

Evolution

17

Mechanismen der Evolution

S. 281 17.1 Vererbare Variabilität und natürliche Auslese führen zu Evolution

A1 Das Bakterium *Staphylococcus aureus* verursacht schwere Wundinfektionen. In Krankenhäusern wird es daher mit einem Antibiotikum bekämpft. Erläutern Sie die Folgen, die zu erwarten sind, wenn ein Bakterium eingeschleppt wird, das resistent gegen das Antibiotikum ist. Bewerten Sie, ob man von einem Evolutionsvorgang im Sinne der Textdefinition sprechen kann.

Folgen: Da das Antibiotikum die resistenten Bakterienzellen nicht abtöten kann, werden sie sich vermehren. Durch diese extreme Selektion tritt in den Folgegenerationen sehr schnell ein hoher Anteil an resistenten Bakterien auf. Das stellt für die Patienten natürlich eine hohe Bedrohung dar.

Evolutionsvorgang: Die Krankenhauspopulation von *Staphylococcus aureus* wird durch Selektion an das Vorhandensein eines Antibiotikums angepasst. Die genetische Zusammensetzung der Population verändert sich, da fast nur noch resistente Bakterien auftreten. Damit sind die Kriterien für einen Evolutionsvorgang erfüllt. Die Ursache für die Veränderung war hier die Einschleppung der resistenten Bakterien (Anmerkung: Auch andere Ursachen, z. B. zufällige Mutation; siehe 17.2 sind denkbar).

A2 Das Gedankenexperiment in Abb. 2 ist ein Modell für Evolutionsvorgänge. Beschreiben Sie zu den Einzelabläufen im Gedankenexperiment mögliche Prozesse in natürlichen Populationen. Wählen Sie als Ausgangspopulation eine Gruppe von Laubfröschen, von denen in Europa die zwei abgebildeten Farbvarianten bekannt sind.

1. Bild (links): Ausgangspopulation ist eine Population aus grünen und blauen Froschindividuen. Die Häufigkeit kann z. B. 50:50 sein oder auch beliebig.
2. Bild (2. v. l.): Durch ihre auffällig blaue Färbung werden die blauen Frösche von Fressfeinden häufiger entdeckt und gefressen. Ihr Anteil an der Gesamtpopulation wird dadurch dezimiert, der der grünen Individuen hingegen erhöht. Daher gibt es auch mehr Verpaarungen, an denen grüne Frösche beteiligt sind.
3. Bild (3. v. l.): Da sich mehr grüne als blaue Frösche fortgepflanzt haben, werden häufiger die für den Phänotyp Grün verantwortlichen Allele weitergegeben als die für den Phänotyp Blau. Damit gibt es auch in der Folgegeneration mehr grüne Individuen.
4. Bild (rechts): Über etliche Generationen hinweg stellt sich eine Populationszusammensetzung ein, in der gegenüber der Ausgangspopulation verhältnismäßig mehr grüne als blaue Individuen vorkommen.

S. 283 17.2 Neue Varianten entstehen durch zufällige, ungerichtete Mutationen

A1 Erläutern Sie, wer oder was „entscheidet“, ob eine Mutation positiv, neutral oder negativ ist. Legen Sie dar, ob die gleiche Mutation mal positiv, mal negativ sein kann.

Ob Mutationen positiv, neutral oder negativ für ihren Träger sind, hängt von der Umwelt ab. Beispielsweise könnte eine Mutation, die zu einer veränderten Körperfärbung führt unter bestimmten Umweltbedingungen positiv sein, da sie z. B. zu einer besseren Tarnung führt. Unter anderen Umweltbedingungen kann dieselbe Mutation jedoch negativ sein, da ihr Träger nun leichter von Fressfeinden entdeckt wird.

A2 In einer Population treten bei Einzelindividuen zwar selten, aber immer wieder Neumutationen auf, so auch die Mutation vom „normalen“ Hämoglobin-Allel HbA zum HbS-Allel. Erklären Sie, ob derartige Neumutationen in Malariagebieten häufiger zu erwarten sind als in malariafreien Gebieten.

Mutationen sind zufällige und ungerichtete Ereignisse, die von der Umwelt unabhängig sind. Daher sind sie in Malariagebieten genauso häufig zu erwarten wie in malariafreien Gebieten. Die Folgen sind in den Gebieten allerdings unterschiedlich.

S. 284 17.3 Individuen mit günstigen Merkmalen vererben ihre Merkmale häufiger

A1 Erörtern Sie am Beispiel des Birkenspanners, welche der folgenden Übersetzungen für „*survival of the fittest*“ am zutreffendsten ist: „Überleben des Stärkeren“ „Fortpflanzungserfolg des Stärkeren“ „Überleben des besser Angepassten“ „Fortpflanzungserfolg des besser Angepassten“.

Die Übersetzung „Fortpflanzungserfolg des besser Angepassten“ ist am treffendsten, denn ...

1. „Fortpflanzungserfolg“ ist zutreffender als „Überleben“: Für Evolutionsprozesse ist die Anzahl der Nachkommen in der Folgegeneration entscheidend. Ein „Überleben“ im Sinne von „langes Leben“ ist nicht das entscheidende Kriterium, da es ja noch nichts über die Anzahl der Nachkommen aussagt (Ein langes Leben ohne Nachkommen wäre ja denkbar). „Fortpflanzungserfolg“ ist daher der passendere Begriff. „Survival“ oder „Überleben“ müsste erläutert werden im Sinne von „Genvarianten, die erfolgreich an möglichst viele Nachkommen weitergegeben wurden“ und daher in der Population „überleben“. Es kann aber nicht das „Überleben“ von Individuen gemeint sein.

2. „Der besser Angepasste“ ist zutreffender als „der Stärkere“: Für den Fortpflanzungserfolg ist nicht Stärke ausschlaggebend, sondern eine gute Anpassung, sei es durch besonders gute Tarnung oder besonders wirksame Anlockung von Sexualpartnern.

A2 Beim Birkenspanner gab es weitere Veränderungen, als in England zwischen 1950 und 1960 Luftreinigungsgesetze erlassen wurden. Die Grafik fasst die Beobachtungen zusammen. Beschreiben und erklären Sie die Kurvenverläufe. Ordnen Sie dem Beispiel einen Selektionstyp zu.

Beschreibung: Der SO_2 -Gehalt (orangefarbene Kurve) nimmt nach Erlassung der Gesetze von ca. 250 mg/m^3 im Jahr 1960 auf ca. 100 mg/m^3 im Jahr 1970 und weiter auf ca. 30 mg/m^3 ab dem Jahr 1980 ab. Der Anteil dunkler Birkenspanner sinkt nach 1970 von ca. 90% auf ca. 75% im Jahr 1980 und auf knapp über 60% im Jahr 1985.

Erklärung:

Selektionstyp: Das Fitnessmaximum hat sich von „dunkel“ zu „hell“ verschoben. Es handelt sich daher um eine gerichtete Selektion.

S. 286 17.4 Sexuelle Fortpflanzung erzeugt neue Allelkombinationen

A1 Kann Evolution stattfinden, d.h. kann sich die Allelhäufigkeit in einer Population verschieben, ohne dass eine Mutation stattfindet? Erörtern Sie diese Frage am Beispiel der Schneehasen aus Abb. 1. Beurteilen Sie, wie sich eine Population im Verlauf einiger Generationen entwickeln könnte. Schneehasen leben in kalten, schneereichen Gebieten Europas.

In der Schneehasenpopulation gemäß Abb. 1 liegen bereits Allele für „wenig Wollhaare/viel Wollhaare“ sowie für „weiß/braun“ vor. Es gibt also Variabilität und daher kann auch eine Evolution stattfinden, ohne dass eine Mutation stattfindet. Für Populationen in kalter und schneereicher Umgebung wäre zu vermuten, dass der Anteil weißer, d.h. gut getarnter Individuen, und Individuen mit viel Wollhaaren,

d.h. Individuen, die gut gegen Kälte geschützt sind, im Laufe der Generationen zunimmt. Nur eine Population, in der es gar keine Variabilität gibt, kann nicht evolvieren. Hier wären zwingend Mutationen erforderlich, damit überhaupt eine Änderung in den Allelhäufigkeiten auftreten kann.

A2 Erläutern Sie die Bedeutung der sexuellen Rekombination für die Evolution. Betrachten Sie dazu, wie viele unterschiedliche Keimzellen ein Organismus bilden kann, der in zwei Merkmalen (AaBb) bzw. in drei Merkmalen (AaBbCc) oder in 100 Merkmalen heterozygot ist.

Ein Individuum mit AaBb kann 4, also 2^2 unterschiedliche Keimzellen bilden (AB, aB, Ab, ab). Ein Individuum mit AaBbCc kann 8, also 2^3 unterschiedliche Keimzellen bilden. Bei hundert Allelpaaen gibt es bereits 2^{100} unterschiedliche Keimzellen. Die sexuelle Rekombination erzeugt also über die Keimzellbildung eine extrem hohe Anzahl von Varianten, an denen die Selektion ansetzen kann.

S. 287 17.5 Zufällige Auslese führt zu Evolution ohne Anpassung

A1 Auf einem vorgelagerten Felsen im italienischen Mittelmeer findet man eine kleine, aber besondere Eidechsenpopulation: Die Tiere der Art *Podarcis sicula* sind blau gefärbt. Diese Farbe scheint keinen besonderen Anpassungswert zu haben. Die Tiere anderer Populationen dieser Art sind grün mit braunen Tupfen. Sie haben manchmal einen blauen Bauch. Geben Sie eine mögliche Erklärung für das Entstehen der Inselform an.

Gegenüber dem Festland gibt es auf dem Felsen (der Insel) eine Verschiebung der Allelhäufigkeit von grün nach blau. Diese ist nicht mit besonderen Selektionsverhältnissen zu erklären. Daher kann es sich nur um einen Zufallsprozess handeln. Eine Erklärung ist Gendrift. Entweder wurden Tiere vom Festland auf den Felsen verdriftet (z. B. auf einem Holzstück) und diese waren zufällig blau. Dort gründeten sie dann eine hauptsächlich blaue Population (Gründereffekt). Oder es gab eine kleine Population auf dem Felsen und nach einem Unglück (z. B. Unwetter, Sturm) überlebten nur wenige Individuen, die zufällig blau waren (Flaschenhalseffekt).

A2 Sie bekommen die Verantwortung für die europäischen Zoopopulationen von Schneeleoparden und sollen sie vor der genetischen Verarmung durch Gendrift schützen. Erläutern Sie Ihr Vorgehen.

Um den zufälligen Verlust an genetischer Variabilität durch genetische Drift zu minimieren, sollten die Gene möglichst vieler Individuen vermischt werden. So sollte die Fortpflanzung der europäischen Schneeleoparden nicht nur innerhalb der einzelnen Zoopopulationen stattfinden, sondern auch zwischen den Populationen aus den verschiedensten Zoos gewährleistet werden. Dazu müssen dann einzelne Tiere zum Zweck der Fortpflanzung zwischen den Zoos ausgetauscht werden.

S. 289 17.6 An der Häufigkeit von Genotypen erkennt man, ob Evolution stattfindet

A1 Formulieren Sie je eine Aussage für die Allel- und Genotyphäufigkeiten in idealen Populationen nach der Hardy-Weinberg-Regel und nennen Sie die Voraussetzungen, die dafür erfüllt sein müssen.

Die Häufigkeit der Allele bleibt konstant. Die Häufigkeit der Genotypen bleibt ebenfalls konstant und verhält sich bei einem Gen mit zwei Allelen wie $AA : Aa : aa = p^2 : 2pq : q^2$ (mit p = Allelhäufigkeit für Allel A, q = Allelhäufigkeit für a).

Voraussetzungen: In einer idealen Population gibt es keine Selektion und keine Mutation. Es gibt keine Zu- oder Abwanderung (Migration). Alle Individuen haben die gleichen Fortpflanzungschancen.

A2 In einer Population von 100 Hasen haben 19 Hasen eine dominant vererbte Krankheit. Da sie erst nach der Geschlechtsreife ausbricht, beeinträchtigt sie die Fortpflanzungschancen nicht. Berechnen Sie die Allelhäufigkeiten von A und a und erläutern Sie, ob der Anteil kranker Tiere in den Folgegenerationen zunehmen wird.

1 Hase mit AA, 18 Hasen mit Aa und 81 Hasen mit aa.

Berechnung: 19 von 100 Hasen weisen entweder den Genotyp AA (Anteil p^2) oder Aa (Anteil $2pq$) auf, d.h. die Summe der Anteile von AA und Aa ist $19/100 = 0,19$ (Summe $p^2 + 2pq$). 81 von 100 Hasen müssen dann den Genotyp aa aufweisen. Der Anteil aa (entsprechend Anteil q^2) ist somit 0,81. Daraus folgt: $q = 0,9$ und mit $p + q = 1$ folgt $p = 0,1$. Demnach muss der Anteil Hasen mit AA $p^2 = 0,01$ (entsprechend 1 von 100 Hasen) und der Anteil Aa $2pq = 2 \cdot 0,1 \cdot 0,9 = 0,18$ (entsprechend 18 von 100 Hasen) sein.

Der Anteil kranker Hasen wird nicht zunehmen, da alle Hasen – auch die Kranken – gleiche Fortpflanzungschancen haben. Es handelt sich also um eine ideale Population. Anders wäre es, wenn die Krankheit bereits vor der Geschlechtsreife ausbricht.

Hinweis: Sollte die Krankheit, trotz ihres späten Ausbrechens, einen Einfluss auf die Überlebensrate der Nachkommen haben, z.B. weil die Jungen nicht umsorgt werden können, würde das einen Einfluss auf die Allelhäufigkeiten haben.

S. 290 **17.7** Die Evolutionstheorie hat sich historisch entwickelt und wird weiter überprüft

A1 Stellen Sie die Vorstellungen von Lamarck und Darwin zu evolutionärem Wandel mithilfe einer Tabelle gegenüber.

Lamarck	Darwin
Durch Benutzung oder Nichtnutzung von Strukturen werden diese größer bzw. kräftiger oder sie verkümmern.	Es gibt verschiedene Varianten in einer Population.
Die Individuen vererben diese veränderten Eigenschaften auf ihre Nachkommen, sodass sich die Population über Generationen verändert.	Individuen, die besser an die gegebenen Umweltbedingungen angepasst sind, haben einen höheren Fortpflanzungserfolg. In der Nachkommengeneration steigt dadurch der Anteil der besser angepassten Individuen.

A2 *Pakicetus* ist ein fossiles, landlebendes Säugetier, das als Vorfahr der heutigen Wale und Delfine gilt. Beim Übergang zum Wasserleben vor etwa 50 Mio. Jahren spielte das große Nahrungsangebot im Meer eine wichtige Rolle. Eine kindliche Vorstellung zur Evolution der Wale könnte lauten: „Das Tier ging ins Meer, weil es dort viel zu essen gab. Durch das viele Schwimmen wuchsen ihm Schwimmhäute, es verlor die Haare, die Beine wurden flossenähnlich“. Erklären Sie, an welchen Stellen diese Darstellung fehlerhaft oder unvollständig ist, und formulieren Sie eine Erklärung aus Sicht der Synthetischen Evolutionstheorie. Die Formulierung ist aus evolutionsbiologischer Sicht an mehreren Stellen nicht korrekt. Im Einzelnen:

„Das Tier ging ins Meer“: Evolution vollzieht sich an Populationen, nicht an Einzelindividuen.

„... weil es dort viel zu essen gab.“: Individuen oder Populationen handeln nicht absichtsvoll.

„Durch das viele Schwimmen wuchsen ihm Schwimmhäute, es verlor die Haare, die Beine wurden flossenähnlich“: Diese lamarckistische Sichtweise, nach der Organe oder Strukturen sich durch Benutzung oder Nichtbenutzung verändern, ist nicht korrekt. Varianten (z. B. solche mit Schwimmhäuten) entstehen durch zufällige Mutation.

Umformulierung: In einer Population von *Pakicetus* gab es einzelne Individuen, die durch zufällige Mutationen oder Neukombination von Merkmalen ihrer Eltern Schwimmhäute oder weniger Haare oder flossenähnliche Beine besaßen. Die Population lebte in Küstennähe. Die Individuen suchten sowohl an Land als auch im Wasser nach Nahrung. Da es im Wasser ein sehr umfangreiches Nahrungsangebot gab, waren Individuen, die dort Nahrung suchten besonders gut ernährt. Insbesondere Individuen die zufällig die o.g. Mutationen aufwiesen, waren sehr erfolgreich. Ihr guter Ernährungszustand bedingte einen hohen Fortpflanzungserfolg (viele Nachkommen). Dabei vererbten diese Individuen ihre, für das Wasserleben, positiven Merkmale. In den Folgegenerationen traten immer mehr an das Wasserleben angepasste Individuen auf. Über viele Generationen erfolgte schließlich ein Übergang vom Land- zum Wasserleben.

S. 291 17.8 Schöpfungsmythen bieten keine naturwissenschaftliche Erklärung für Evolution

A1 Beim Landgang der Wirbeltiere haben sich fischartige Wirbeltiere in vierfüßige Landtiere gewandelt. Anhänger des Kreationismus werfen gegen diese Aussage ein, dass der Fossilbericht dazu lückenhaft ist. Sie sehen die Landformen daher als Werk eines Schöpfers an. Beschreiben Sie die mögliche Entgegnung eines Evolutionsbiologen auf diese Kritik.

Die Aussage des Kreationisten, dass es sich um das Werk eines Schöpfers handelt, ist keine naturwissenschaftliche Aussage, da sie sich nicht beweisen oder widerlegen lässt. Selbst wenn der lückenhafte Fossilbericht durch neue Funde weniger lückenhaft wird, bleibt die Aussage er sei immer noch lückenhaft aus der Sicht des Kreationisten bestehen. Damit bleibt auch die kreationistische Sichtweise, dass es sich um das Werk eines Schöpfers handele bestehen bzw. unwiderlegt.

Für Evolutionsbiologen sind lückenhafte Fossilberichte hingegen unproblematisch und eher Ansporn, den Bericht durch weitere Funde zu vervollständigen. Dadurch wird auch fortwährend die Hypothese, dass sich fischartige Wirbeltiere zu vierfüßigen Landwirbeltieren wandelten, geprüft. Es besteht auch weiterhin die Möglichkeit, dass die Hypothese widerlegt wird. Nach Stand der derzeitigen Funde ist es zwar unwahrscheinlich, dass z. B. die fischartigen Wirbeltiere aus vierfüßigen Landwirbeltieren entstanden sind, sollten aber Neufunde genau dieses nahelegen, werden Evolutionsbiologen ihre Hypothese verwerfen bzw. modifizieren.

A2 Im biblischen Schöpfungsmythos heißt es für den 5. Tag: „Das Wasser soll vor Lebewesen wimmeln, und Flugtiere sollen über der Erde ... fliegen. Und so geschah es ... Und Gott sah, dass es gut war.“ Dies ist eine nicht-naturwissenschaftliche Aussage, da sie sich experimentell weder bestätigen noch widerlegen lässt. Erörtern Sie, ob diese Aussage auch von einem Naturwissenschaftler als wertvoll angesehen werden kann.

Der Ausspruch „Gott sah, dass es gut war“ beinhaltet eine Wertung. Daraus lässt sich ein Auftrag ableiten, die Lebewesen des Wassers und der Erde auch zu bewahren. Der Mensch ist die einzige Art, die für die anderen Lebewesen Verantwortung übernehmen kann und damit diesen Auftrag umsetzen kann. Naturwissenschaftler können durch ihre Erkenntnisse (z. B. Forschungsergebnisse der Ökologie) dazu beitragen, dass dies erreicht wird. Insofern lässt sich daraus auch ein Auftrag an die Naturwissenschaften ableiten.

Kombiniere!

A1 Die Entstehung von Anpassungen beginnt mit zufälligen Mutationen. Kritiker führen oft an, dass Anpassungsprozesse durch Zufälle nicht erklärbar sind. Erläutern Sie, wie die Synthetische Evolutionstheorie das Entstehen von Anpassungen durch Zusammenwirken der drei wichtigsten Evolutionsfaktoren Mutation, Selektion und Rekombination erklärt.

Mutationen erfolgen unabhängig von der Umwelt, zufällig und ungerichtet. So entstehen neue Varianten. Ist eine davon zufällig besser an die bestehenden Umweltbedingungen (z. B. bessere Wärmeisolation bei geringer Umgebungstemperatur) angepasst, hat diese Variante bessere Fortpflanzungschancen. Diese neue genetisch festgelegte Lösung wird so vermehrt an die Folgegenerationen weitergegeben. Durch zufällige Kombination von Varianten bei der sexuellen Fortpflanzung entstehen außerdem Neukombinationen von Merkmalen, die noch besser an die Umweltbedingungen angepasst sein können als jede einzelne Variante für sich. Über viele Generationen fortschreitend wird eine Population allmählich an die Umwelt angepasst.

A2 Der Riesenhirsch (*Megaloceros giganteus*; Skelett zu sehen in Abb. 1) bewohnte in der Eiszeit die offene Tundra. Der Grasfresser wog bis zu 1400 kg und hatte ein Geweih mit einer Spannweite bis zu 4 m. Mit dem Ende der Eiszeit, also zu der Zeit als der Riesenhirsch ausstarb, verwandelte sich die Tundra zunächst teilweise in Sumpfland, danach breitete sich Wald aus. Heute existieren nur erheblich kleinere Hirscharten, wie z. B. der Rothirsch.

a. Erläutern Sie, welche Gründe zum Aussterben des Riesenhirschs geführt haben könnten.

b. Erklären Sie am vorliegenden Beispiel, was Evolutionsbiologen mit „*survival of the fittest*“ beschreiben.

a. Gründe für das Aussterben: Auf dem sumpfigen Boden haben die schweren Tiere Nachteile, z. B. durch Einsinken. Im Wald ist das große Geweih von Nachteil bei der Suche nach Nahrung. Beide Merkmale (Gewicht und Größe des Geweihs) erweisen sich in der neuen Umwelt also als Nachteile, die in Konkurrenz mit anderen Arten zum Aussterben geführt haben könnten.

b. „*Survival of the fittest*“ bezieht sich nicht auf einen „Trainingszustand“. Es leitet sich ab von engl. to fit „passen, anpassen“. Damit ist die Passung bzw. Anpassung an die herrschenden Umweltbedingungen gemeint. Je besser angepasst, desto höher die Fortpflanzungschancen und desto mehr Nachkommen. Fitness meint also die relative Anzahl überlebender Nachkommen eines Individuums im Vergleich zu seinen Artgenossen.

A3 Treten Mutationen spontan und zufällig auf oder werden sie beim Wandel von Umweltbedingungen induziert? Mit dem Bakterien-Experiment in Abb. 3 werden diese Hypothesen experimentell geprüft.

a. Beschreiben Sie die Durchführung und das Ergebnis des Experiments.

b. Beschreiben Sie die aus den beiden Hypothesen resultierenden Prognosen für das Experiment und bewerten Sie die Hypothesen vor dem Hintergrund des Ergebnisses.

a. Eine Bakterienstammkultur wird zur Hälfte auf zwei Kolben B und C verteilt. B wird sofort auf 50 gleiche Anteile verteilt und kultiviert; C wird als Ganzes kultiviert. Die Bakterienzellen teilen sich und bilden erbgleiche Tochterzellen. Nach 24 h wird jeder der 50 Ansätze aus B auf je eine Platte mit Antibiotikum ausgebracht. Der Inhalt von C wird gleichmäßig auf 50 Platten mit Antibiotikum verteilt. Ergebnis: Auf den Platten von B wachsen sehr ungleich viele Kolonien (1 bis ca. 20), während auf denen von C ähnlich viele wachsen (Abbildung: jeweils 4).

b. Hypothese 1: Mutationen treten spontan und zufällig auf.

Resultierende Prognose für das Experiment: Da die Mutationen schon vor dem Experiment aufgetreten sein können, sollte die Anzahl resistenter Kolonien auf den antibiotikahaltigen Nährmedien von B sehr unterschiedlich sein (getrennte

Kultivierung der zufälligen Mutanten in den Reagenzgläsern) und in denen von C sehr ähnlich (Durchmischung der gemeinsam kultivierten Mutanten vor der Ausbringung auf die Nährmedien).

Hypothese 2: Mutationen werden beim Wandel von Umweltbedingungen induziert.

Resultierende Prognose für das Experiment: Erst durch den Wechsel der Umweltbedingungen, d.h. beim Übertragen der Bakterien auf die Nährböden mit Antibiotika, kommt es zu den Mutationen. Daher sollten auf allen Nährböden mit gleicher Wahrscheinlichkeit spontan mutierte Bakterien zu Kolonien heranwachsen. Daher sollte sowohl bei B als auch bei C eine ähnliche Anzahl von Kolonien auf allen Platten auftreten. Bewertung: Hypothese 1 ist gestützt, Hypothese 2 ist widerlegt.

A4 Auf der kleinen indonesischen Insel Flores wurden „Hobbit-Menschen“ entdeckt. Sie werden der ausgestorbenen Menschenart *Homo erectus* (165 cm, 65 kg) zugewiesen, sind jedoch viel kleiner (106 cm, 28 kg) und kamen anscheinend nur auf Flores vor. Man vermutet, dass ihr Zwergenwuchs selektionsneutral war. Geben Sie eine mögliche evolutionsbiologische Erklärung für das Entstehen der „Hobbit-Menschen“.

Da die „Hobbit-Menschen“ nicht auf dem Festland, sondern auf einer kleinen Insel entdeckt wurden, könnte der selektionsneutrale Zwergenwuchs mit Gendrift erklärbar sein. Möglicherweise gab es auf dem Festland Varianten, nämlich Zwergindividuen, die auf die Insel gelangten (Vertreibung durch Konkurrenz mit großwüchsigeren Formen; Zufall), während „normalwüchsige“ Individuen nicht dorthin gelangten. Auf der Insel etablierte sich dann der Zwergenwuchs, da per Zufall keine Individuen mit „Normalwuchs“ dorthin gelangten.

S. 295 **18.1** Natürliche Selektion führt zu Kompromisslösungen

A1 Auch in unserem Alltag hindern Trade-offs uns daran, „alles zu haben“. Erklären Sie am Beispiel des Taschengelds, was ein Trade-off ist. Zeigen Sie, dass dadurch z. B. eine individuelle Vielfalt an Elektronik, Kleidung und Sportaktivitäten erzeugt wird.

Wie gebe ich mein Taschengeld aus? Was ich in ein Kleidungsstück investiert habe, fehlt mir für ein Computerspiel. Wer eine Sportausrüstung braucht, wird weniger Geld für Musikinstrumente übrig haben. Jeder verfolgt so seine eigene Investitionsstrategie. Es erklärt die individuelle Vielfalt in Kleidung, Elektronik, Sportaktivitäten usw.

Hinweis: Fixkosten sind irrelevant – sie reduzieren das Budget für den eigentlichen Trade-off. Wenn Kosten fix sind, habe ich für deren Anteil keine Wahlfreiheit mehr. Deshalb kann ich sie genauso gut gleich abziehen und mich nur fragen, wie ich den Rest verteilen werde. Das ist der eigentliche Trade-off.

A2 Die meisten Fischarten sind Freilaicher, d. h. sie geben Ei- und Spermienzellen ins freie Wasser ab. Die im Atlantik und Mittelmeer vorkommenden Meerbarbenkönige befruchten jedoch die befruchteten Eier und Jungtiere im Maul. Beschreiben Sie das Maulbrüten als Teil eines Trade-offs für diese Fische. Viele Nachkommen sind für jedes Individuum ein Vorteil. Beim Maulbrüten müssen diese Nachkommen aber im Maul bebrütet werden. Diese Maulbebrütung läuft der Notwendigkeit zuwider, dass sich das maulbrütende Individuum auch ernähren muss. Es muss also einen Kompromiss geben zwischen der im Vergleich zum Freilaicher relativ sicheren Bebrütung im Maul und der Zeit, die ein Individuum benötigt, um sich selbst zu ernähren, d. h. ohne Brut im Maul Nahrung aufzunehmen.

S. 296 **18.2** Wechselwirkungen zwischen Arten erzeugen hohe Selektionsdrücke

A1 Erklären Sie, warum Prozesse der Koevolution verglichen mit der Evolution durch abiotische Umweltfaktoren dynamischer sind.

Abiotische Umweltfaktoren, z. B. eine tiefe Temperatur, können lange konstant sein. Arten werden diesem Konstantwert des Umweltfaktors z. B. durch Evolution eines isolierenden Fells angepasst. Biotische Umweltfaktoren, wie z. B. die Inhaltsstoffe einer Pflanze, können sich immer wieder ändern. Sobald z. B. ein Fressfeind eine Resistenz gegen einen Inhaltsstoff entwickelt hat, werden solche Pflanzen positiv selektiert, die durch Mutationen zufällig einen andern giftigen Inhaltsstoff aufweisen. Diese Änderung der biotischen Umweltfaktoren führt dazu, dass Koevolution ein relativ dynamischer Prozess ist.

A2 Die Hummel-Ragwurz, eine einheimische Orchideenart (→ Abb.), ahmt mit einem Blütenblatt den Geschlechtspartner von Hummeln nach. Außerdem sendet sie einen Stoff aus, der dem Sexuallockstoff der Hummeln entspricht. Erklären Sie, wie diese Merkmale der Hummel-Ragwurz durch Koevolution entstanden sind. Der Fortpflanzungserfolg von insektenbestäubten Pflanzen hängt u. a. davon ab, wie erfolgreich die Bestäuberinsekten angelockt werden können. Die Bestäuberinsekten ihrerseits besuchen die Blüte nicht, um sie zu bestäuben, sondern um Nektar zu bekommen. Eine Pflanze, die mit einem Blütenblatt eine weibliche Hummel imitiert und dazu noch den Sexuallockstoff dieser Art aussendet, wird deutlich mehr Hummeln anlocken als eine Pflanze, die diese Merkmale nicht aufweist. Beide Merkmale bedeuten für die Pflanze eine erhöhte Bestäubungswahrscheinlichkeit und damit einen höheren Fortpflanzungserfolg. Daher wurde auf

diese Merkmale positiv selektiert. Über die Reihenfolge ihrer Entstehung lässt sich nichts aussagen; auch über die Anpasstheiten bei der Hummel (z. B. besondere Mundwerkzeuge, um an den Nektar zu gelangen) lassen sich keine Aussagen treffen.

S. 298 18.3 Männchenkonkurrenz fördert die Evolution von Kraft, Ausdauer und Waffen

A1 Erläutern Sie am Beispiel des Hirschgeweihs (→ Abb. 1c), warum natürliche Selektion und sexuelle Selektion gegenläufig wirken können.

Sexuelle Selektion: Die sexuelle Selektion (hier: intrasexuelle Selektion) selektiert auf Männchen mit besonders großem Geweih. Diese gehen aus Rivalenkämpfen um Weibchen mit höherer Wahrscheinlichkeit siegreich hervor und haben damit einen höheren Fortpflanzungserfolg.

Natürliche Selektion: Ein großes Geweih erfordert für sein Wachstum einen hohen Energiebedarf. Es erfordert für seinen Träger einen erhöhten Energiebedarf zum Tragen und kann zudem beim Bewegen in strukturreicher Umgebung (z. B. Wald) sehr hinderlich sein.

A2 Erläutern Sie, warum Männchen aus Sicht der intrasexuellen Selektion untereinander oft um Weibchen konkurrieren, aber Weibchen untereinander selten um Männchen.

Weibchen produzieren nur wenige Eizellen. Ihnen reicht daher bei vielen Arten ein einziger Sexualpartner, um bereits zu ihrem maximalen Fortpflanzungserfolg zu kommen. Männchen hingegen produzieren fortwährend eine extrem hohe Anzahl von Spermienzellen. Sie können mit jeder neuen Partnerin ihren Fortpflanzungserfolg enorm steigern. Daher besteht zwischen den Männchen eine sehr viel stärkere Konkurrenz als unter den Weibchen.

S. 300 18.4 Partnerwahl durch Weibchen fördert die Evolution von Prachtmerkmalen

A1 Die Kernaussage zur intersexuellen Selektion lautet: „Weibchen wählen bevorzugt prächtige Männchen als Partner, obwohl diese von der natürlichen Selektion eigentlich benachteiligt sein müssten“. Nennen Sie die Gründe für dieses Verhalten aus evolutionsbiologischer Sicht.

Prächtige Männchen sind von der natürlichen Selektion benachteiligt, weil sie z. B. anhand ihrer auffälligen Farbe von Fressfeinden leichter entdeckt werden können. Weibchen wählen diese Männchen trotzdem, weil ihre Pracht ein Signal für „gute Gene“ ist. Die Signale könnten z. B. Gesundheit oder gute Ernährung und daher mögliche Investition „überschüssiger Energie“ in Prachtmerkmale bedeuten.

A2 Experimente mit Schwertträgern, einer Fischart (→ Abb.), haben gezeigt, dass Weibchen Männchen umso mehr bevorzugen, je länger ihr „Schwert“ ist (eine Verlängerung der Schwanzflosse). Sogar kleinere Männchen mit langem, auch aufgeklebtem Schwert werden bevorzugt. Erklären Sie diesen Befund aus evolutionsbiologischer Sicht. Beschreiben Sie ein Folgeexperiment mit Schwertträgern, das durchgeführt werden müsste, um das Konzept der intersexuellen Selektion an diesem Beispiel zu belegen.

Die Weibchen wählen die Männchen mit längerem Schwert, weil die Länge des Schwerts ihnen ein kräftiges und gesundes Männchen signalisiert. Es ist so „erfolgreich“, dass es noch Ressourcen „übrig“ hat, die es in ein prächtiges Schwert investieren kann. Es bleibt allerdings offen, ob die Länge des Schwerts wirklich ein guter Anzeiger z. B. für Gesundheit ist. Daher könnte man z. B. vergleichend prüfen,

ob die Nachkommen von Männchen mit längerem Schwert „gesünder“ sind (z. B. höhere Überlebensrate) als die von Männchen mit kürzerem Schwert.

S. 301 **18.5** Jedes Paarungssystem fördert andere Geschlechterunterschiede

A1 Ordnen Sie den folgenden Arten jeweils ein mono- oder polygames Paarungssystem zu: Gibbon (ca. 100%), Orang-Utan (ca. 200%), Gorilla (200 – 250%), Schimpanse (ca. 135%); Mensch (ca. 115%). Angegeben ist jeweils das Körpergewicht im männlichen Geschlecht in Prozent des Körpergewichts im weiblichen Geschlecht.

Es gilt die Regel: Polygame Arten zeichnen sich durch einen besonders deutlichen Sexualdimorphismus aus. In den angegebenen Beispielen ist das für den Orang-Utan und den Gorilla deutlich der Fall, während der Gibbon als monogam einzustufen ist. Über den Schimpansen lässt sich schwer eine Aussage treffen; der Mensch scheint eher eine monogame Art zu sein.

A2 Vergleichen Sie die drei Paarungssysteme Promiskuität, Monogamie und Polygamie hinsichtlich folgender Merkmale: Sexualdimorphismus in Form von „Stärke“, Sexualdimorphismus in Form von „Pracht“, Beitrag männlicher Individuen zur Brutfürsorge, Vielfalt durch genetische Rekombination.

	Promiskuität	Monogamie	Polygamie
Sexualdimorphismus in Form von „Stärke“	deutlich	kaum ausgeprägt	bei Polygynie
Sexualdimorphismus in Form von „Pracht“	deutlich	kaum ausgeprägt	Polyandrie: prächtige Weibchen; auch bei Polygynie
Beitrag männlicher Individuen zur Brutfürsorge	kein Beitrag	hoher Beitrag durch beide	nur bei der Polygynie („Vielmännerei“)
Vielfalt durch genetische Rekombination	hoch	gering beim eigenen Nachwuchs (da immer dieselben Eltern)	eher gering (da nur wenige Individuen sich fortpflanzen)

Kombiniere!

A1 Der Westamerikanische Rauhautmolch (*Taricha granulosa*; → Abb. 1a) produziert in seiner Haut ein Nervengift, das Tetrodotoxin (TTX). TTX ist ein wirksamer Abwehrstoff gegen Fressfeinde, da es zu tödlichen Lähmungen führt. Die Strumpfbandnatter (*Thamnophis sirtalis* b) ist der einzige Fressfeind, der eine Resistenz gegen TTX aufweist. Nach dem Fressen muss die Natter für einige Stunden in eine Art Ruhestadium übergehen. Bei Untersuchungen an Populationen von Rauhautmolchen und Strumpfbandnattern erhielt man die in Abb. 2 gezeigten Ergebnisse.

a. Beschreiben Sie die Untersuchungsergebnisse.

b. Räuber-Beute-Systeme sind Musterbeispiele für Koevolution. Erläutern Sie den vorliegenden Koevolutionsprozess in Abb. 2, ausgehend von ungiftigen Arten bis hin zu dem bei den Populationen 4 und 5 beobachteten Zustand.

a. Die *Taricha*-Populationen 1 und 2 weisen kein TTX auf; die *Thamnophis*-Populationen an diesem Standort weisen eine sehr geringe Resistenz auf. Von Population 3 zu 5 steigt der Gehalt an TTX in der Haut von *Taricha* an und parallel dazu steigt die Resistenz gegenüber TTX bei *Thamnophis* auch an.

b. Steigt in einer Population bei Einzelindividuen von *Taricha* z. B. zufällig der Gehalt an TTX, so werden diese Individuen nicht gefressen und haben eine höhere Zahl an Nachkommen. Nun werden Schlangenindividuen begünstigt, die eine hohe Resistenz haben bzw. Neumutationen mit erhöhter Resistenz aufweisen. Dieser evolutionäre Wettlauf setzt sich durch immer höhere Werte, wie sie in Population 5 beobachtet werden, fort.

A2 Im Zusammenhang mit Koevolution wird häufig ein Buchzitat angeführt. Darin sagt eine Rote Königin: „Hierzulande musst du so schnell rennen, wie du kannst, wenn du am gleichen Fleck bleiben willst.“ Erläutern Sie, warum diese sogenannte „Rote-Königin-Hypothese“ als zutreffende Beschreibung von Koevolutionsprozessen angesehen werden kann.

Stillstand würde aus evolutionsbiologischer Sicht bedeuten, dass es keine neuen Varianten gibt. Nur durch „Laufen“ gibt es neue Varianten, allerdings geht es dann einer Population nicht besser, weil eine zweite Art (z. B. ein Fressfeind) ebenfalls neue Varianten hervorbringt, also „mitläuft“. Das „Laufen“ ist also notwendig, führt aber nicht dazu, dass es einer Population besser geht, sondern nur dass es ihr nicht schlechter geht („am gleichen Fleck bleiben“).

A3 Wassertreter (→ Abb. 3) sind arktische Schnepfenvögel, bei denen die oft vorherrschenden Geschlechterrollen vertauscht sind: Die Weibchen sind größer und intensiver gefärbt als die Männchen. Sie besetzen Reviere, drohen Rivalinnen und kämpfen mit Schnabelhieben um Männchen. In ausgedehnten Balzflügen werben sie stundenlang um Männchen. Die Männchen brüten und versorgen die Küken. Erklären Sie die bei Wassertretern beobachteten Verhaltens- und Farbmerkmale mithilfe der sexuellen Selektion.

Intrasexuelle Selektion: Weibchen drohen und kämpfen mit Schnabelhieben. Das ist das typische Verhalten desjenigen Geschlechts, das das höhere Fortpflanzungspotenzial hat. In diesem Falle sind es die Weibchen. Sie kümmern sich nicht um das Gelege und die Brut und können sich daher mit mehreren Männchen verpaaren. Letzteren hingegen ist nur ein Gelege pro Brutsaison möglich, da es ihnen nicht möglich wäre sich um mehrere Gelege zu kümmern und mehr Nachwuchs aufzuziehen.

Intersexuelle Selektion: Das brütende Geschlecht — hier das Männchen — wählt bevorzugt den Partner aus, der durch Balz und Ornament besondere biologische Fitness signalisiert. Daher evolvieren bei den Wassertretern eher die Weibchen ein Prachtkleid.

A 4 Männchen der Stichlinge weisen zur Balzzeit eine auffällige rote Färbung im Keh- und Bauchbereich auf (→ Abb. 4). Weibchen bevorzugen bei der Fortpflanzung intensiver gefärbte Männchen.

a. Erklären Sie, warum die rote Balzfärbung aus Sicht der Evolutionstheorie als Kompromiss oder Trade-off betrachtet werden muss.

b. Stichlinge sind anfällig gegenüber Infektionen mit Bandwürmern. An 20 Männchen, die jeweils mit demselben Weibchen verpaart wurden, hat man die in Abb. 4 dargestellten Daten gewonnen. Werten Sie diese Daten vor dem Hintergrund der intersexuellen Selektion aus.

a. Je intensiver rot gefärbt das Männchen ist, desto auffälliger wird es für Fressfeinde. Aber die intensive Färbung erhöht auch gleichzeitig seine Chancen bei Weibchen. Die Aspekte „Tarnung“ und „Attraktivität“ laufen sich also zuwider; zwischen beiden muss ein Kompromiss gefunden werden (Trade-off).

b. Die Grafik zeigt, dass die Infektionswahrscheinlichkeit bei Nachfahren der Stichlinge sinkt, je intensiver gefärbt das männliche Elterntier war. Die Rotfärbung steht also tatsächlich für „gute Gene“. Mit der Wahl eines prächtigen Männchens wählen Weibchen also auch einen genetisch guten Fortpflanzungspartner.

19

Die Entstehung von Arten

S. 305 **19.1** Innerhalb von Populationen können Reproduktionsbarrieren entstehen

A1 Bei manchen Singvogelarten, wie z. B. der Mönchsgrasmücke, finden sich lokal verschiedene Balzgesänge (Dialekte), sodass sich die Individuen dieser lokalen Gruppen nur untereinander paaren. Geben Sie an, um welche Reproduktionsbarriere es sich handelt. Begründen Sie.

Es kommt durch den unterschiedlichen Gesang nicht zur Verpaarung und damit auch nicht zur Befruchtung und Bildung einer Zygote. Daher handelt sich um eine präzygotische Barriere und eine Verhaltensisolation (→ Abb. 2 auf S. 305 im Schülerbuch).

A2 Geben Sie an, inwieweit man bei dem Beispiel der Mönchsgrasmücke von zwei verschiedenen Arten sprechen bzw. nicht sprechen kann.

Von zwei Arten würde man erst sprechen, wenn die Individuen beider Arten keine oder keine fruchtbaren Nachkommen hervorbringen. Dies ist bei den Mönchsgraspopulationen aber wahrscheinlich nicht gegeben. Zunächst liegt nur eine Bevorzugung der Partner vor, die denselben „Dialekt“ haben. Das schließt jedoch nicht aus, dass auch eine erfolgreiche Paarung zwischen Individuen mit unterschiedlichen Dialekten stattfinden kann. Ob das möglich ist, ließe sich experimentell prüfen.

S. 306 **19.2** Geografische Isolation kann zu Artbildung führen

A1 Während der Eiszeit sind viele im Wald lebende Arten dem Eis in die verbleibenden Wälder ausgewichen, und zwar einerseits in den östlichen und andererseits in den westlichen Mittelmeerraum. Heute beobachten wir eine ganze Reihe sehr ähnlicher Arten, z. B. die Singvögel Fitis und Zilpzalp. Erklären Sie die Entstehung dieser ähnlichen Arten.

Durch die räumliche Trennung entstanden zwei Populationen einer Ursprungsart, zwischen denen der Genfluss völlig unterbrochen war. Verpaarungen konnten nur innerhalb der Teilpopulationen erfolgen. Durch zufällige Mutationen und gerichtete Selektion veränderten sich diese Populationen unabhängig voneinander (z. B. andere Gefiederfarbe, andere Gesänge). Nach Ende der Eiszeit breiteten sich die beiden Teilpopulationen wieder nach Mitteleuropa aus und begegneten sich. Durch die im Verlauf der Trennung entstandenen Unterschiede war jedoch entweder keine Paarung mit Befruchtung mehr möglich (präzygotische Barriere) oder mögliche Nachkommen waren unfruchtbar. Damit waren durch die geografische Isolation während der Eiszeit zwei (einander ähnliche) Arten entstanden.

A2 Erklären Sie, inwieweit Artbildung durch geografische Isolation zum einen begünstigt, zum anderen aber verlangsamt werden kann.

Bei geografischer Isolation ist eine Hybridisierung ausgeschlossen. Diese unterliegt somit auch nicht der Selektion. Ohne Isolation könnte es diese Hybridisierung geben, die bei negativer Selektion der Nachkommen (z. B. weil sie einen „Mischgesang“ haben, der nun keinem mehr gefällt) schnell dazu führen kann, dass Hybridisierungen ausselektiert werden.

S. 308 **19.3** Neue Arten können sich auch im Gebiet der Elternart bilden

A1 Nennen Sie die Unterschiede zwischen sympatrischer und parapatrischer Artbildung.

Sympatrische Artbildung ist eine Artbildung, die in einem zusammenhängenden Gebiet, d. h. ohne Grenzen erfolgt. Bei der parapatrischen Artbildung gibt es hin-

gegen Grenzen. Diese sind jedoch nicht geografischer Natur, sondern ökologischer Natur, z. B. der Wechsel von Wald zur Steppe oder von Feuchtgebieten zu Trocken-zonen. Die Grenzen wären also überwindbar, sie werden aber von den Populatio-nen nicht überwunden, sodass es nicht zu Hybridisierungen kommen kann.

A2 Charles Darwin war von der Artenvielfalt der Galapagosfinken beeindruckt. Nennen Sie die Bedingungen, die die Bildung einer solchen Vielfalt aus einer Stammart begünstigt haben.

Einwanderung in ein Inselgebiet, auf dem es keine samenfressenden Vogelarten gibt; mehrere Inseln mit sehr unterschiedlicher Vegetation (= unterschiedliches Nahrungsangebot); auch innerhalb einer Insel auf kleinem Raum große ökolo-gische Unterschiede.

S. 309 19.4 Artbildung kann explosiv erfolgen und wiederholt zu Ähnlichem führen

A1 Stellen Sie dar, welche Voraussetzungen eine adaptive Radiation be-günstigen.

Voraussetzung für eine adaptive Radiation ist die Besiedlung eines Gebietes, das zuvor unbesiedelt war (z. B. Besiedlung neu entstandener Seen oder nach Ausster-bekatastrophen). Innerhalb dieses Gebiets gibt es verschiedene Lebensräume (z. B. Sandgrund, Tiefenwasser, Felsküste) mit unterschiedlichen Nahrungsquellen, auf die dann die im Laufe der Radiation entstehenden Arten spezialisiert werden.

A2 Die Säugetierarten Australiens, wie z. B. das Känguru und der Beutelmull, haben eine einzigartige Frühentwicklung: Sie gebären wenige Millimeter kleine Jungtiere, die dann in einem Brutbeutel gesäugt werden. Anders als bei Beuteltie- ren verläuft die Frühentwicklung bei den Säugetierarten anderer Kontinente. Sie ernähren den Nachwuchs sehr lange in der Gebärmutter über die Plazenta und gebären dann weit entwickelte Jungtiere. Ein Brutbeutel fehlt. Der australische Beutelmull sieht dem europäischen Maulwurf sehr ähnlich. Erläutern Sie, ob diese Ähnlichkeit auf Verwandtschaft oder auf Konvergenz beruht.

Da der Beutelmull in seiner Frühentwicklung den anderen Beuteltieren ähnelt und der Maulwurf den anderen Plazentatieren, zeigt dies an, dass der Beutelmull innerhalb der Verwandtschaftsgruppe der Beuteltiere, der Maulwurf innerhalb der Verwandtschaft der Plazentatiere einzuordnen ist. Die Ähnlichkeiten zwischen Beutelmull und Maulwurf gehen somit nicht auf gemeinsame Abstammung, son- dern auf eine Anpasstheit an die Lebensweise, also auf ökologische Konvergenz zurück.

S. 311 19.5 Biologen nutzen verschiedene sich ergänzende Artbegriffe

A1 Jeder der drei Artbegriffe nutzt andere Kriterien zur Beurteilung, welche Individuen zu einer Art gehören. Erstellen Sie eine Übersicht zu diesen verschiede- nen Kriterien.

Morphologischer Artbegriff: Kriterium der morphologischen Ähnlichkeit, v. a. in fortpflanzungsrelevanten Merkmalen, d. h. z. B. weniger in der Färbung der Indivi- duen als z. B. vielmehr in der Morphologie der Fortpflanzungsorgane.

Biologischer Artbegriff: Kriterium der Fortpflanzungsfähigkeit und Fruchtbarkeit. Diese Kriterien zeigen an gleichzeitig lebenden Organismen eine Artzugehörigkeit an. Sie sind (wenn auch aufwendig) einer experimentellen Prüfung zugänglich.

Phylogenetischer Artbegriff: Kriterium der gemeinsamen Abstammung bzw. der Rückführung auf einen gemeinsamen Vorfahren (z. B. rekonstruierbar über DNA-Vergleiche).

A2 DNA-Analysen haben eine große Bedeutung, wenn es um die Frage geht, welche Individuen zu einer Art gehören. Erklären Sie.

Mit DNA-Analysen konnte man zeigen, dass Individuen, die äußerlich derselben Art zugehörig erscheinen, doch unterschiedlichen Arten zuzuordnen sind (sog. kryptische Arten). Die eigentliche Vielfalt wird daher erst auf DNA-Ebene sichtbar.

S. 312 19

Kombiniere!

A1 Nachtigall und Sprosser (→ Abb. 1) sind zwei sehr ähnliche Vogelarten. Die Nachtigall lebt westlich der Elbe, der Sprosser östlich der Elbe. Es gibt ein kleines Gebiet, in dem beide Arten vorkommen. Trotz ihrer Ähnlichkeit beobachtet man jedoch keine Kreuzungen. Nennen Sie mögliche Gründe für die reproduktive Isolation der zwei Arten.

Wenn keine Kreuzungen beobachtet werden, muss es eine Barriere geben, die das verhindert. Das können zum Beispiel Unterschiede im Balzverhalten oder im Gesang sein, die verhindern, dass sich Individuen beider Arten verpaaren.

A2 Die Spechtarten Grünspecht und Grauspecht (→ Abb. 2) kommen in ganz Europa vor. Der Grünspecht hat einen Verbreitungsschwerpunkt im Westen, der Grauspecht im Osten. Beide Arten benötigen Waldhabitate. Aufgrund ihrer Ähnlichkeit geht man davon aus, dass sich beide Arten im Laufe der letzten Eiszeit aus einer Vorläuferart entwickelten.

a. Erläutern Sie anhand der in Abb. 3 gezeigten Vegetationszonen während der letzten Eiszeit, wie es zur Artaufspaltung in Grünspecht und Grauspecht gekommen sein könnte. Beziehen Sie auch die Angaben im Text mit ein.

b. Begründen Sie, ob es sich um einen allopatrischen, parapatrischen oder sympatrischen Artbildungsprozess gehandelt hat.

a. Textangabe: Beide Arten kommen in Waldhabitaten vor; damit wohl auch ihre Vorläuferart. Abbildung 3: Verbliebene Waldhabitate im Südosten und Südwesten Europas waren während der letzten Eiszeit geografisch getrennt. Während der räumlichen Trennung entwickelten sich die Ost- und Westpopulation durch zufällige Mutationen und gerichtete Selektion unterschiedlich. Nach Ende der Eiszeit trafen die Arten in Mitteleuropa wieder aufeinander, jedoch hatte sich eine reproduktive Barriere (z. B. unterschiedliche Gefiederfarbe, unterschiedlicher Gesang) ausgebildet.

b. Da die verbliebenen Waldhabitate im Südosten und Südwesten Europas während der letzten Eiszeit geografisch getrennt waren, muss es sich um eine allopatrische Artbildung handeln.

A3 Die Insel Madagaskar war zur Zeit des großen Artensterbens vor ca. 65 Millionen Jahren bereits von anderen Landmassen isoliert. In der etwa 400 km breiten Meerenge zwischen Afrika und Madagaskar liegen noch einige kleinere Inseln. Madagaskar weist mit Regenwald, Trockenwald, Küste, Halbwüsten, Sümpfen und Hochland verschiedene Lebensräume auf. Die Tierwelt hat viele Besonderheiten, wie zum Beispiel die etwa 100 Lemurenarten (→ Abb. 4). Lemuren sind Halbaffen, die nur auf Madagaskar vorkommen. Erläutern Sie die Gründe, die zur Verbreitung und Vielfalt der Lemuren geführt haben.

Im vorliegenden Fall sind die typischen Bedingungen für eine adaptive Radiation erfüllt: Vorfahren der Lemuren sind möglicherweise auf die isolierte Insel gelangt. Dort gab es vielfältige ökologische Bedingungen (Regenwald, Trockenwald, Küste, Halbwüsten, Sümpfe und Hochland) und aufgrund des vorausgehenden Artensterbens fehlende Konkurrenz, sodass sich für die verschiedenen ökologischen Nischen etliche Arten ausbilden konnten.

Hinweis: Auf dem Festland gab es für die Lemuren offensichtlich stärkere Konkurrenz, sodass dort keine derartige Radiation zu beobachten ist.

A4 Wissenschaftler führen den Neandertaler aufgrund seiner besonderen Morphologie als Nachfahren der Art *Homo erectus* in Europa als eine eigene Menschenart. 2016 zeigte eine DNA-Studie, dass es zwischen *Homo sapiens* (moderner Mensch) und *Homo neanderthalensis* (Neandertaler) einen genetischen Austausch gegeben haben muss.

a. Definieren Sie die Begriffe morphologische, biologische und phylogenetische Art.

b. Diskutieren Sie, ob moderner Mensch und Neandertaler vor dem Hintergrund der Befunde und nach den unterschiedlichen Artkonzepten als eine oder zwei Arten anzusehen sind.

a. Morphologische Art: Arten sind Gruppen von Individuen, die sich anhand morphologischer Merkmale (= Gestaltmerkmale) zuverlässig voneinander unterscheiden lassen; biologische Art: eine Gruppe von Individuen, die sich verpaaren und fruchtbare Nachkommen haben. Eine solche Fortpflanzungsgemeinschaft ist genetisch von anderen Gruppen isoliert und evolviert als Einheit; phylogenetische Art: Eine Art ist die gesamte Gruppe von Individuen, die über einen bestimmten Zeitraum auf einen gemeinsamen Vorfahren zurückgeführt werden kann.

b. Nach den vorliegenden Befunden der DNA-Studie können sie nicht als zwei biologische Arten angesehen werden. Wegen der morphologischen Unterschiede könnte man sie aber weiterhin als zwei morphologische Arten ansehen. Für eine Aussage über den phylogenetischen Artbegriff liegen im vorliegenden Beispiel zu wenig Informationen vor.

S. 315 **20.1** Fossilfunde belegen den evolutiven Wandel der Organismen

A1 Das 1909 entdeckte „Hockergrab“ von Combe Capelle in Frankreich gilt als bedeutendes Zeugnis des frühen *Homo sapiens* in Europa. Man hatte die Funde gemäß ihrer Lage in den Sedimentschichten auf ein Alter von 30 000 Jahren geschätzt. Mit der Radiokarbonmethode erhielt man 2011 an einem Knochenstück einen Wert von 35% der normalen Radioaktivität. Bewerten Sie dieses Ergebnis. Mithilfe der Abb. 2 auf S. 314 lässt sich abschätzen, dass 35% der normalen auf ^{14}C zurückgehenden Radioaktivität auf ein Alter von 8 000 – 10 000 Jahren schließen lässt. Dies widerspricht der Abschätzung nach der Lage im Sediment. Zwischen Sedimentschichten kann es zu Verfrachtungen kommen. Daher ist die absolute Datierung über die Radiokarbonmethode als verlässlicher anzusehen.

A2 Eine besondere Leistung der Paläontologie ist es, durch Fossilatierung die zeitliche Abfolge von Veränderungen im Laufe der Evolution zu rekonstruieren. Beschreiben Sie diese Abfolge am Beispiel der Evolution der Wältiere.

Anhand des Verzweigungsmusters in Abb. 3 auf S. 315 ergibt sich die folgende zeitliche Abfolge:

1. Zeitraum vor ca. 55 – 50 Mio. Jahren: Übergang zur halbaquatischen Lebensweise, Verlust des Fells
2. Zeitraum vor ca. 48 – 46 Mio. Jahren: Entwicklung der folgenden äußeren Merkmale: Schwanzfluke, flossenartige Vordergliedmaßen, Verlagerung der Nasenlöcher auf Kopfoberseite
3. Zeitraum vor ca. 46 – 45 Mio. Jahren: allmähliches Verschwinden der Hintergliedmaßen
4. Zeitraum vor ca. 42 – 40 Mio. Jahren: Komplettverlust der Hintergliedmaßen

S. 317 **20.2** Manche Arten zeigen evolutive Übergänge besonders deutlich

A1 Erklären Sie, welche Schwächen die Begriffe „lebendes Fossil“ und „Brückentier“ aufweisen.

Lebendes Fossil: Der Begriff legt nahe, dass eine Art über lange Zeiträume unverändert geblieben ist und so bis heute überlebt hat. Das trifft jedoch in der Regel nicht zu, da heute lebende Arten natürlich immer auch „junge“ neu entwickelte Spezialmerkmale aufweisen, die Anpassungen an ihren aktuellen Lebensraum darstellen. Ein „lebendes Fossil“ ist eher als eine Art zu beschreiben, die noch einzelne, jedoch auffällige ursprüngliche Merkmale bewahrt hat.

Brückentier: Der Begriff legt nahe, dass es sich um Übergangsformen handelt. Aber „Brückentiere“ wie *Archaeopteryx* sind keine direkten Vorfahren, sondern ausgestorbene Seitenäste auf dem Weg zu den heutigen Vögeln.

A2 Definieren Sie, was man unter einem Vertreter einer Stammgruppe versteht, und nennen Sie Beispiele aus der Evolution der Wältiere (→ Abb. 3, S. 315). Zur Stammgruppe einer Verwandtschaftsgruppe zählen alle fossilen Vertreter die mindestens ein, aber nicht alle abgeleiteten Merkmale aufweisen, durch die die rezenten Vertreter der Verwandtschaftsgruppe (Kronengruppe) gekennzeichnet sind. Beispiele für Stammgruppenvertreter der Wale sind z. B. *Ambulocetus*, *Basilosaurus*, *Dorudon*.

S. 320 **20.3** Durch Merkmalsvergleiche wird die Stammesgeschichte rekonstruiert

A1 Man spricht von Sexualdimorphismus, wenn sich die männlichen Vertreter einer Art deutlich von den weiblichen in Merkmalen unterscheiden, die nicht die Geschlechtsorgane betreffen. Der wenig ausgeprägte Sexualdimorphismus (→ M4 in Abb. 1 und 2) ist das abgeleitete Merkmal, mit dem die Schwesterartbeziehung von Mensch und Schimpanse begründet wird. Erläutern Sie, warum der Verlust des Sexualdimorphismus als abgeleiteter Zustand gelten kann, während ein ausgeprägter Sexualdimorphismus als ursprünglich angesehen wird.

Sowohl in der Außengruppe als auch bei Orang-Utan und Gorilla liegt ein ausgeprägter Sexualdimorphismus vor (→ M4 in Tabelle von Abb. 1 auf S. 318). Dieser Zustand muss daher als ursprünglich gelten. Der Sexualdimorphismus muss daher beim letzten gemeinsamen Vorfahren von Mensch und Schimpanse verloren gegangen sein und stellt gegenüber dem Vorhandensein den abgeleiteten Zustand dar.

A2 Sowohl Schimpanse als auch Gorilla laufen bei der Fortbewegung auf der Rückseite der mittleren Fingerglieder. Diesen typischen Knöchelgang weist sonst keine andere Menschenaffen- oder Primatenart auf. Prüfen Sie, ob das Ergebnis der Stammbaumanalyse aus Abb. 1 bei Berücksichtigung dieses Merkmals verändert wird.

Wenn man dieses Merkmal als M7 in der Stammbaumanalyse berücksichtigt, ergibt sich: In die Stammbaumhypothese 1 ließe es sich widerspruchsfrei als abgeleitetes Merkmal für Schimpanse und Gorilla integrieren (neben M2 und M3). Insgesamt wird Stammbaumhypothese 1 dann durch 10 Schritte erklärt. In die Stammbaumhypothese 2 ließe es sich nicht widerspruchsfrei integrieren. Es müsste als M7 unabhängig auf der Linie zum Gorilla und auf der Linie zum Schimpansen erscheinen. Alternativ könnte es auch hier neben M2 und M3 erscheinen, dann jedoch müsste es auf der Linie zum Menschen wieder verloren gegangen sein. In jedem Fall sind zwei Schritte notwendig. Insgesamt wird Stammbaumhypothese 2 dann durch 7 Schritte erklärt. In der Bilanz bleibt Stammbaumhypothese 2 immer noch deutlich sparsamer als Stammbaumhypothese 1. Daher ist ihr der Vorzug zu geben.

S. 322 **20.4** Molekulare Stammbäume revolutionieren die Evolutionsbiologie

A1 Nennen Sie Vorteile und Nachteile, die molekulare Stammbäume gegenüber morphologischen Stammbäumen haben.

Vorteile: Es können viele tausend Basen verglichen werden, bis hin zu ganzen Genomen, je nach Art entsprechend den Informationen von Millionen bis Milliarden Nucleotiden.

Nachteile: Da man nicht weiß, wofür ein einzelnes Nucleotid in der DNA steht, weiß man auch nicht, welche morphologischen Veränderungen durch die Änderung in den Nucleotiden entstehen. Mit molekularen Stammbäumen kann man daher evolutionären Wandel im Körperbau nicht verfolgen und Anpassungen an die Umwelt nicht studieren.

A2 Prüfen Sie, ob durch die in Abb. 2 dargestellten Stammbäume die DNA-Unterschiede an Position 16, 17 bzw. 18 in Abb. 1 widerspruchsfrei erklärt werden können.

Position 16: widerspruchsfreie Erklärung möglich: C muss als ursprünglich angesehen werden. Nur beim Orang-Utan hat sich das C in T verändert. Für beide Stammbaumhypothesen in Abb. 2 würde dies einen Mutationsschritt mehr bedeuten

Position 17: keine widerspruchsfreie Erklärung möglich: T muss als ursprünglich angesehen werden. Beim Orang-Utan und beim Menschen muss es unabhängig voneinander zu C verändert worden sein. Für beide Stammbaumhypothesen in

Abb. 2 würde das zwei Mutationsschritte mehr bedeuten.

Position 18: widerspruchsfreie Erklärung möglich: A kann als ursprünglich angesehen werden. Beim letzten gemeinsamen Vorfahren der vier Menschenaffenarten hat es sich in C verändert. Für beide Stammbaumhypothesen in Abb. 2 würde dies einen Mutationsschritt mehr bedeuten.

S. 323 20.5 Atavismen und Rudimente verdeutlichen den evolutiven Wandel

A1 Das Steißbein bildet beim Menschen das untere Ende der Wirbelsäule nach dem Kreuzbein. Es wird als Beispiel für einen Atavismus und als Beispiel für ein Rudiment genannt. Erklären Sie am Steißbein die Unterschiede von Atavismus und Rudiment.

Rudimentäre Organe sind Organe, die im Laufe der Evolution bei einer Art reduziert wurden, von denen aber noch Relikte erkennbar sind. Im Falle des Steißbeins handelt es sich um das Relikt einer ehemals längeren Schwanzwirbelsäule, die nun beim Menschen verkürzt ist. Dieser rudimentäre Zustand ist also ein „Normalzustand“ und kommt bei allen Individuen einer Art vor. Ein Atavismus hingegen bezeichnet einen seltenen und nur bei Einzelindividuen zu beobachtenden veränderten Zustand, bei dem es einen Rückfall in Richtung des stammesgeschichtlichen Vorläufers gegeben hat. Im Falle des Steißbeins ist das dann gegeben, wenn bei einer Einzelperson ein zu einem „Schwanz“ verlängertes Steißbein vorliegt.

A2 Recherchieren Sie nach Beispielen zu Rudimenten und Atavismen und beschreiben Sie je zwei davon.

Rudiment Beispiel 1: beim Unpaarzehrer Pferd die verkleinerten Griffelbeine (ehemals 2. und 4. Finger) neben dem 3. Finger

Rudiment Beispiel 2: verkleinerter Blinddarm mit Wurmfortsatz beim Menschen

Atavismus Beispiel 1: ein mehr oder weniger vollständiges Haarkleid beim Menschen (sog. „Wolfsmenschen“)

Atavismus Beispiel 2: beim Menschen eine Milchleiste mit mehreren Paaren untereinander angeordneten Brustwarzen statt nur einem Paar von Brustwarzen

S. 325 20.6 Mögliche Schritte von Molekülen zu Urzellen lassen sich im Labor simulieren

A1 Ermitteln und begründen Sie mithilfe des Textes, welche Eigenschaften ein lebendes System mindestens besitzen müsste. Erklären Sie daran, warum man der RNA für die Entstehung des Lebens eine besondere Rolle zuschreibt.

Lebende Systeme benötigen einen Stoffwechsel (Energiebereitstellung z. B. für Wachstum und Vermehrung). Sie benötigen Moleküle, die den Stoffwechsel steuern, z. B. Proteine / Enzyme in den Zellen der rezenten Lebewesen. Um die für den Stoffwechsel und Steuerung der Zelle notwendigen Informationen bei der Teilung an Tochtersysteme weiterzugeben, sind Informations- oder Erbträger notwendig, z. B. die DNA in den Zellen der rezenten Lebewesen.

Die RNA ist ein guter Kandidat, um sowohl die Steuerungsfunktion für den Stoffwechsel zu übernehmen als auch die Erbträgerfunktion. Als Erbträger kann sie Informationen über ihre Nukleotidsequenz codieren (wie eine DNA) und sie ist leicht kopierbar (replizierbar). Entscheidend ist der Nachweis, dass RNA auch eine Enzymfunktion besitzen kann (Ribozyme), wie z. B. die rRNA in den Ribosomen der rezenten Lebewesen. „Normale“ Enzyme haben keine Erbträgerfunktion, die DNA hat keine Enzymfunktion. Daher kommen diese beiden Stoffe im Gegensatz zur RNA nicht für eine Doppelfunktion in Betracht.

A2 Fassen Sie zusammen, welche Kette von Ereignissen im Zeitraum vor 4 bis 2,5 Milliarden Jahren unsere heutige Erde wesentlich geprägt hat.

Vor 4 Milliarden Jahren waren Protozellen mit Membran und Stoffwechsel und replizierbarem Informationsgehalt entstanden. Besondere Bedeutung hat vermutlich die RNA (Ribozyme). Aufeinanderfolgende Vermehrungszyklen mit Translation und Replikation waren möglich, in denen die Protozellen durch zufällige Replikationsfehler immer besser angepasst wurden.

Vor etwa 2,7 Milliarden Jahren entstand bei Cyanobakterien die Fotosynthese, bei der unter Nutzung von Licht energiereiche organische Substanzen aufgebaut werden. Als „Abfallprodukt“ entsteht Sauerstoff, wodurch dessen Gehalt in der Atmosphäre von nahezu Null auf 2–3% anstieg.

Als Folge des steigenden Sauerstoffgehalts wurde bei anderen Bakterien ein aerober Stoffwechsel möglich, bei dem durch Veratmung von Zucker mit Sauerstoff sehr viel Energie in Form von ATP bereitgestellt werden konnte (Zellatmung).

S. 327 20.7 Die Eucyte entstand durch Symbiose von Procyten

A1 Das Antibiotikum Streptomycin wirkt antibiotisch, da es die Proteinbiosynthese an den Ribosomen hemmt. Streptomycin wird daher bei bestimmten durch Bakterien verursachten Krankheiten eingesetzt, z. B. Tuberkulose. Für menschliche Zellen ist es nicht schädlich. Gelangt es jedoch in die Mitochondrien, schädigt es diese. Erklären Sie diesen Befund.

Bei den Ribosomen in den eukaryotischen Zellen des Menschen wirkt Streptomycin nicht, da diese Ribosomen molekular anders aufgebaut sind als die bakterientypischen Ribosomen. Da die Mitochondrien nach der Endosymbiontentheorie jedoch aus ehemals freilebenden Bakterien hervorgingen, enthalten sie noch bakterientypische Ribosomen, auf die das Streptomycin wirkt.

A2 Erläutern Sie, wie die evolutiven Erfolge der Bakterien und deren unterschiedliche Lebensweisen eine notwendige Grundlage für die Entstehung der eukaryotischen Zelle bildeten.

Sowohl die Fotosynthese als auch die Zellatmung sind Stoffwechselwege, die erstmals bei Bakterien entstanden sind. Aus Bakterien, die diese Stoffwechselwege ausführten, entstanden später extrem wichtige Organellen der Eukaryoten, nämlich Chloroplasten und Mitochondrien. Ohne diese Grundlage wäre die heutige „Eukaryotenwelt“ mit sich ergänzenden fotosynthetisierenden (und zellatmenden) Pflanzenzellen und zellatmenden Tierzellen nicht möglich gewesen.

Kombiniere!

A1 Haie besitzen im Kiefer und auf der gesamten Körperoberfläche Placoidschuppen. Im Kiefer sind sie groß und fungieren als Zähne. Am Körper sind sie sehr klein, wodurch sich die Haihaut sandpapierartig anfühlt. Abb. 1 zeigt einen Längsschnitt durch eine Placoidschuppe (links) im Vergleich zu einem menschlichen Zahn (rechts).

a. Erläutern Sie den Begriff Homologie und die Kriterien, die man zur Prüfung auf Homologie anwendet.

b. Begründen Sie, ob Placoidschuppen und Zähne homolog sind.

a. Strukturen sind homolog, wenn sie in der Stammesgeschichte eine gemeinsame Vorläuferstruktur hatten bzw. eine gemeinsame genetische Grundlage haben.

1. Kriterium der Lage: Strukturen sind homolog, wenn sie in einem Gefüge eine vergleichbare Lagebeziehung einnehmen.

2. Kriterium der spezifischen Qualität: Strukturen sind homolog, wenn sie aus den gleichen Baumaterialien aufgebaut sind.

3. Kriterium der Verbindung durch Zwischenformen: Strukturen sind homolog, wenn zwischen ihnen fossile, rezente oder embryonale Zwischenformen existieren.

b. 2. Kriterium trifft eindeutig zu; 1. Kriterium trifft für die Placoidschuppen am Kiefer zu, nicht aber für die Placoidschuppen der Haut. Zum 3. Kriterium liegen keine Daten vor. Man könnte daher sagen, dass die Placoidschuppen der Kiefer unseren Zähnen homolog sind, am übrigen Körper haben wir sie aber im Laufe der Evolution verloren.

A2 Innerhalb der Säugetiere unterscheidet man drei Gruppen. Ihre Verwandtschaft und Merkmale sind in Abb. 2 und 3 dargestellt. Erläutern Sie, welche evolutiven „Neuerfindungen“ die Stammart der Säugetiere und die der Teilgruppe aus Beuteltieren und Plazentatieren ausgezeichnet hat.

Evolute „Neuerfindungen“ der Stammart der Säugetiere: Dies sind die Merkmale, die bei der Außengruppe (Eidechsen) nicht evolviert waren, jedoch bei allen Arten der Säugetiere evolviert sind. Der Tabelle entnimmt man: Körperbedeckung durch Haare, Temperatur gleichwarm und Ernährung der Jungtiere durch Milch der Mutter.

Evolute „Neuerfindungen“ der Stammart der Säugetiere, Teilgruppe aus Beuteltieren und Plazentatieren: Dies sind die Merkmale, die bei der Außengruppe (Eidechsen) und den Schnabeltieren nicht evolviert waren, jedoch bei allen Arten der Beuteltiere und Plazentatiere evolviert sind. Der Tabelle entnimmt man: Lebendgeburt.

A3 Mit der Endosymbionten-Theorie wird die Entstehung der Mitochondrien bei Eucyten erklärt. Abb. 4 zeigt Untersuchungsergebnisse am Bakterium *Escherichia coli* sowie an einer Eucyte und ihren Mitochondrien. Werten Sie die Befunde vor dem Hintergrund der Endosymbionten-Theorie aus.

Die Endosymbionten-Theorie nimmt an, dass Bakterien durch Endocytose von Ur-Eucyten aufgenommen wurden. Das erklärt, warum Mitochondrien eine Doppelmembran aufweisen. Damit entspräche die innere Mitochondrienmembran der Zellmembran einer Bakterienzelle und die äußere Mitochondrienmembran der Zellmembran einer Eucyte. Diese Vorhersage wird durch die Daten in der Tabelle gestützt: Die Zellmembran der Eucyte und die äußere Mitochondrienmembran bzw. die Zellmembran von *E. coli* und die innere Mitochondrienmembran ähneln sich hinsichtlich Membranlipiden und dem Lipid:Protein-Verhältnis.

Außerdem ist nach der Endosymbionten-Theorie zu fordern, dass Mitochondrien hinsichtlich der DNA und der Ribosomen *E. coli* ähneln, nicht aber der Eucyte. Auch diese Vorhersage wird durch die Daten in der Tabelle (Ribosomengröße; Erbmateriale) bestätigt.

S. 331 21.1 Die Wege von Mensch und Schimpanse trennten sich vor sechs Millionen Jahren

A1 Nennen Sie Vertreter der Primaten, der Menschenaffen und der Hominiden und geben Sie für jede Verwandtschaftsgruppe ein oder mehrere Merkmale an, durch die sich die Vertreter auszeichnen.

Zu den Primaten gehören die Halb-, Neuwelt- und Altweltaffen, kleine und große Menschenaffen (Hominiden) sowie der Mensch. Zur Gruppe der Hominiden gehören die großen Menschenaffen und der Mensch. Charakteristisch für die Primaten, die zur Gruppe der Halb-, Neu- und Altweltaffen gehören, ist ihr Schwanz, der ihnen beim Leben in Bäumen hilft. Alle anderen Primaten haben keinen Schwanz. Die Hominiden sind weitestgehend baumlebend, sie haben Greifhände und -füße, bis auf den Menschen.

A2 Nennen Sie die Voraussetzungen im Körperbau, die man als begünstigende Ausgangsfaktoren für die Evolution des Menschen ansieht.

Alle Hominiden leben zeitweise auf zwei Beinen, haben Greiffüße und -hände sowie nach vorne gerichtete Augen, die ihnen ein gutes räumliches Sehen ermöglichen.

S. 333 21.2 Der aufrechte Gang entwickelte sich vor dem größeren Gehirn

A1 Nennen Sie Argumente, die dafür sprechen, dass *Australopithecus afarensis* („Lucy“) auf zwei Beinen ging.

Lucy hatte ein Hinterhauptsloch, das an der Unterseite des Schädels lag. Sie hatte einen Lauffuß und Oberschenkel, die an den Knien zusammenlaufen. Der Körperschwerpunkt lag tief im Körper.

A2 Angenommen, Sie fänden von einem fossilen Hominiden nur Skelettelemente des Oberkörpers und des Schädels, nicht aber des Beckens und der Beine. Erklären Sie, mit welchen Merkmalen Sie trotzdem beurteilen könnten, ob der fossile Vertreter zwei- oder vierbeinig lief.

Einen wichtigen Hinweis liefert die Lage des Hinterhauptslochs. Liegt dies an der Unterseite des Schädels deutet dies auf Zweibeinigkeit hin, da der Schädel so auf der Wirbelsäule balanciert werden konnte. Ebenso deuten eine doppelt S-förmige Wirbelsäule sowie ein flacher Brustkorb auf den aufrechten Gang hin.

S. 335 21.3 Das große Gehirn war entscheidend für den Erfolg der Gattung Homo

A1 Beschreiben Sie die Konkurrenzsituation und die Anpasstheiten der in der afrikanischen Trockensavanne vor etwa 1,5–2 Millionen Jahren vorkommenden Menschenarten.

Paranthropus war ein spezialisierter Pflanzenfresser, der an das Leben in der Trockensavanne besser angepasst war als seine Vorgänger, die Australopithecinen. Die Vertreter der Gattung *Homo* hatten ein deutlich größeres Gehirn als die Vertreter der Gattung *Paranthropus*. Sie waren in der Lage Werkzeuge herzustellen, um an Nahrung zu kommen. Mithilfe des Werkzeuges konnten sie auch fleischliche und damit proteinhaltige Nahrung nutzen. Dies war ein großer Vorteil gegenüber der Gattung *Paranthropus*.

A2 Beim *Homo erectus* vollzogen sich einige entscheidende Weiterentwicklungen, die es ihm ermöglichten, weite Teile der Welt zu besiedeln. Begründen Sie diese Aussage.

Beim *Homo erectus* setzte sich der Trend zu größeren Gehirnen fort. *Homo erectus* war in der Lage Werkzeuge zur Jagd herzustellen und das Feuer für sich zu nutzen. Er konnte deswegen auch in kühleren Gebieten leben.

S. 337 **21.4** Der moderne Mensch besiedelte von Afrika aus die ganze Erde

A1 Die Spuren, die wir von der Besiedlung durch *Homo sapiens* vorfinden, zeugen von seiner fortschreitenden Entwicklung gegenüber seinem Vorfahren *Homo erectus*. Nennen Sie einige Kennzeichen, in denen sich *H. sapiens* gegenüber *H. erectus* offensichtlich ausgezeichnet hat.

Homo sapiens war in der Lage Stein- und Bronzewerkzeuge herzustellen und zu nutzen. Er hinterließ Höhlenmalereien, Musik und andere Kunstgegenstände.

A2 Die Inuit sind die einzige in hohen Breitengraden lebende Bevölkerungsgruppe, die keine helle Hautfarbe evolviert hat. Traditionell nutzen sie Vitamin-D-reiche Nahrungsquellen wie Fisch und Meeressäuger. Zeigen Sie an diesem Befund auf, warum Hautpigmentierung kein Kriterium für Verwandtschaft ist. Die Hautfarbe stellt eine Anpasstheit einer Gruppe des *Homo sapiens* an das Leben in einer bestimmten Region unter bestimmten Bedingungen dar. Da die Inuit eine zuverlässige Vitamin-D-Quelle in ihrer Nahrung erschlossen hatten, war es für sie ein Selektionsvorteil dunkle Haut zu evolvierten, um die Zersetzung des Vitamin Bs durch die Sonneneinstrahlung zu verhindern. Es lassen sich aber keine weiteren Rückschlüsse von der Hautfarbe auf andere Unterschiede zwischen den verschiedenen Bevölkerungsgruppen ziehen.

S. 339 **21.5** Die Weitergabe erworbener Fertigkeiten führt zu kultureller Evolution

A1 Sowohl bei der natürlichen Evolution als auch bei der kulturellen Evolution entstehen neue Merkmale. Erläutern Sie, warum diese sich bei der kulturellen Evolution viel schneller ausbreiten können als bei der natürlichen Evolution. Bei der kulturellen Evolution erfolgt die Weitergabe neuer Merkmale auch horizontal zwischen Nichtverwandten und damit deutlich schneller. Das weitergegebene Wissen basiert nicht auf genetischer Vererbung, sondern auf Lernen. Kulturelle Evolution betrifft hauptsächlich das Verhalten, und im Gegensatz zur natürlichen Evolution, nicht die Änderungen z.B. in der Morphologie.

A2 Erklären Sie die folgende Aussage: Bei kulturell vererbten Merkmalen können die Erben entscheiden, ob sie das Erbe annehmen oder nicht, bei natürlich vererbten Merkmalen nicht.

Natürliche Merkmale sind genetisch im Erbgut codiert, sodass sie auf jeden Fall ausgeprägt werden. Bei kulturell vererbten Merkmalen durch Lernen können die Lernenden selbst entscheiden, ob sie z. B. eine Fähigkeit beibehalten wollen oder nicht.

S. 340 **21.6** Die Menschheit des 21. Jahrhunderts evolviert weiter

A1 Belegen Sie mithilfe geeigneter Argumente, warum der Genetiker Steve Jones unrecht hat.

Der Mensch unterliegt genau wie alle anderen Lebewesen Einflüssen der natürlichen Evolutionsfaktoren wie Mutationen, Rekombination und Selektion. Durch die Unterschiede bei den Überlebenschancen von Neugeborenen und Kleinstkindern

in Industrienationen und weniger entwickelten Staaten ist der Fortpflanzungserfolg unterschiedlich groß. Außerdem sorgt die Bevölkerungsexplosion für einen größeren Selektionsdruck, v.a. hinsichtlich der Ernährung, sodass sich neue Eigenschaften, wie die Milchzuckerträglichkeit ausgebildet haben.

A2 Erläutern Sie, welche Konsequenz die Behandlung von genetisch bedingten Krankheiten, an denen unsere Vorfahren noch früh gestorben sind, für die Evolution des Menschen haben könnte.

Die Behandlung genetisch bedingter Krankheiten ermöglicht die Weitergabe und damit die Verbreitung der krankmachenden Gene. Während unsere Vorfahren früh an diesen Krankheiten starben und ihre Gene somit nicht weitergeben konnten, kann die natürliche Selektion, die schließlich zum Verlust der nachteiligen Gene führen würde, durch den heutigen medizinischen Fortschritt und die Behandlung der Krankheiten nicht mehr greifen. Diese Krankheiten können sich damit trotz Selektionsnachteil in der heutigen Bevölkerung ausbreiten. Genetische Defekte nehmen somit zu, bis die medizinische Versorgung eventuell nicht mehr Schritt halten kann.

S. 341 21.7 Mensch und Schimpanse haben unterschiedliche Genaktivitätsmuster

A1 Nennen Sie Unterschiede und Gemeinsamkeiten in der Genaktivität von Mensch, Schimpanse und Rhesusaffe.

Mensch und Schimpanse haben in Leber- und Blutzellen eine ähnliche Genaktivität, die des Rhesusaffen weicht hingegen davon ab. Vergleicht man die Genaktivität in den Gehirnen haben Schimpansen und Rhesusaffen eine deutlich höhere Ähnlichkeit. Der Mensch unterscheidet sich stärker von beiden.

A2 Ähnliche Muster der Genaktivität sind ein Ausdruck genetischer Verwandtschaft. Begründen Sie diese Aussage.

Die Genaktivität wird durch regulatorische Faktoren gesteuert, die selbst von bestimmten Genen codiert werden und die in der DNA festgelegt sind. Bei der Fortpflanzung können diese Gene vererbt werden. Die Genaktivität wird dann in den Folgegenerationen von diesen Faktoren ähnlich reguliert und ist somit ein Ausdruck genetischer Verwandtschaft.

Kombiniere!

A1 *Homo erectus* war der erste Vorfahre des modernen Menschen, der Afrika verlassen hat und Teile der Welt besiedelte. Nicht nur darin unterscheidet er sich von seinen Vorläufern der Gattung *Australopithecus*. Vergleichen Sie Merkmale der Gattungen *Homo* und *Australopithecus* hinsichtlich ihrer Gemeinsamkeiten und Unterschiede.

Gemeinsamkeiten: aufrechter Gang, Nutzung von pflanzlicher und tierischer Nahrung → menschliches Gebiss

Unterschiede: *Homo* hat größeres Gehirn, nutzt Werkzeuge zum Nahrungserwerb, insgesamt größerer Körper, Nutzung des Feuers, Besiedlung einiger Teile der Erde von Afrika aus

A2 Ein europäischer Nachfahre des *Homo erectus* ist der Neandertaler. An seinen Fundorten (→ Abb. 1) finden sich eher einfache Steinwerkzeuge zur Jagd (→ Abb. 2). *Homo sapiens* war hingegen auch in der Lage, aus Fischgräten Angeln und Spitzen für Pfeile und Harpunen zu bauen sowie Schmuckstücke aus Knochen, Schnecken und Eierschalen herzustellen. Die Schmuckstücke in Abb. 3 sind trotzdem von Neandertalern angefertigt worden. Sie fanden sich in einer Höhle, in der *H. sapiens* und *H. neanderthalensis* nachweislich zeitgleich gelebt haben.

a. Geben Sie eine mögliche Erklärung, wieso manche Neandertaler die Fähigkeit hatten, sehr hochwertige Schmuckstücke anzufertigen.
b. Nennen Sie Belege für eine zeitweilige gemeinsame Existenz von Neandertaler und *Homo sapiens*.

a. Neandertaler und *Homo sapiens* lebten gemeinsam an einem Ort. Der Neandertaler, der ein ähnlich großes Gehirn hatte wie der *Homo sapiens*, hat sich die Fähigkeiten zur Herstellung von Schmuckstücken beim *Homo sapiens* abgeschaut.

b. Es gibt gemeinsame Fundorte von Skeletten. *Homo sapiens* trägt Gene des Neandertalers in sich, d.h. es muss gemeinsame Nachkommen gegeben haben.

A3 Schon frühe Vertreter des *Homo sapiens* haben an vielen Orten der Erde Zeugnisse ihrer Anwesenheit hinterlassen, z. B. in Form von Höhlenmalereien (→ Abb. 4).

a. Nennen Sie die grundlegenden Mechanismen der kulturellen Evolution.

b. Nennen Sie mögliche Gründe, die *Homo sapiens* hatte, solche Malereien anzufertigen.

c. Beschreiben Sie die Bedeutung der kulturellen Evolution für *Homo sapiens* und seine Ausbreitung.

a. Der Begriff kulturelle Evolution beschreibt die Weitergabe von erlernten Verhaltensweisen und Fähigkeiten. Diese Weitergabe geschieht nicht nur von Generation zu Generation, sondern auch innerhalb von Generationen. Dabei können die Individuen aktiv auswählen, welche Fähigkeit sie übernehmen und welche nicht.

b. Diese Höhlenmalereien dienten der Gemeinschaft und Identifikation untereinander. Die Menschen hatten Bilder und Vorstellungen von sich und ihrer Kultur, genauso wie von ihrer Umwelt. Die Höhlen dienten als Zufluchtsort und waren damit so etwas, wie „Heimat“, die gestaltet wurde.

c. *Homo sapiens* war und ist es möglich, erlernte Fähigkeiten weiterzugeben. Damit kann Wissen sehr schnell vermittelt werden. *Homo sapiens* gelang es so, die Umwelt an sich anzupassen und mithilfe von Werkzeugen und Techniken sein Überleben, auch in überlebensfeindlichen Umgebungen, zu sichern.

A4 Formulieren Sie eine evolutionsbiologische Hypothese, warum *Homo sapiens* überlebte und der Neandertaler ausstarb. Berücksichtigen Sie dabei auch körperliche Unterschiede.

Homo sapiens und der Neandertaler waren beide sehr fortschrittlich und sehr gut an ihre Lebensweisen angepasst. *Homo sapiens* hat allerdings von Wissen und Fähigkeiten profitiert, die dem Neandertaler nicht zur Verfügung standen. Somit hatte er eine höhere Fitness und konnte den Neandertaler verdrängen.

Abi-Training

A1 Der auffällige Kehlsack (→ Abb. 1a) macht die Männchen für Fressfeinde leichter erkennbar. Geben Sie eine evolutionsbiologische Erklärung für die Entstehung eines solchen Merkmals.

Der Nachteil der guten Sichtbarkeit (z. B. für Fressfeinde) wird durch Fortpflanzungsvorteile ausgeglichen. Prachtmerkmale wie der Kehlsack erhöhen die Attraktivität für einen Fortpflanzungspartner. Sie werden bevorzugt von dem Geschlecht ausgebildet, das sich mehrfach verpaaren kann (typischerweise die Männchen). Das andere Geschlecht wählt bevorzugt den Partner aus, der durch Balz und Ornamente besondere biologische Fitness signalisiert (intersexuelle Selektion).

A2 Erläutern Sie mithilfe von Abb. 1c und d, wie anhand von DNA-Sequenzen Stammbäume erstellt werden. Begründen Sie, warum die drei Arten von Jamaika eine Abstammungsgemeinschaft bilden und warum unter ihnen die Arten *A. grahami* und *A. valencienni* Schwesterarten bilden.

DNA-Sequenzen der drei Anolis-Arten werden mit denen einer (nah verwandten) Außengruppe verglichen. Anhand der Unterschiede die man für alle oder einige Vertreter der drei Anolis-Arten gegenüber der Außengruppe findet, lässt sich die Verwandtschaft rekonstruieren. Aus Abb. 1c geht hervor, dass unter den drei Anolis-Arten die Arten *A. grahami* und *A. valencienni* Schwesterarten bilden. Anhand der DNA Sequenz lässt sich das an zwei Stellen auch belegen: An Position 6 steht A bei der Außengruppe und *A. lineatopus*. Es mutierte zu T bei der Stammart von *A. grahami* und *A. valencienni*. An Position 7 mutierte ein T zu A. Die Abstammungsgemeinschaft der drei Anolis-Arten lässt sich nur anhand einer Position belegen: Bei der Stammart der drei Arten mutierte T an Position 3 zu C.

A3 Diskutieren Sie mithilfe der Angaben aus dem Text und den Abb. 1b und c, ob es sich bei den karibischen *Anolis*-Arten um eine adaptive Radiation handeln könnte.

Unter adaptiver Radiation versteht man die Entstehung einer Vielzahl von Arten innerhalb geologisch kurzer Zeit. Günstige Bedingungen für eine Radiation sind vielfältige ökologische Bedingungen und wenig Konkurrenz. Beides könnte für die Anolis-Arten auf der karibischen Inselgruppe zutreffen. Zudem bieten die Inseln zahlreiche geografisch gut voneinander getrennte Besiedlungsräume (vgl. Galapagos-Inseln). Die heute beobachtete Situation von 150 Arten, die sich ökologisch sehr diversifiziert haben (→ Abb. 1b) spricht dafür, dass eine adaptive Radiation vorlag. Ob diese in einem kurzen geologischen Zeitraum vonstattenging, lässt sich mit den vorliegenden Angaben nicht belegen.

A4 Bereits wenige Jahre nach der Ansiedlung von *A. sagrei* im Gebiet von *A. carolinensis* beobachteten die Forscher ein Ausweichen von *A. carolinensis* in höher gelegene Baumbereiche mit dünnerem und beweglicherem Geäst (→ Abb. 2a). Bei ihren Untersuchungen 2010 erhoben sie Daten zur Haftscheibe an den Zehen von *A. carolinensis* (→ Abb. 2b und c). Erläutern Sie die Befunde im Sinne der Synthetischen Evolutionstheorie.

Innerhalb von 15 Jahren hat bei *A. carolinensis* offensichtlich eine transformierende Selektion zu einem Zeh mit größerer Haftscheibe und mehr Lamellen (→ Abb. 2b, c) stattgefunden. Dies lässt sich mithilfe der Selektionstheorie wie folgt erklären: Nachdem *A. carolinensis* offensichtlich aufgrund direkter Konkurrenz in höhere Baumbereiche mit „wackligem“ Geäst verdrängt wurde, hatten diejenigen Individuen einen Selektionsvorteil, die dort besonders sicheren Halt finden konnten. Eine größere Haftscheibe mit mehr Lamellen ist also von Vorteil. Wenn diese Individuen einen größeren Fortpflanzungsvorteil haben und sich das Merkmal vererbt, dann wird der Anteil der entsprechenden Allele in der Population zunehmen und es treten immer mehr Individuen mit größerer Haftscheibe und mehr Lamellen auf. (Beeindruckend ist die kurze Zeit, in der das im vorliegenden Beispiel erfolgt.)