Umweltverhältnisse, in diesem Fall die zunehmende Baumhöhe, neue Bedürfnisse erfordern. Die Verlängerung des Giraffenhalses wird also durch ein inneres Bedürfnis ausgelöst, sich an die veränderte Baumhöhe anzupassen. Durch den häufigen und dauernden Gebrauch des Giraffenhalses wird dieses Organ vergrößert und gekräftigt.
- ② Vergleichen Sie tabellarisch die Theorien von LAMARCK und DARWIN am Beispiel der Entstehung des Giraffenhalses.
- siehe Tabelle

	DARWIN	LAMARCK
Evolution	zufällig, ungerichtet	gerichtet, intentional
Anpassung	Selektion Merkmal „langer Hals“ aus Varietäten in Population	Stärkung des langen Halses durch Gebrauch, Vererbung der erlangten Eigenschaften

- ③ Inwieweit kann man die Theorie LAMARCKS als intentional kennzeichnen?
- Nach der Theorie LAMARCKS wird die Veränderung von Arten durch ein inneres Bedürfnis ausgelöst, sich an die veränderten Umweltbedingungen anzupassen, verläuft also planvoll und absichtlich.

Evolutionsgeschwindigkeit bei Lungenfischen (Zettelkasten Seite 309)

- ① Interpretieren Sie diese Kurve im Hinblick auf die Ähnlichkeit der Arten und ihre Evolutionsgeschwindigkeit.
- Die Merkmalsübereinstimmung ist zunächst gering und wird im Verlauf der Jahrmillionen immer größer, bis sie einen Maximalwert erreicht und sich nicht mehr erhöht, d. h. mit der Zeit nähern sich die fossilen Arten immer mehr dem Erscheinungsbild noch heute lebender Lungenfische an, die Evolutionsgeschwindigkeit wird immer geringer.

Kritische Positionen (Seite 311)

- ① Zeigen Sie, an welchen Stellen der Texte auf verschiedenen Ebenen argumentiert wird und wo Überschreitungen der Domängengrenzen erfolgen.
- In den Texten wird auf der geistigen Ebene (u. a. HEIM, LAUN, BISKUP) und auf der Ebene der kausalen Naturforschung, der materiellen Ebene, argumentiert. Überschreitungen der Domängengrenzen finden sich u. a. bei dem Anhänger der christlichen Kirche SCHÖNBORN. Dieser sieht Gott als Schöpfer der Evolution. JUNKER, ein Anhänger der Theorie des Intelligenten Designs, nutzt scheinbar naturwissenschaftliche Methoden, um die Existenz der Evolution zu widerlegen (vgl. Wahrscheinlichkeitsargumente). Danach „spielt“ Gott mit der Wahrscheinlichkeit. Die Wahrscheinlichkeitsrechnung wird dabei als Argument für das intentionale Vorgehen Gottes missbraucht; Glaube ist aber nicht falsifizierbar und kann deshalb nicht mit naturwissenschaftlichen Methoden untersucht werden. Eine Vermischung der geistigen und materiellen Ebene findet sich auch bei dem Kreationisten MAYERCHECK. Dieser hebt die Evolution auf den Status einer Religion, um diese dann auf der geistigen Ebene mit seiner Religionsauffassung zu vergleichen. Dagegen findet man bei den Naturwissenschaftlern eine Koexistenz beider Ebenen nebeneinander.

5 Ähnlichkeit und Verwandtschaft

Material: Homologie und Analogie (Seite 315)

- ① Nennen Sie die Strukturen im Linsenauge des Tintenfischs, die mit den Augen der Säugetiere vergleichbar sind.
 - *Hornhaut, Linse, Netzhaut, Sehnerv.*
- ② Begründen Sie, ob die Augen der beiden Tiergruppen homolog sind oder nicht. Nennen Sie die Homologiekriterien, die Sie für Ihre Argumentation verwenden.
 - *Lagekriterium: Die beiden Augentypen findet man bei verschiedenen Tierstämmen (Weichtiere, Wirbeltiere), die jeweils eigene Baupläne besitzen. So sitzen die Augen der Wirbeltiere in knöchernen Augenhöhlen. Die Kopffüßler haben dagegen kein Kopfskelett. Das Lagekriterium ergibt keinen Hinweis auf Homologie. Stetigkeitskriterium: Wendet man dieses Kriterium auf die beiden Augentypen an, so wird ersichtlich, dass keine Übergangsformen entstehen. Bei den Wirbeltieren entwickeln sich Netzhaut und Pigmentepithel aus einer becherartigen Vorstülpung des Zwischenhirns, während bei den Kopffüßern das gesamte Auge aus einer Epidermeseinstülpung hervorgeht. Danach liegt keine Homologie vor.*
- ③ Machen Sie Aussagen über die evolutive Entwicklung von Augen bei Kopffüßern und bei Säugetieren.
 - *Die beiden Augentypen sind nicht homolog. Es gab also keine gemeinsamen Vorfahren, die Linsenaugen besaßen. Die beiden Augentypen sind im Verlauf der Evolution unabhängig voneinander entstanden.*
- ④ Vergleichen Sie die Blätter der abgebildeten Pflanzen.
 - *Die Blätter des Leberblümchens sind klein und herzförmig, die der Küchenschelle schmal und lang, die des Buschwindröschens sind relativ groß und lappig, tief eingeschnitten.*
- ⑤ Ordnen Sie die Pflanzen in eine Reihe, in Bezug auf die Lage der Hochblätter.
 - *Buschwindröschen, Küchenschelle, Leberblümchen*
- ⑥ Erklären Sie, wie sich aus der Abbildung ersehen lässt, ob die Kelchblätter des Leberblümchens aus Laubblättern hervorgegangen sind.
 - *Beim Buschwindröschen sehen die Hochblätter wie Laubblätter aus. Es lässt sich ein Übergang der Hochblätter zu den Kelchblättern beim Leberblümchen beobachten. Nach dem Kriterium der Stetigkeit sind die Blätter homolog. Demnach sind die Kelchblätter aus Laubblättern entstanden.*

Feststellung von Verwandtschaft (Seite 317)

- ① Formulieren Sie eine Begründung des „Prinzips der einfachsten Erklärung“.
 - *Das Prinzip der einfachsten Erklärung lässt sich damit begründen, dass der Energieaufwand für die Entstehung einer bestimmten Struktur auf diese Weise geringer ist als bei mehrfacher Entstehung eines Merkmals.*
- ② Zeichnen Sie einen möglichen Stammbaum der „Flügelwirbeltiere“. Kennzeichnen Sie die Stellen, an denen demnach Fell und Milchdrüsen entstanden sein müssten.
 - *1: Wirbeltier mit 4 Extremitäten*
 - 2: Gleichwarme (gemeinsamer Vorfahr)*
 - 3: Wechselwarme*
 - 4: „Flügeltier“ (Flügel)*
 - 5: Vögel*
 - 6: Fledermaus, Fell und Milchdrüsen*
 - 7: „Flügellose“, Fell und Milchdrüsen*

Molekulare Uhren (Seite 322)

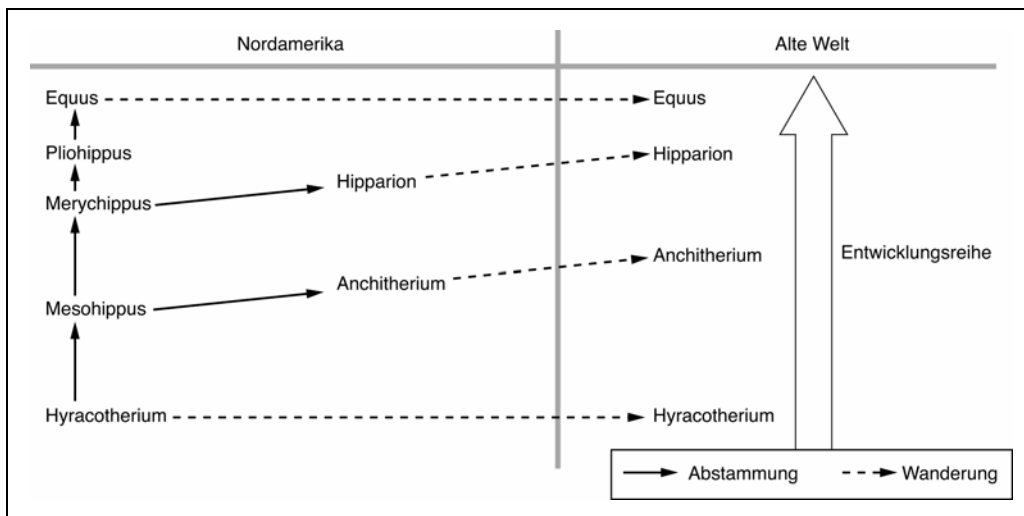
- ① Berechnen Sie mithilfe der Abbildung 2 die Zeit für den Austausch einer Aminosäure bei den drei Proteinen.
 - *Man wählt auf jeder Ausgleichsgeraden einen Punkt, der möglichst weit vom Ursprung entfernt liegt. Aus dem Quotienten aus Zeit und Änderungen berechnet man die Austauschzeit für eine Aminosäure.*
 - Beispiele:*
 - *Cytochrom c: Ausgleichsgerade geht durch den Punkt (30 Änderungen/ 600 Mio. Jahre); daraus folgt: 600 Mio. Jahre/ 30 Änderungen = 20 Mio. Jahre/ 1 Änderung; es ist eine Änderung alle 20 Mio. Jahre zu erwarten.*
 - *Globine: Ausgleichsgerade geht durch den Punkt (100 Änderungen/ 600 Mio. Jahre); daraus folgt: 6 Mio. Jahre/ 1 Änderung.*
 - *Fibrine: Ausgleichsgerade geht durch den Punkt (100 Änderungen/ 100 Mio. Jahre); daraus folgt: 1 Mio. Jahre/ 1 Änderung.*
- ② Vergleichen Sie den Stammbaum in Abbildung 1 mit der Systematik des Tierreiches (s. Seite 353).
 - *Die großen Äste der beiden Stammbäume stimmen überein: Pilze, Pflanzen, Tiere. Bei den Tieren ist auch eine Einteilung in Großgruppen (Nematoden, Insekten, Vertebraten) angedeutet. Allerdings besitzt der Cytochrom-c-Stammbaum einen starken Schwerpunkt bei den Wirbeltieren, während die Abbildung auf Seite 353 im Schülerband alle Organismen etwas gleichmäßiger betrachtet. Das lässt einen Vergleich im Detail nicht zu.*

Brückentiere (Seite 326)

- ① Fassen Sie die evolutiven Trends zusammen, die beim Vergleich von Sinornis und Archaeopteryx erkennbar sind (s. Randspalte).
- starke Entwicklung des Brustbeins mit einem Kiel als Ansatzstelle für die immer leistungsfähigere Flugmuskulatur
 - Verkürzung der Schwanzwirbelsäule
 - Entstehung der Pygostyls
 - Rückbildung der Krallen
 - Rückbildung der Zähne und Entstehung eines Hornschnabels
 - Anpassung des Schulter- und Armskeletts an die fliegende Fortbewegungsweise
 - starker Selektionsdruck zur Verminderung des Gewichts

Die Evolution des Pferdes (Seite 329)

- ① Skizzieren Sie die evolutive Reihe und den Stammbaum der Pferde mit wenigen Linien und erklären Sie, warum Fossilfunde den Eindruck eines zielgerichteten Trends, also einer geradlinigen Entwicklungsreihe, erwecken können.
- siehe Abbildung



Fossilfunde sind meist unvollständig, erfassen also nicht alle Stamm- und Zwischenformen. Jeder neue Fund kann daher die vorherige Interpretation ändern. Echte Zwischenformen sind nur selten überliefert, sondern eher die Endpunkte von Seitenlinien. Es gibt in der Evolution zwar häufig eine Entwicklung vom Einfachen zum Komplizierten, aber durchaus auch den umgekehrten Fall, also die Vereinfachung komplizierter Organe. Die „Leserichtung“ ist daher nicht immer eindeutig. Ein Trend entsteht oft nur in den Augen des Betrachters, dem die Seitenlinien nicht bekannt sind.

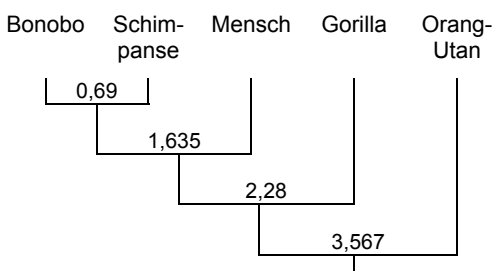
6 Evolution des Menschen

Unsere nächsten Verwandten (Seite 331)

- ① Begründen Sie, warum bei der DNA-Hybridisierung die nicht markierte DNA der Art B im Überschuss zugesetzt wird.
- Durch den Überschuss der DNA der Art B ist das Aufeinandertreffen zweier komplementärer B-Einzelstränge am wahrscheinlichsten. Deshalb werden überwiegend artreine B-Doppelstränge gebildet, die allerdings nicht radioaktiv markiert sind. Daneben entstehen gemischte Doppelstränge (Hybrid-Stränge), die sich aus einem radioaktiv markierten A- und einem nicht markierten B-Halbstrang zusammensetzen. Aufgrund des großen Überschusses an B-Doppelsträngen ist es sehr unwahrscheinlich, dass zwei markierte A-Halbstränge wieder aufeinander treffen und paaren. Im weiteren Versuchsverlauf lässt sich die Schmelztemperatur der Hybrid-Stränge bestimmen.

- ② Entwickeln Sie ein Dendrogramm für Menschenaffen und Menschen auf der Basis der ΔT_{50H} -Werte.

- siehe Abbildung



Mensch und Schimpanse – ein Vergleich (Seite 333)

- ① Vergleichen Sie Mensch und Schimpanse hinsichtlich Fortbewegung, Nahrung sowie Verhalten und stellen Sie eine Beziehung zur Anatomie her. Inwieweit lassen solche Vergleiche auch Rückschlüsse auf das Verhalten ausgestorbener Hominiden zu?
- *Viele Verhaltensabläufe schlagen sich in der Anatomie nieder, sodass Fossilien indirekte Rückschlüsse auf das Verhalten zulassen. Bei ausgestorbenen Arten ist das die einzige Möglichkeit, Mutmaßungen über das Verhalten anzustellen (s. Tabelle).*

	Schimpanse	Mensch	Skelett des Menschen
Fortbewegung	Klettern, Knöchelgang, laufen mit gebeugtem Körper	aufrechter zweibeiniger Gang	Beine länger als Arme, schüsselförmiges Becken, Fußgewölbe, Hinterhauptsloch in der Mitte des Schädels, S-förmige Wirbelsäule, verlagerter Körperschwerpunkt
Verhalten	einfacher Werkzeuggebrauch, intensive Mimik, Gestik, Lautbildung, komplexes Sozialverhalten	komplexer Werkzeuggebrauch, artikulierte Sprache, komplexes Sozialverhalten	Präzisionsgriff: Daumen kann den Fingern gegenüber gestellt werden; tiefer Kehlkopf, großes Gehirn
Nahrung	Pflanzenkost, Früchte, ergänzend Fleisch, Insekten	Mischkost	mahlendes Gebiss, Eckzähne nicht als Reißzähne ausgebildet

Homo – eine Gattung erobert die Erde (Seite 337)

- ① Tragen Sie entlang einer Zeitachse entsprechend der Abbildung unten die vermutlichen Vorfahren des heutigen Menschen ein und ergänzen Sie jeweils die wichtigsten Neuerungen, z. B. aufrechter Gang, Werkzeuggebrauch, Feuer usw.
- 3 Millionen Jahre: *Australopithecus – aufrechter Gang*
 - 2,5 bis 1,5 Millionen Jahre: *Homo habilis – Werkzeuggebrauch*
 - 2 Millionen bis 150 000 Jahre: *Homo ergaster – Feuer*
 - ca. 150 000 Jahre bis heute: *Homo sapiens – abstrakte Wortsprache, hohe kulturelle Entwicklung.*

Die Herkunft des heutigen Menschen (Seite 338)

- ① Erklären Sie, warum sich mt-DNA besonders gut für Stammbaumanalysen eignet (s. Seite 320).
- *Mitochondrien und damit die mt-DNA werden nur über die Eizelle (also maternal) vererbt. Es gibt daher keine Rekombination der DNA. Selektionsneutrale Mutationen häufen sich mit der Zeit an. Je mehr Mutationen eine Art im Vergleich zu einer anderen Art aufweist, umso weiter liegt die Trennung dieser Arten zurück. Aus mt-DNA-Vergleichen lassen sich genetische Distanzen berechnen und daraus Stammbäume konstruieren.*
- ② Vergleichen Sie das Dendrogramm (s. Abb. 2) mit dem in Abb. 1 dargestellten Ausbreitungsweg.
- *Einer genetischen Distanz von 0,2 entsprechen ca 100 000 evolutiv getrennte Jahre. Die Afrikaner weisen eine genetische Distanz von 0,2 gegenüber den übrigen Menschen aus, vor 100 000 Jahren wanderten die Menschen also aus Afrika aus. Sie gelangten vor etwa 60 000 Jahren (genetische Distanz 0,12) nach Eurasien und etwas später nach Australien, vor 35 000 Jahren nach Amerika (0,07).*
- ③ Stellen Sie die wichtigsten Aspekte des „Out of Africa“-Modells und der Hypothese von der multiregionalen Entwicklung gegenüber. Beurteilen Sie, nach welcher der Theorien die gemeinsame Wurzel aller Menschen weiter zurück liegt.
- *„Out of Africa“: Homo sapiens entstand vor höchstens 200 000 Jahren in Afrika und verdrängte vor 100 000 Jahren die Neandertaler, die von einer früheren Besiedlungswelle vor etwa 1 Million Jahren von Homo erectus/Homo ergaster abstammten. Es gab in Europa zwei weit auseinander liegende Besiedlungswellen von Homo.*
Multiregionale Entwicklung: Auch nach der multiregionalen Theorie stammt die Gattung Homo aus Afrika. Homo erectus bzw. ergaster gelangte vor etwa 1 Million Jahren nach Europa und Asien und entwickelte sich dort parallel und unabhängig voneinander weiter zum modernen Menschen, zum Neandertaler und asiatischen Formen. Es gab also nur eine Besiedlungswelle. Nach der multiregionalen Theorie liegt die Wurzel aller Menschen weiter zurück, sie sind also weniger verwandt als nach der „Out of Africa“-Theorie.

Material: Neandertaler und moderne Menschen (Seite 341)

- ① Stellen Sie die wesentlichen Merkmale im Schädel- und Skelettbau von Neandertaler und modernem Menschen gegenüber.
– siehe Tabelle

	Neandertaler	Mensch
Körperbau	gedrungen, muskulös, ca. 1,5 m	grazil, damals ca. 1,75 m
Schädelform	lang, niedrig	hoch, rund
Oberaugenwülste	vorhanden	fehlen
Kinn	fliehendes Kinn	Vorspringen des Kinns
Gehirnvolumen	1200–1700 cm ²	1200–1450 cm ²

- ② Stellen Sie einen möglichen Zusammenhang zwischen dem Körperbau des Neandertalers, seiner Verbreitung und dem damals herrschenden Klima her.
– *Der gedrungenen Körperbau und die damit verbundene relativ kleine Körperoberfläche können ein Vorteil bei eiszeitlichen Lebensbedingungen sein, da dadurch die Wärmeabgabe reduziert ist. Allerdings konnte auch der moderne Mensch diese klimatischen Bedingungen vertragen, da Feuergebrauch und Kleidung die Anpassungsunterschiede verringerten.*
- ③ Leiten Sie aus dem Bau der in Abbildung 2 dargestellten Kehlköpfe von Neandertaler, Mensch und Schimpanse ab, warum der Neandertaler wahrscheinlich anders gesprochen hat als der moderne Mensch.
– *Für die Stimmgebung und die Ausformung verschiedener Tonhöhen ist die Lage des Rachenraumes entscheidend. Je tiefer der Kehlkopf nach unten verlagert wird, desto länger ist der Ton erzeugende Rachenraum und desto tiefer sind die erzeugten Töne. Wie man aus der Schädelbasis-Form erschließen konnte, ist der Rachenraum der Neandertaler wesentlich kürzer als der des modernen Menschen gewesen. Neandertaler konnten wahrscheinlich keine tiefen Vokale produzieren.*
- ④ Erklären Sie das Fehlen von Neandertaler-Genen bei Menschen südlich der Sahara.
– *Die mt-DNA-Analyse zeigt keinen Überlappungsbereich der Kurven von Neandertaler/ Mensch und Mensch/ Mensch. Demnach hat es keine genetische Vermischung gegeben. Eine fruchtbare Kreuzung findet nur unter Individuen der gleichen Art und deren Unterarten statt. Stuft man den Neandertaler als eigene Art ein, hält man also eine Vermischung mit anatomisch modernen Menschen für nicht möglich. Der Neandertaler ist dann eine Schwesterart, aber kein direkter Vorfahre des heutigen Menschen.*

Material: Hautfarbe und Sonnenlicht (Seite 343)

- ① Die Färbung der Haut lässt sich auf das Pigment Melanin zurückführen. Es wird auch als „natürlicher Sunblocker“ bezeichnet, denn es schützt die Haut vor der mutagenen Wirkung des UV-Lichtes und damit vor der Entstehung von Hautkrebs. Beschreiben Sie anhand Abb. 1.
– *Das von den Melanocyten der Oberhaut gebildete Melanin gelangt über Zellausläufer in benachbarte Zellen und bildet auf der dem Licht zugewandten Seite des Zellkerns eine Kappe, die den Zellkern vor Lichtstrahlen schützt.*
- ② Hautkrebs entsteht meist im fortgeschrittenen Alter von Menschen, die sich in der Vergangenheit zu hohen Sonnenintensitäten ausgesetzt haben. Was bedeutet das für ihre reproduktive Fitness?
– *Die Reproduktionsphase ist dann bereits abgeschlossen, sie wird durch Hautkrebs also nicht direkt beeinflusst. Allerdings haben auch Senioren bzw. Großeltern einen sozialen Einfluss bei der Betreuung der Enkelkinder, können also einen indirekten Einfluss auf die reproduktive Fitness haben.*
- ③ Das UV-Licht der Sonne beeinflusst auch die Bildung und den Zerfall von Vitaminen. Beschreiben Sie anhand des Schemas (Abb. 3).
– *Durch UV-Licht wird die Bildung von Provitamin D und der Zerfall von Vitamin B gefördert.*
- ④ Folsäuremangel in der Schwangerschaft einer Frau erhöht das Risiko für Neuralrohrdefekte beim ungeborenen Säugling. Vitamin-D-Mangel erschwert die Calciumaufnahme im Verdauungskanal und damit die normale Entwicklung des Skelettsystems. Begründen Sie, warum in sonnenreichen Regionen Menschen mit dunkler Hautfarbe begünstigt sind, in Regionen mit einer geringeren täglichen UV-Strahlung dagegen solche mit heller Hautfarbe.
– *Dunkelhäutige Menschen in sonnenreichen Regionen sind vor zu viel Sonnenlicht geschützt, das zum Zerfall des B-Vitamins Folsäure führen könnte. Für die Vitamin-D-Bildung reicht das Licht aus. Da sich die Vitaminversorgung besonders in der Schwangerschaft und frühen Kindesentwicklung auswirkt, haben sie in einer sonnenreichen Umgebung einen Selektionsvorteil gegenüber hellhäutigen Menschen. Bei hellhäutigen Menschen in einer sonnenarmen Umgebung verhält es sich genau umgekehrt.*
- ⑤ Beschreiben Sie die Verteilung der Hautfarben auf der Erde (Abb. 2) und formulieren Sie eine evolutionsbiologische Erklärung.
– *Helle Hautfarben findet man nur in geografischen Regionen mit einer geringen Sonneneinstrahlung. In diesen Regionen stellt der UV-Schutz durch das Melanin in der Haut keinen Anpassungsvorteil dar. Mehr eindringendes Sonnenlicht sorgt für eine bessere Vitamin-D-Versorgung.*

- ⑥ Bei der geografischen Verteilung gibt es auch Abweichungen von der aufgrund der UV-Intensität erwarteten Hautfarbe, z.B. sind viele heutige Bewohner Australiens heller als die Ureinwohner (Aborigines). Nennen Sie mögliche Ursachen, berücksichtigen Sie dabei die heutigen Lebensumstände der Menschen.
- *Die Abweichungen sind auf Ein- und Auswanderungen von Bevölkerungsteilen zurückzuführen. Unter den heutigen Lebensumständen des Menschen beeinflussen Hautfarbe und Sonnenlicht die Reproduktionsrate nicht mehr so sehr, weil Vitamine medizinisch verordnet und eingenommen werden können. Außerdem gibt es Möglichkeiten, sich vor zu viel Sonne durch Behausung, Bekleidung oder Hautcremes zu schützen.*

7 Die Evolution des Lebens auf der Erde

Frühe biologische Evolution: erste lebende Zellen (Seite 346)

- ① Beschreiben Sie den Urey-Miller-Versuch (Abb. 344.1) und seinen Modellcharakter für die Entstehung organischer Verbindungen in der Uratmosphäre.
- *Unten im Kolben wird Wasser zum Sieden gebracht. Mit dem Wasserdampf gelangt das an der linken Seite eingeleitete Gasgemisch in den oberen Kolben (s. Abb. rechte Seite). Hier wird das Gemisch aus Methan, Ammoniak, Kohlenstoffdioxid, Wasserstoff und Wasser elektrischen Ladungen ausgesetzt. Wasserdampf und neu entstandene Verbindungen kondensieren im Kühler und gelangen über den Abscheider wieder in den unteren Kolben, usw. Modellcharakter: Auch in der Uratmosphäre war ein Gasgemisch elektrischen Entladungen ausgesetzt; so können einfache organische Verbindungen entstehen.*
- ② Anaerobe Bakterien findet man heute beispielsweise im Faulschlamm. Begründen Sie das Vorkommen.
- *Anaerobe Bakterien gehen bei Kontakt mit Sauerstoff zugrunde, da sie keinen Oxidationsschutz besitzen. Sie können daher nur in anaeroben Lebensräumen wie Faulschlamm existieren.*

Endosymbionten-Hypothese: Eukaryoten entstehen (Seite 347)

- ① Nennen Sie weitere Beispiele für die Entstehung neuer taxonomischer Gruppen durch die Kombination von Arten.
- *Flechten: Symbiose Pilz/Alge und Pilz/Cyanobakterium*

Mehrzeller entstanden mehrmals in der Evolution (Seite 348)

- ① Die Grünalge Volvox gilt als besonders einfacher Mehrzeller. Beschreiben Sie Bau und Organisation dieser kugelförmigen Alge (s. Randspalte).
- *Bis zu 20 000 Zellen sind durch Plasmabrücken verbunden und umkleiden gemeinsam eine Hohlkugel. Es gibt Zellen, die auf Fortbewegung, Ernährung oder sexuelle Fortpflanzung spezialisiert sind. Tochterkugeln entstehen vegetativ durch Abschnürung von Zellgruppen in das Kugellinnere und werden erst durch das Absterben der Mutterkugel freigegeben.*
- ② Gibt es nach phylogenetischen Gesichtspunkten eine systematische Gruppe der „Mehrzeller? Begründen Sie.
- *Nein, denn das hieße, dass sich alle Mehrzeller (Säugetiere, Rosengewächse, Fliegenpilze usw.) auf eine gemeinsame Stammart zurückführen ließen. Tatsächlich stammen die mehrzelligen Pflanzen von Grünalgen ab, die mehrzelligen Tiere sind unabhängig von den Pilzen aus heterotrophen Einzellern entstanden.*

Tier- und Pflanzengeografie (Seite 351)

- ① Erklären Sie die Verteilung der Fossilfundstellen von Cynognathus (Abb. 350.1) mithilfe der Kontinentalverschiebung (Abb. 350.2).
- *Fossilien von Cynognathus findet man in Zentralafrika sowie in Ostbrasilien. Diese Landesteile waren ursprünglich miteinander verbunden und gehörten zum Kontinent Gondwana. Hier lebte Cynognathus. Gondwana zerbrach im Laufe der Kreidezeit und bildete die Kontinente Südamerika und Afrika. Die Fossilien von Cynognathus sind deswegen auf beide Kontinente verteilt. Umgekehrt sind sie ein Indiz für die ehemalige Existenz von Gondwana und die Kontinentaldrift.*
- ② Nord- und Südamerika waren fast immer getrennte Kontinente, erst vor 2 Millionen Jahren entstand eine Landbrücke im heutigen Panama. Erklären Sie vor diesem Hintergrund die in Abbildung 1 dargestellten Veränderungen der Säugerfamilien Nord- und Südamerikas.
- *Mit dem Kontakt der Kontinente wanderten einige Familien auch in den anderen Kontinent. Dies erhöhte die dortige Familienanzahl (mittlere Säulen). Damit erschienen für einige Familien u. a. neue Konkurrenten, die dieselbe ökologische Planstelle besetzten (Stellenäquivalenz). Diese Situation führte zum Verschwinden einiger konkurrierender Arten, sodass zuletzt wieder die gleiche Familienanzahl vorkam wie vor dem Kontakt. Manche Neueinwanderer sind wieder verschwunden, andere haben sich gegen die „alteingesessenen“ Familien behaupten können (rechte Säulen).*
- ③ Nennen Sie weitere Beispiele für Ökosysteme, die durch Lage und Relief eines Kontinents bedingt sind, und beschreiben Sie sie kurz.
- *Ähnlich wie die Atacama ist auch die Namib in Südafrika einzuschätzen.*
 - *Die Alpen stellen eine kontinentale Grenze dar, die deutlich verschiedene Ökosysteme nördlich (mitteleuropäisch) und südlich (mediterran) trennt.*

- Das Hochland von Tibet ist ein sehr weit südlich gelegenes Kaltgebiet mit zum Teil Permafrost. Hochlage und Abschirmung durch noch höhere Gebirgsketten (Himalaya, Karakorum etc.) lassen keine warmen Luftströmungen in das Gebiet (Anden-Hochebenen ähnlich Tibet).
- Durch eine kalte Meeresströmung und ablandige Westwinde entsteht im östlichen Kanada weitgehend eine Taiga- und Tundra-Landschaft. Sie liegt auf derselben geografischen Höhe wie Mitteleuropa, wo es durch den Golfstrom und milde Westwinde recht warm ist.

- ④ Die Entfernung zwischen Europa und Nordamerika beträgt gegenwärtig etwa 6 000 km. Berechnen Sie, wie weit sich der Atlantik im Laufe eines Lebens (70 Jahre) verbreitert, und wann er um weitere 1000 km breiter sein wird.
- Im Text ist eine Geschwindigkeit von 6 cm pro Jahr angegeben (Schülerbuch Seite 350, letzter Absatz). Dies bedeutet:
 - In 70 Jahren entfernen sich Nordamerika und Europa um 4,2 m voneinander.
 - Berechnung zu 1000 km: $6 \text{ cm/Jahr} = 0,06 \text{ m/Jahr}$; $1000 \text{ km} = 1 \text{ Mio. m}$
 $1 \text{ Mio. m} / (0,06 \text{ m/Jahr}) = 1/0,06 \text{ Mio. Jahre} = 16,67 \text{ Mio. Jahre}$
 Der Atlantik wird sich in 16,67 Mio. Jahren um weitere 1000 km verbreitert haben.

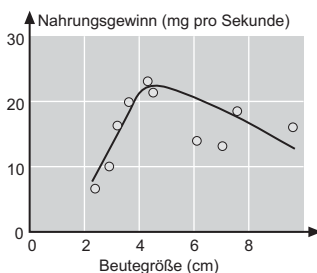
Systematische Reiche der Lebewesen (Seite 352)

- ① Stellen Sie die verschiedenen Reiche-Systeme grafisch gegenüber.
- siehe Tabelle

	prokaryotische Einzeller (kein Zellkern)	eukaryotische Einzeller und einfache Mehrzeller	mehrzellige Pilze (heterotroph, unbeweglich)	mehrzellige Pflanzen (autotroph, unbeweglich)	mehrzellige Tiere (heterotroph, beweglich)	
LINNÉ	grün: Pflanzen, farblos: Tiere		Pflanzen		Tiere	
5 Reiche	Monera (Bakterien)		Protista	Pilze	Pflanzen	Tiere
3 Domänen	Archae	Bacteria	Eukaryota			
	Archaeobakterien	Eubakterien	Protista	Pilze	Pflanzen	Tiere

Material: Evolution (Seite 354/355)

- ① Zeichnen Sie ein schematisches Diagramm, das bei Austernfischern die Abhängigkeit zwischen dem Nahrungsgewinn (in mg pro Sekunde) und der Muschelgröße zeigt.
- siehe Abbildung



- ② Erklären Sie mithilfe der Synthetischen Evolutionstheorie die Anpasstheit der Schnäbel von Austernfischern an Muscheln mittlerer Größe.
- Aus dem Diagramm ist ersichtlich, dass bei einer bestimmten Beutegröße der Nahrungsgewinn optimal ist. Hieraus folgt eine Schnabelkonstruktion, die durch Evolutionsprozesse für diese Muschelgröße optimiert wurde.
 Überproduktion an Nachkommen – Variation von Schnabelformen Ursachen sind Mutation und Rekombination – die am besten Angepassten in Bezug auf die Schnabelkonstruktion überleben, kommen zur Fortpflanzung (Selektion) – die Gene und damit die Merkmale für die optimale Schnabelform breiten sich in der Austernfischerpopulation aus und werden weiter vererbt – der Genpool der Population der Austernfischer ändert sich (Evolution) und damit ändert sich die Merkmalsverteilung, bis eine optimale Anpasstheit erreicht ist.
- ③ Kennzeichnen Sie in Ihrer Antwort aus Aufgabe 2 Beiträge, die aus der Evolutionstheorie von CHARLES DARWIN stammen.
- Hellgrau unterstrichen: Darwin
- ④ Beschreiben Sie mögliche Ereignisse, durch die es auf Pingelap zu einer so ungewöhnlichen Zahl von völlig Farbenblinden kommen konnte.
- Durch Umweltkatastrophen (Erdbeben, Tsunami), Hungersnöte oder durch Seuchen ist die Population auf Pingelap stark dezimiert worden. Durch Zufall waren in der kleinen überlebenden Population die Allele für Farbenblindheit in relativ großer Zahl vorhanden.

- ⑤ Erläutern Sie obiges Beispiel mithilfe des Flaschenhalseffekts. Fertigen Sie dazu eine beschriftete Zeichnung an.
- *Bei einer drastischen Reduktion der Populationsgröße kann sich die Zusammensetzung des Genpools durch Zufall verändern. Solche zufälligen Änderungen des Genpools nennt man Gendrift. Manche Allele, wie die für Farbenblindheit, nehmen in ihrer Häufigkeit zu, andere können abnehmen oder ganz verloren gehen. Man spricht vom Flaschenhalseffekt.*
- ⑥ Begründen Sie, ob Flugsaurier als direkte Vorfahren der Fledermäuse infrage kommen.
- *Flugsaurier kommen als direkte Vorfahren der Fledermäuse nicht infrage. Von fossilen Funden weiß man, dass die Säugetiere von kleinen, am Boden lebenden vierbeinigen Sauriern abstammen. (Begründung ist auch über Aufgabe 7 möglich)*
- ⑦ Erläutern Sie, ob die Vorderextremitäten von Flugsaurier und Fledermaus homolog oder analog sind.
- *Die Knochen und die Flughaut haben zueinander andere relative Lagebeziehungen. In Bezug auf den Flügel treffen die Homologiekriterien nicht zu. Die Flügelkonstruktion der Flugsaurier und der Fledermäuse ist zueinander nicht homolog. Die Flügel haben sich aufgrund der physikalischen Bedingungen des Fliegens konvergent entwickelt. Es sind analoge Strukturen.*
- ⑧ Rote Brüllaffen, eine meist friedliche Affenart aus Südamerika, leben in dem beschriebenen Paarungssystem. Interpretieren Sie die in der Abbildung dargestellten Werte.
- *Direkt nach der Übernahme der Gruppe durch ein neues Brüllaffenmännchen sterben besonders junge Tiere, die noch von der Mutter gesäugt wurden. Die Sterblichkeit der älteren Jungtiere ist eher geringer. Die jungen Säuglinge werden vom neuen Leittier getötet, die Überlebensrate der anderen Gruppenmitglieder steigt etwas. Wenn die Mütter der getöteten Säuglinge paarungsbereit werden, ergänzt der Nachwuchs mit dem neuen Männchen die Gruppe.*
- ⑨ Welchen Einfluss hat ein solches Verhalten der Männchen auf deren reproduktive Fitness?
- *Die neuen Männchen erhöhen durch den Infantizid ihre reproduktive Fitness auf Kosten ihres Vorgängers, da nach kurzer Zeit ihr eigener Nachwuchs in der Gruppe großgezogen wird.*
- ⑩ Nach Vorstellungen der klassischen Verhaltenslehre sollen Tiere sich so verhalten, dass sie den Fortbestand der Art maximal fördern. Inwieweit stimmt diese Aussage mit dem Verhalten der Brüllaffen überein?
- *In erster Näherung kann man sagen, dass die Tötung von Artgenossen sich immer nachteilig auf die Chancen zur Erhaltung der Art auswirkt. Bei näherer Betrachtung muss dem aber gegenübergestellt werden, dass das Ersetzen der Nachkommen des schwächeren Vorgängers durch Nachkommen des stärkeren Nachfolgers sich positiv auf den Fortbestand der Art auswirken kann.*
- ⑪ Erklären Sie anhand des Materials die Verbreitung, Verwandtschaft und Entstehung der vier Arten.
- *Nachfahren des Urkamels wanderten über die Behringstraße nach Europa und von dort nach Nordafrika und Asien bzw. über Mittelamerika nach Südamerika. Die beiden geografisch isolierten Teilpopulationen entwickelten sich unterschiedlich. Es entstanden die Ausgangsformen der Gattungen Camelus und Lama. Bei beiden Gattungen fand nachfolgend jeweils eine weitere Aufspaltung in zwei getrennte Arten statt. Die Lebensräume von Dromedar und Trampeltier sind weit voneinander entfernt. Nach erneuter geografischer Isolation sind unterschiedliche Anpassungen an den Lebensraum entstanden (z.B. die Felllänge beim Trampeltier als Schutz gegen die zum Teil extreme Kälte). Die Lebensräume von Vikunja und Guanako überschneiden sich. (Anmerkung: Durch die unterschiedlich bevorzugten Höhenlagen ergeben sich aber Unterschiede in der ökologischen Nische, sodass man von ökologischer Isolation ausgehen kann.)*
- ⑫ Alle vier Arten werden von sehr ähnlichen Läusearten parasitiert. Stellen Sie eine mögliche Hypothese zur Erklärung auf.
- *Wenn das Urkamel bereits von einer „Urlaus“ parasitiert wurde, kann diese bei der Aufspaltung in beiden Gattungen nahezu unverändert erhalten geblieben sein. Es könnte sich aber auch um konvergente Entwicklung der Läuse aufgrund starker Ähnlichkeit der ökologischen Nische handeln. Da sich die Lebensräume von Vikunja und Guanako überschneiden, kann es sich auch um Lausrassen mit vermindertem Genfluss handeln.*
- ⑬ Nehmen Sie Stellung zu der Aussage, die Evolution der Parasiten verlaufe langsamer als die der Wirte.
- *Die ökologische Nische des Parasiten ändert sich nur langsam bzw. wenig, wenn nicht extreme Mutationen (z.B. Fellverlust) eintreten. Bei Anpassung des Wirtes an kälteres Klima z.B. ändert sich dessen Haarlänge. Das führt dazu, dass sich die Umgebungstemperatur für die Laus im Fell in Hautnähe nur wenig ändert. Ebenso bleibt die Nahrungsquelle die gleiche, während sich der Wirt unter Umständen an andere Nahrungspflanzen anpasst.*
- ⑭ Außer den Nährstoffen liefert Milch auch Vitamin D, das Vorstufe des Hormons Calcitriol ist. Es steuert die Aufnahme von Calcium im Darm und den Auf- und Abbau der Knochensubstanz. Muss unser Organismus Vitamin D selbst bilden, benötigt er dazu die UV-Strahlen der Sonne in ausreichendem Maß. Fehlt die Strahlung oder das Vitamin, kommt es zu Mangelerscheinungen wie z.B. Rachitis (Skelettverformungen).
- Welche Vorteile hatten demzufolge Menschen in den nördlichen Gebieten, die lebenslang Lactose enzymatisch abbauen können? Interpretieren Sie Abb. 6.
- *Die Menschen, die Lactose auch noch im Erwachsenenalter verwerten können und damit auch Vitamin D direkt aufnehmen, gehen der Gefahr aus dem Weg, selbst nicht ausreichende Mengen des Vitamins synthetisieren zu können. Bei relativ geringer Sonneneinstrahlung im Norden im Vergleich zum Süden und bei entsprechend ungünstiger Hautfarbe kann diese eventuell unzureichende Vitamin-D-Produktion der Haut somit ausgeglichen werden. Kommt es hingegen zu Vitamin-D-Mangel und damit zu Calcitriol-Mangel, das die Aufnahme von Calcium aus dem Blut in das Knochenmark fördert, so entsteht Rachitis (Skelettverformungen aufgrund von Instabilität, durch Calciummangel verursacht). Heute weiß man, dass vor allem die frühen Neandertaler in Europa an Rachitis litten.*

Basiskonzepte

Basiskonzept: Struktur und Funktion (Seite 357)

- ① Zur Abwehr von Krankheitserregern produziert das Immunsystem der Wirbeltiere spezifische Antikörper, die zu molekularen Strukturen des Erregers, den sog. Antigenen, passen. Sie treten in einer unüberschaubaren Vielfalt auf.
Wie wird die Passgenauigkeit erreicht und welche Folgen hat die Wechselwirkung?
 - *Antikörper entstehen nach dem Baukastenprinzip: Die Vielfalt der Rezeptormoleküle wird aus einer überschaubaren Anzahl von DNA-Abschnitten durch Umsortierung erzeugt. Vergleichbar dem Lego-System kann mit wenigen Bausteintypen eine Vielfalt von fertigen Produkten durch unterschiedliche Kombination hergestellt werden.*
- ② Die organischen Basen Adenin und Thymin sowie Cytosin und Guanin liegen in der DNA gepaart vor. Über Wasserstoffbrücken stehen sie miteinander in Wechselwirkung. Analysieren Sie die Unterschiede in Bezug auf Struktur und Funktion im Vergleich zu den molekularen Wechselwirkungen zwischen Transmitter und Rezeptor.
 - *In der Basenpaarung der DNA liegt eine Wechselwirkung zwischen den Partnern vor (jeweils eine „lange“ und eine „kurze“ Base, Möglichkeit zur Ausbildung von zwei bzw. drei Wasserstoffbrücken), die bei der Replikation und bei der Transkription den Aufbau des zweiten zu ergänzenden Stranges genau festlegt. In eine bestimmte Enzymstruktur passt nur ein definiertes Substrat und in diesem Komplex wird nur eine spezifische Umsetzung katalysiert. An Synapsen kann ein Transmitter durch Besetzen „seines“ Rezeptors Ionenkanäle öffnen und somit zur Weiterleitung der Information beitragen.*
- ③ Gegeneinander gerichtete Effekte gibt es auch bei Stoffwechsel-, Wachstums- und Entwicklungsprozessen. Erläutern Sie Antagonismus im Gegensatz zu Synergismus (harmonisches Zusammenwirken) jeweils an einem Beispiel.
 - *Antagonisten in der Steuerung von Stoffwechselprozessen sind z. B. der Sympathicus und der Parasympathicus und direkt in Stoffwechselvorgängen auf- und abbauende Enzyme. Zum Wachstum eines Organismus trägt die Zellteilung bei, ihr Gegenspieler ist der Zelltod z. B. durch Apoptose, das Wachstum einer Population wird u. a. durch Geburten und Sterberate bestimmt. Entwicklungsprozesse werden durch fördernde und hemmende Hormone gesteuert.*
- ④ Bei Hunden, Schafen und anderen Säugetieren findet man ein so genanntes Wundernetz, das durch Aufspaltung der Kopfarterien in hundert parallel verlaufender Gefäße entsteht. Es durchzieht eine blasenartig aufgetriebene Vene, die Blut aus der Nasen- und Mundschleimhaut führt. Warum kann der Hund einen Hasen zu Tode hetzen?
 - *Im Wundernetz fließt arterielles Blut in Richtung Gehirn. Aus der Nasenschleimhaut fließt in den Venen abgekühltes Blut ins Körperinnere zurück; das arterielle Blut wird damit abgekühlt (vergleichbar Gegenstromprinzip). Hetzt der Hund einen Hasen, entsteht durch die Bewegung Wärme, die beim Hasen letztlich zu einer Überhitzung des Gehirns führen kann (da er kein Wundernetz besitzt).*

Basiskonzept: Reproduktion (Seite 359)

- ① Die so genannte Big-Bang-Strategie wird z.B. von einigen Bambusgewächsen verfolgt: Die Organismen durchlaufen über mehrere Jahre nur vegetative Wachstumsphasen, investieren dann ihre gesamte Energie in eine einzige sexuelle Reproduktionsphase und sterben danach ab. Nennen Sie die Vor- und Nachteile.
 - *Erfolgt die Blüten- und Fruchtbildung z. B. in außergewöhnlich niederschlagsreichen Jahren, werden Samenbildung und Keimung sowie das Wachstum aller Jungpflanzen gefördert. Nachteil ist, dass keine kontinuierliche Verjüngung der Bestände erfolgt. Vorteile sind, dass den Pflanzenfressern derart viele Samen und Jungpflanzen zur gleichen Zeit zur Verfügung stehen, dass nicht alle Bambusgewächse verzehrt werden können.*
- ② Beim Pazifischen Lachs zehren die Männchen und Weibchen während der Wanderung zum Paarungsort von ihrem Körpervorrat und gehen nach dem Ablaichen zugrunde. Beschreiben Sie Kosten und Nutzen dieser Strategie.
 - *Durch die zahlreichen Tiere, die z. B. die Flüsse hinauf wandern, können Räuber wie der Bär nur einen begrenzten Anteil der Elterntiere fangen. Auch die Feinde der Jungtiere haben nur kurzfristig ein hohes Angebot. Der Fortpflanzungserfolg wird dadurch erhöht. Die langfristige Investition der Elterntiere in den Aufbau der Körpervorräte und die Produktion von Keimzellen erzeugt Kosten, die beim vorzeitigen Tod der Elterntiere extrem hoch sind.*
- ③ Beurteilen Sie Revierverteidigung, Brutpflege oder Brutfürsorge oder den Bau spezifischer Nester zur Aufzucht der Nachkommen im Hinblick auf die reproduktive Fitness.
 - *Revierverteidigung kann unterschiedliche Ziele haben, sichert aber z. B. während der Fortpflanzungsperiode die Ernährung der Jungtiere. Brutpflege (die Eltern versorgen die Nachkommen direkt) und Brutfürsorge (Eltern sorgen nur für günstige Entwicklungsbedingungen, aber nicht direkt für die Nachkommen) machen sich aus biologischer Sicht nur bezahlt, wenn sie den eigenen Jungen zugute kommen, sodass die Verbreitung der eigenen Gene gesichert wird. Der Bau spezifischer Nester erhöht ebenfalls die Überlebensrate der Nachkommen. Alle Verhaltensweisen tragen zur Erhöhung der reproduktiven Fitness bei.*
- ④ Reproduktion im Sinne von „Erzeugung von Nachkommen“ bedeutet nicht automatisch Vermehrung. Begründen Sie dies.
 - *Würde ein Paar nur einen Nachkommen während seines Lebens erzeugen, hätte es sich zwar fortgepflanzt, die Population würde aber insgesamt abnehmen.*
- ⑤ Die verschiedenen Formen der ungeschlechtlichen (vegetativen) Fortpflanzung gewährleisten, dass ein Individuum Kopien aller seiner Gene weitergibt. Stellen Sie die Vor- und Nachteile im Vergleich mit der geschlechtlichen Fortpflanzung dar.
 - *Durch ungeschlechtliche Fortpflanzung können schnell zahlreiche Nachkommen mit der gleichen genetischen Ausstattung entstehen, sodass Ressourcen optimal genutzt werden. Auf Dauer kann aber durch mangelnde Rekombination eine genetische Verarmung eintreten. Bei Prokaryoten wird dies z. B. durch Konjugation verhindert. Geschlechtliche Fortpflanzung gewährleistet stets eine genetische Rekombination, durch die eine bessere Anpasstheit an die Umwelt möglich wird; sie erfordert aber höhere Investitionen durch die Partnersuche.*

- ⑥ Fitness in Sinne DARWINS wird nicht an der Anzahl der Nachkommen gemessen, sondern daran, wie viele von ihnen überleben und selbst wieder Nachkommen haben. Daraus ergeben sich unterschiedliche Fortpflanzungsstrategien. Erläutern Sie die Zusammenhänge.
- *Zu einem optimalen Lebensfortpflanzungserfolg können neben bestimmten anatomischen Strukturen auch genetisch bedingte Verhaltensweisen (Strategien) oder individuelle Taktiken beitragen. Sie werden im Wesentlichen durch ökologische Bedingungen selektiert (K- und r-Strategen), sind aber auch von der sexuellen Selektion abhängig.*
- ⑦ Buschblauhäher haben sog. „Helfer am Nest“, die sich selbst nicht fortpflanzen. Unter welchen Bedingungen kann dieses auf den ersten Blick uneigennützig (altruistische) Verhalten einen reproduktiven Fitnessgewinn darstellen?
- *Sind die Helfer mit den Jungtieren nahe verwandt, sorgen sie durch dieses altruistische Verhalten dafür, dass ein Teil ihrer eigenen Gene in die nächste Generation gebracht werden, obwohl sie sich selbst nicht fortpflanzen (weil dies z. B. aufgrund der ökologischen Bedingungen nicht möglich ist).*

Basiskonzept: Kompartimentierung (Seite 361)

- ① Welche Vorteile bietet die Kompartimentierung?
- *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.*
- ② „Die Identität eines Zellkompartiments beruht im Wesentlichen auf spezifischen Proteinbestandteilen seiner Membran.“ Begründen Sie diese Aussage.
- *Membranproteine kontrollieren den Im- und Export von Substanzen und entscheiden damit über die Zusammensetzung des von ihnen umschlossenen Zellkompartiments. Sie selbst entstehen unter der Regie des Zellkerns bzw. der organelleigenen DNA (im Falle der Plastiden und Mitochondrien). Sie werden entsprechend der im Gewebetyp aktivierten Erbinformation synthetisiert und sind als spezifische Enzyme aktiv bzw. beeinflussen als Baustoffe die Struktur der Membran.*
- ③ Welchen Beitrag leistet die Endosymbiontentheorie, um die Entstehung der Zellkompartimentierung zu erklären?
- *Nach dieser Theorie entwickelten sich Mitochondrien und Chloroplasten aus Prokaryoten, die in eine größere Zelle aufgenommen wurden. Die Membranstrukturen stützen diese Theorie: Die innere Membran leitet sich von der Zellmembran der Endosymbionten her, die äußere entstand aus der Zellmembran der Wirtszelle. Ringförmige DNA-Moleküle und bakterienähnliche Ribosomen in den Organellen und ihre Fähigkeit, durch Teilung aus ihresgleichen zu entstehen, sind weitere Belege.*
- ④ Mitochondrien und Plastiden sind Organellen mit einer Doppelmembran. Welche Reaktionsräume werden jeweils gegeneinander abgegrenzt und welche Prozesse laufen dort ab?
- *Die Prozesse der Zellatmung sind auf Cytoplasma (Glykolyse) und Mitochondrienmatrix (Citronensäurezyklus) sowie Innenmembran der Mitochondrien (Atmungskette) verteilt. Die lichtabhängigen Prozesse der Fotosynthese laufen an den Thylakoidmembranen und der Calvin-Benson-Zyklus im Chloroplastenstroma ab. In beiden Fällen sind die Teilschritte, die eine räumliche Nähe und eine hohe Präzision der zusammenarbeitenden Proteine bzw. Enzyme erfordern, an Membranen gebunden. Insgesamt können abbauende und aufbauende Reaktionen voneinander getrennt und trotzdem gleichzeitig ablaufen.*
- ⑤ Von E. SCHNEPF wurde 1965 die Regel formuliert, dass eine biologische Membran immer eine plasmatische Phase von einer nicht plasmatischen Phase trennt. Überprüfen Sie dies anhand der Kompartimente der Eucyten.
- *An allen einfachen Membranen (ER, Lysosomen, Vakuole) ist dies offensichtlich, weil der Organellinhalt nicht plasmatisch ist. An Doppelmembranen gibt es im Innern des Organells eine plasmatische Grundsubstanz (Karyoplasma, Chloroplastenstroma, Mitochondrienmatrix). Zwischen den beiden Membranen existiert aber jeweils ein nicht plasmatischer Innenraum, sodass auch hier die Regel zutrifft.*
- ⑥ Vom Biotop zur Biosphäre lässt sich ebenso wie von der Zelle bis zum Organismus eine „Einschachtelung von Kompartimenten“ verschiedener Organisationsstufen sehen. Erläutern Sie dies und nennen Sie Beispiele.
- *Der Reihe Zelle – Gewebe – Organ – Organismus kann man die Reihe Biotop – Biozönose – Ökosystem – Großlebensräume (z. B. Steppen oder Wüsten) – Biosphäre gegenüberstellen. Die jeweils kleinere Einheit prägt die Struktur und Funktion der nächst größeren.*
- ⑦ Lysosomen enthalten Verdauungsenzyme in einem stark sauren Milieu, das durch Energie verbrauchende Protonenpumpen aufrechterhalten wird. Welche Bedeutung hat dabei die Kompartimentierung?
- *Durch die Lysosomenmembran wird die Zelle vor Selbstverdauung geschützt.*

Basiskonzept: Steuerung und Regelung (Seite 363)

- ① Verdeutlichen Sie die Unterschiede zwischen Steuerung und Regelung an einem Elektro-Spielzeugboot mit und ohne Fernbedienung.
 - *Steuerung bedeutet eine Beeinflussung der Richtung oder Intensität von Vorgängen (z. B. durch Fernbedienung wird ein neuer Kurs festgelegt). Regelung stellt einen Kreisprozess dar, in dem Abweichungen durch negative Rückkopplung kompensiert werden (z. B. bei Kursabweichungen des Bootes wird eine entgegengesetzte Richtung eingeschlagen). Ein Boot ohne Fernbedienung kann weder gesteuert noch bei Kursabweichung korrigiert werden.*
- ② Die Regelung des Blutdrucks ist im Gegensatz zur Pupillenreaktion ein Beispiel für eine so genannte „zeitliche Integralregelung“: Der Regelprozess erreicht trotz anhaltender Störgröße einen Sollwert und hält ihn ein. Erläutern Sie dies für Blutverluste infolge einer Verletzung.
 - *Mechanische Gleichgewichte: Beispiel Kuckucksuhr oder Balkenwaage; Überlaufsystem: Regentonnen mit Ablauf in einer bestimmten Höhe. Biologisches Beispiel: Wenn der Blutzuckerspiegel nicht mehr reguliert werden kann, ist Zucker im Urin nachweisbar. Beispiel feed-forward-System (Vorwärtsregelung im Gegensatz zu Feedback): Unsere Erwartung beeinflusst die Wahrnehmung. Für einen nervösen Rucksacktouristen, der nachts durch den Wald läuft, könnte beispielsweise jeder gebogene Stock auf dem Boden wie eine Schlange aussehen.*
- ③ Das Prinzip der negativen Rückkopplung beruht darauf, Abweichungen von einem Sollwert durch Gegenwirkungen zu verringern oder vollständig zu kompensieren. Andere Modelle sind mechanische Gleichgewichte, Überlaufsysteme, chemische Pufferung oder „feed-forward-Systeme“. Informieren Sie sich darüber und erläutern Sie die Unterschiede.
 - *Durch große Blutverluste würde ein extremer Druckabfall entstehen, der Herz und Gehirn schädigt. Daher führen die durch die Sinnesorgane in der Halsschlagader festgestellten Abweichungen zu einer Neueinstellung des Spannungszustandes in der Wandmuskulatur aller Blutgefäße.*
- ④ Erläutern Sie die dargestellten technischen Regelsysteme und vergleichen Sie ihren Aufbau und ihre Funktion mit ausgewählten biologischen Systemen.
 - *Das Prinzip der automatischen Wasserstandsregelung wird z. B. im Spülkasten einer Toilette genutzt. Durch den Schwimmer (Mess- und Regelglied kombiniert) schließt sich der Zulauf, wenn eine bestimmte Höhe des Wasserstands erreicht ist. Mit dem Fliehkraftregler wurde z. B. der Antrieb von Dampfmaschinen (Lokomotiven) geregelt. Der Fliehkraftregler hat dabei durch den Anschluss an ein Schwungrad eine horizontale Drehrichtung (Pfeil). Je schneller sich das Schwungrad dreht, desto mehr heben sich die Gewichte. Die Konstruktion ist mit einem Ventil verbunden, durch das z. B. der Dampfdruck abgesenkt wird, sodass das Schwungrad sich wieder langsamer dreht. Beide Beispiele sind wie der Regelkreis in der Pupillenreaktion Proportionalregelungen.*
- ⑤ Positive Rückkopplung verstärkt sich selbstständig. Suchen Sie nach je einem Beispiel in Biologie und Technik. Erläutern Sie jeweils die Zusammenhänge.
 - *Positive Rückkopplung verstärkt sich selbsttätig (Aufschaukelungskreis): Wird z. B. ein Fußballspiel von den Zuschauern mit anfeuernden Kommentaren „belohnt“, verbessert sich die Spielbereitschaft und -leistung der Fußballer. Im „Teufelskreis“ der Drogenabhängigkeit wird durch das Wohlbefinden oder die Leistungsfähigkeit nach der Drogeneinnahme der ständig steigende Drogenkonsum bewirkt.*
- ⑥ Muskeln erhalten den Befehl, sich zu verkürzen, sowohl über α -Motoneurone als auch über γ -Fasern, die zu den Muskelspindeln führen. Bereiten Sie ein Kurzreferat zur gegenseitigen Beeinflussung von Muskelspindel und Muskel bei Kontraktion und Dehnung vor.
 - *Die Muskelspindeln sind Längenmesser (Dehnungsrezeptoren). Sie enthalten zwei Sensortypen: Der eine registriert ruckartige Verlängerungen des Muskels (Beschleunigung), der andere die erreichte Länge. Beides ist z. B. bei Reflexen notwendig. Die Muskelspindel besitzt aber auch selbst kontraktile Bereiche, durch die die Länge der Spindel entsprechend einem vorgegebenen Sollwert verändert wird. Diese Steuerung übernehmen γ -Motoneurone. Im Gegensatz dazu regulieren α -Motoneurone den Ablauf der Muskelkontraktion. Die Sollwertverstellung wird aktiv vom ZNS aus signalisiert, die Muskellänge folgt dem neuen Sollwert entsprechend einem Regelkreis.*

Basiskonzept: Stoff- und Energieumwandlung (Seite 365)

- ① Die Reaktionsgeschwindigkeit-Temperatur-Regel (RGT-Regel) besagt, dass durch eine Temperaturerhöhung um 10 °C die Reaktionsgeschwindigkeit um das 2- bis 4-Fache steigt. Belegen Sie die Gültigkeit dieser Regel an Beispielen aus der Biologie.
 - *Die Reaktionsgeschwindigkeit-Temperatur-Regel stimmt nur bedingt für einen engen Temperaturbereich um 20 °C. Homoiotherme Tierarten verfügen über Regelmechanismen, die den Zellstoffwechsel auf die jeweilige Körpertemperatur einstellen. Poikilotherme Tiere passen sich auch im Zellstoffwechsel den jeweiligen Außentemperaturen an. Tiefe Temperaturen bedingen dabei auch einen geringeren Stoffwechsel. Sogar eine gänzliche Einstellung des Zellstoffwechsels ist möglich (Kältestarre).*
- ② Die Zellatmung hat für die Energiegewinnung aerober Organismen eine zentrale Bedeutung. Welche Stoffwechselwege münden in die Glykolyse, den Tricarbonsäurezyklus und die Atmungskette? Vergleichen Sie diese Vernetzungen mit einem geeigneten technischen Beispiel.
 - *Die Glykolyse ist sowohl unter aeroben wie auch unter anaeroben Bedingungen für alle Organismen ein essenzieller Stoffwechselweg. In Gegenwart von Sauerstoff können die meisten tierischen Organismen Lipide, Aminosäuren und Kohlenhydrate durch oxidative Prozesse vollständig abbauen. Findet Gärung statt, kann nur Glucose zur ATP-Bildung herangezogen werden. Ähnlich der Automobilfertigung ist die Glykolyse demnach die zentrale „Bandstraße“, um die baukastenähnlich weitere Stoffwechselwege angeordnet sind, die wiederum untereinander vernetzt sein können.*

- ③ Auf den ersten Blick erscheint es energetisch günstiger, ein Konformer zu sein. Auch in die ungeschlechtliche Fortpflanzung scheinen Organismen weniger Energie investieren zu müssen. Trotzdem sind zahlreiche Tierarten Regulierer bzw. pflanzen sich erst nach aufwändiger Partnersuche fort. Beurteilen Sie dies.
- *Konformer unter den Tieren suchen aktiv Bereiche mit lebensfreundlichen Temperaturen auf, müssen hierzu also auch Energie investieren und sind in ihrer Gesamtaktivität weitgehend von den Umweltbedingungen abhängig. Gleiches gilt für Konformer unter den Pflanzen (Flechten und Moose), deren Lebensrhythmus in hohem Maß von den Feuchtigkeitsverhältnissen abhängt. Regulierer sind von ungünstigen Faktoren unabhängiger. Bei ständig ungeschlechtlicher Fortpflanzung können „Fehler“ im genetischen Programm nicht mehr korrigiert werden.*
- ④ Je höher die Körpertemperatur eines Tieres ist, desto schneller kann es sich bewegen. Analysieren Sie die begrenzenden Faktoren.
- *Einen Zusammenhang zwischen Körpertemperatur und Bewegungsfähigkeit findet man nur in begrenzten Bereichen bei poikilothermen Tieren. Einer steigenden Körpertemperatur sind physiologische Grenzen gesetzt. Regulationsmechanismen verhindern im Allgemeinen den Wärmetod.*
- ⑤ Manche Samen und Dauerstadien von Tieren können sehr lange Zeiträume überdauern. Wie gelingt das?
- *Im Zustand der Abiose wird der Wassergehalt der Zellen abgesenkt, damit die Lebensprozesse auf ein Minimum reduziert werden können. Oft werden die Dauerstadien von speziellen Hüllen umgeben und enthalten relativ viel Reservestoffe. Durch die verminderte Stoffwechselaktivität kommen Bewegungen, Wachstum und Entwicklung zum Erliegen.*

Basiskonzept: Information und Kommunikation (Seite 367)

- ① Stellen Sie für je ein Beispiel aus der Verhaltensbiologie, Neurophysiologie, Stoffwechselbiologie und Genetik dar, wie Sender und Empfänger aufeinander abgestimmt sind.
- *Verhaltensbiologie: Hier gibt es zahlreiche Beispiele für Verhaltensweisen, die dann entstehen, wenn zwei Individuen wechselseitig Signale aussenden.
Neurophysiologie: Hier sind z. B. die Rezeptoren auf die jeweiligen Reizqualitäten (optisch, akustisch, mechanisch, chemisch) abgestimmt.
In der Stoffwechselbiologie können Substrate als „Sender“ einer Information und Enzyme als „Empfänger“ betrachtet werden. Gleiches gilt für Hormone und ihre Zielzellen.
Genetik: Die DNA kann als informationsabgebende Substanz über die Proteine zahlreiche Empfänger im Bau- und Betriebsstoffwechsel erreichen.*
- ② Im Rundfunk haben Kurz- und Mittelwellensender erheblich schlechtere Sendequalität als UKW-Stationen. Finden Sie eine Begründung.
- *Beim UKW-Verfahren wird eine Schwingung in kurz aufeinander folgende einzelne Impulse zerlegt und von der Sendestation ausgestrahlt. Vom Empfänger werden die Impulse aufgenommen und im Radio wieder in Schwingungen zurückverwandelt. Dies hören wir als Ton oder Geräusch. Diese „Frequenzcodierung“ entspricht dem Prinzip der Nervenleitung und ist weniger störanfällig als das Sendeprinzip der Kurz- und Mittelwellensender.*
- ③ Stellen Sie die verschiedenen Codierungsmechanismen bei der Informationsübermittlung in Nervensystemen dar.
- *Am Zellkörper wirkende Transmitter erzeugen je nach Intensität der ankommenden Impulse variable Potentialhöhen (Amplituden-Code). Durch Verrechnung der eingehenden Informationen entstehen am Axonhügel fortgeleitete Aktionspotentiale nach dem Alles-oder-Nichts-Gesetz aber mit unterschiedlicher Frequenz (Frequenz-Code). Diese werden an der Synapse in eine mehr oder weniger starke Transmitterausschüttung übersetzt.*
- ④ Pflanzen speichern die Information über Belichtungsverhältnisse in Phytochrom-Molekülen. Stellen Sie die Arbeitsweise dieses Moleküls dar und erläutern Sie, wie dadurch Information verarbeitet wird.
- *Phytochrome sind Eiweiße mit Pigmentanteilen, die durch Lichteinwirkung reversibel in eine andere Form umgelagert werden und dadurch z. B. Gene ein- oder ausschalten können. Die dadurch angestoßenen Signalketten sind z. B. für Keimung, Blühinduktion bei Langtag- oder Kurztagpflanzen, Etiolierung und Fototropismus verantwortlich.*
- ⑤ Bücher, Filme, eine CD oder DVD sind Beispiele für technische Speichermedien. Vergleichen Sie diese Datenträger mit den biologischen Informationsträgern hinsichtlich der Art der Information, ihrer Speicherung und Weitergabe.
- *Technisch werden z. B. magnetische (Videobänder für Filme) und optische Systeme (Buch, DVD, CD) genutzt. Sie nutzen ebenso wie andere Informationsträger (wie z. B. Chipkarten, Halbleiter oder Blindenschrift, mechanische Speicher) überwiegend physikalische Prinzipien. Biologische Informationsträger sind z. B. die DNA, die Gedächtniszellen des Immunsystems, das Gehirn, die Hormone, die Reflexbahnen oder der Genpool. Es handelt sich dabei um „chemische Speichersysteme“ und neuronale Verschaltungen, die untereinander in Kontakt treten können. Technische Speichermedien benötigen zur Weitergabe der auf ihnen festgelegten Information spezifische Lesegeräte (Ausnahme Buch).*
- ⑥ Begründen Sie die Aussage, dass Nucleinsäuren sowohl der Informationsspeicherung als auch der Informationsübertragung dienen.
- *In der DNA ist die Erbinformation in der Nucleotidsequenz gespeichert. Die m-RNA überträgt diese Information an den Ort der Proteinbiosynthese. Die DNA selbst wird aber auch zum Informationsüberträger, wenn nach der Replikation Mitose oder Meiose erfolgt.*
- ⑦ Nennen Sie Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen Nerven- und Hormonsystem. Vergleichen Sie diese Form der Informationsübertragung mit der zellulären Kommunikation zwischen Individuen.
- *Gemeinsamkeiten: Beide dienen der Kommunikation (Regulation, Steuerung) innerhalb des Organismus und beide haben antagonistisch wirkende Regel-/ Steuersysteme (hemmende und erregende Synapsen, antagonistisch wirkende Hormone).*

Im Nervensystem sind elektrische Signale (große Distanzen) und Neurotransmitter (kleine Distanzen) in Nerven bzw. Synapsen aktiv. Die Übertragungsgeschwindigkeit ist groß, die Wirkung wird schnell hervorgerufen. Im Hormonsystem werden die Botenstoffe durch den Blutstrom verteilt. Die Verbreitungswege sind nicht wie die Nervenbahnen fest vorgegeben und die Zielzellen werden aufgrund ihrer Rezeptoren gefunden. Der Informationsgehalt wird durch die chemische Struktur der Hormone bestimmt. Die Übertragungsgeschwindigkeit ist gering, die Wirkung längerfristig. Die zelluläre Kommunikation ähnelt dem Hormonsystem auf sehr kleinem Raum. Die Kommunikation zwischen Individuen hat Ähnlichkeiten mit der Informationsübertragung im Nervensystem.

- ⑧ Warum kann man die Lautäußerungen „sprechender“ Papageien nicht als Sprache bezeichnen?
- „Sprechende“ Papageien wiederholen Laute, die durch Dressur gelernt wurden. Es wird damit keine kontextbezogene Information weitergegeben oder kommuniziert.
- ⑨ Diskutieren Sie die Bedeutung der Signalfarben in den Balztrachten vieler Tiere. Vergleichen Sie dies mit der Funktion von Warnfarben.
- Die auffälligen Signalfarben können dem Anlocken des Sexualpartners dienen oder Konkurrenten warnen, aber auch Feinde aufmerksam machen. Sie unterliegen der sexuellen Selektion. Warnfarben haben ähnlich wie Tarnfarben eine Bedeutung im Räuber-Beute-System.

Basiskonzept: Variabilität und Anpasstheit (Seite 369)

- ① Man sagt, die Selektion arbeitet nach dem Schrotschussprinzip. Erläutern Sie dies.
- Mit dem „Schrotschussprinzip“, ist gemeint, dass von den ungezielt in alle Richtungen streuenden Schrotkörnern (hier Umweltfaktoren) einige zufällig auf passende Objekte (hier Merkmale) treffen. Durch den Zufallstreffer werden die Objekte „angepasst“. Im Nachhinein erscheint dies wie eine zielgerichtete und zweckmäßige Anpassung, was aber auf die Selektionsvorgänge nicht zutrifft.
- ② Suchen Sie nach je einem Beispiel für genetisch fixierten Polymorphismus, balancierten Polymorphismus sowie Plastizität und vergleichen Sie die Beispiele.
- Genetisch fixierter Polymorphismus: Die Vielgestaltigkeit von Individuen einer Art gibt es z. B. bei Farbpolyorphismen (z. B. verschieden gefärbte und gebänderte Individuen bei Schnirkelschnecken, rote und schwarze Eichhörnchen, braune und graue Farbphasen bei Waldkauz und Kuckuck oder auch die zwischen rot-violett und weiß variiende Blütenfarbe des Lerchensporns). Auf zwei Morphen beschränkt ist der Sexualdimorphismus.
Balancierter Polymorphismus: Die Vorteile des Allels in den Heterozygoten und die Nachteile des Allels in den Homozygoten halten sich in dieser Gleichgewichtssituation die Waage (z. B. Sichelzellanämie: Homozygote erkranken, Heterozygote sind weniger anfällig für Malaria als gesunde Personen).
Plastizität: Hochland-/Tieflandform von Löwenzahnpflanzen, verschieden stark ausgeprägte Muskulatur, ökologische Potenz; Bezug zu Modifikationen. Der Genotyp gibt nur die Reaktionsnorm vor, durch die Umwelteinflüsse entstehen unterschiedliche Phänotypen.
- ③ Nach Hirnverletzungen können Betroffene unter entsprechender Therapie bestimmte Tätigkeiten wieder erlernen oder vollständig gesund werden. Worauf beruht das und wie lässt es sich erklären?
- Entsprechend der Neuroplastizität wird Wissen nicht als Ganzes, sondern verstreut in verschiedenen Gehirnbereichen gespeichert und mit unterschiedlichen Assoziationen verknüpft und kann dann auch wieder neu kombiniert und reaktiviert werden.
- ④ Biochemische Anpassungen können auf Veränderung der Genexpression oder der Enzymaktivität beruhen. Erläutern Sie dies.
- Genexpression wird entweder über Substratinduktion oder Endproduktrepression oder vergleichbare Mechanismen und durch Hormone reguliert. Die Enzymaktivität kann insbesondere bei allosterischen Enzymen gehemmt oder aktiviert werden. In beiden Fällen werden biochemische Reaktionen den augenblicklichen Erfordernissen angepasst.
- ⑤ Durch die Evolution lässt sich einerseits die hohe Diversität der Lebensformen erklären, andererseits aber auch die Tatsache, dass alle Organismen gemeinsame Kennzeichen des Lebendigen aufweisen. Begründen Sie dies.
- Diversität, d. h. die große Vielfalt verschiedener Organismen entsteht im Verlauf der Evolution. „Rückwärts“ betrachtet lässt sich z. B. durch die molekulare Verwandtschaft ein gemeinsamer Ursprung der Organismen finden.
- ⑥ Prüfen Sie die Eignung des Begriffs „Überleben des Stärkeren“ zur Beschreibung der Selektion.
- Der Begriff „survival of the fittest“ wurde von HERBERT SPENCER 1862 infolge von DARWINS Formulierung im „Kampf ums Dasein“ geprägt und häufig als Überleben des Stärkeren interpretiert. Dies ist aber falsch, da bestimmte Individuen nicht, weil sie am besten zum Überleben geeignet sind zu Eltern einer neuen Generation werden, sondern dieses ausschließlich durch den Besitz von bestimmten definierten Merkmalen werden.
- ⑦ Viele Krankheitserreger lassen sich durch Antibiotika nicht mehr bekämpfen. Beschreiben Sie den Prozess der Resistenzbildung und ermitteln Sie den Bezug zu Variabilität und Anpasstheit.
- Die Entstehungsweise resistenter Bakterien zeigt, dass einige Organismen innerhalb einer Population durch eine Prädisposition einen Selektionsvorteil haben.
- ⑧ In der medizinischen oder industriellen Forschung wird ein Ausgangsstoff in kleinen Schritten gezielt oder zufällig verändert und dann auf Wirksamkeit geprüft. Vergleichen Sie dies mit der biologischen Evolution.
- Diesem Vorgehen entspricht in der biologischen Evolution das Auftreten von Mutationen, deren Effekte ebenfalls meist kleinschrittige Veränderungen bewirken, und der Selektion.

- ⑨ Vergleichen Sie die Umfärbung der Scholle, eines Hermelins im Winter und die Tarnfarbe eines Feldhasen unter dem Aspekt von Anpassung und Angepasstheit.
- Die Umfärbung der Scholle ist eine spontane, individuelle Anpassung an den Untergrund (Tarnung, physiologischer Farbwechsel). Der morphologische Farbwechsel des Hermelins (Sommer-/Winterkleid) dient ebenfalls der optischen Tarnung durch Anpassung an die sich farblich verändernde Umgebung, ist aber lang anhaltend, vollzieht sich im Zusammenhang mit dem Haarwechsel und betrifft alle Tiere einer Art. Die Tarnfarbe des Feldhasen ist im Jahresverlauf stets gleich und stellt eine Angepasstheit dar.

Basiskonzept: Geschichte und Verwandtschaft (Seite 371)

- ① „Der genetische Code ist universell und redundant“. Erläutern Sie diese Behauptung und den Bezug zum vorliegenden Thema.
- Die Redundanz ergibt sich aus der Tatsache, dass für die 20 Aminosäuren, die am Proteinaufbau beteiligt sind, 64 Triplettkombinationen zur Verfügung stehen. Die Degeneration zeigt sich daran, dass meist mehr als ein Triplet den Einbau einer Aminosäure codiert. Da der genetische Code in dieser Form für alle Organismen gleichermaßen gilt (Universalität) ist dies ein Beleg für ihre gemeinsame Herkunft.
Anmerkung: Nur für sehr wenige Organismen (meist Archaeobakterien) sind ungewöhnliche Aminosäuren und abweichende Tripletzuordnungen bekannt.
- ② Gilt das Zufallsprinzip auch für die Koevolution? Diskutieren Sie mögliche Zusammenhänge.
- Koevolution bedeutet in der Stammesgeschichte die wechselseitige Anpassung interagierender Arten, die zu einer Sicherung und Vervollkommnung ihrer Existenz und Fortpflanzung führt. Zufälle spielen hier in Form von solchen Mutationen eine Rolle, die in diesem Prozess die Entwicklung vorangetrieben haben.
- ③ Suchen Sie nach je einem Beispiel für „Zweckmäßigkeit“ aus den Bereichen Biologie, Medizin und Technik. Welche Kriterien liegen der Auswahl zugrunde?
- Der biologische Zweck liegt immer in den Konsequenzen, die ein Merkmal für das Überleben und den Fortpflanzungserfolg eines Individuums hat (Adaptationswert; ultimate Ursache). Beispiel: Stäbchenretina bei nachtaktiven Wirbeltieren. Im Gegensatz dazu ist in Medizin und Technik damit stets eine zielgerichtete Aktivität gemeint. Beispiel: Eine Behandlung zielt auf eine bestimmte Wirkung ab; ein technisches Gerät ist so beschaffen, dass es ein bestimmtes Ziel besonders gut erfüllt.
- ④ Lebewesen besitzen im Unterschied zu nicht lebenden Systemen ihr eigenes, über Millionen Jahre optimiertes, genetisches Programm. Betrachten Sie mögliche Auswirkungen der Gentechnik unter evolutionären Gesichtspunkten.
- Die Gentechnik greift in diese optimierten Systeme ein. Unter evolutionären Gesichtspunkten bewirkt sie also unter Umständen Prozesse, die bereits durch die Selektion „aussortiert“ wurden, da sie nicht optimal waren.
- ⑤ Analysieren Sie die besonderen Einflüsse, denen Inselepopulationen ausgesetzt sind, unter genetischen und evolutionsbiologischen Aspekten.
- Inselepopulationen sind gekennzeichnet durch scharfe Separation von der Landflora und -fauna, starke Beschränkung ihres Arealen und relative Artenarmut bei meist hohem Anteil an Endemiten. Einzelne Arten können eine adaptive Radiation zeigen. Durch den eingeschränkten Genpool haben auch Rekombinationsmechanismen nur begrenzte Wirksamkeit. Es liegt keine ideale Population vor.
- ⑥ Das Aktualitätsprinzip wurde von C. LYELL (1797–1875) formuliert. Er versuchte, in der Vergangenheit abgelaufene Prozesse nur durch solche Kausalfaktoren zu erklären, die auch heute wirksam und daher analysierbar sind. Welche Evolutionsfaktoren könnten demgemäß zur biologischen Vielfalt geführt haben?
- Nur Mutation und Selektion können entsprechend dem Aktualitätsprinzip heute analysiert werden. Alle anderen Vorgänge, wie sie z. B. zur Entstehung von Fossilien führen, sind nach diesem Prinzip nicht erklärbar. In der heute gültigen synthetischen Evolutionstheorie hat LYELLS Idee demzufolge keine Bedeutung.