

Biologie 9. Klasse im LehrplanPLUS

Evolution

Thomas Nickl, März 2021

Hinweis: ggf. erst nach den wirbellosen Tieren besprechen (vgl. Allgemeine Vorbemerkungen, Abschnitt e).

Bekenntnis: Das vorliegende Skript enthält beinahe mehr Hintergründe und Hinweise für die Lehrkraft als Textstellen, die sich auf den tatsächlichen Unterricht beziehen. Der Hauptgrund dafür liegt bei dem immer größer werdende Einfluss von Evolutions-Gegnern, eine Tatsache, die bei Planung und Durchführung der Stunden unbedingt zu berücksichtigen ist. Außerdem ist es nicht ganz einfach, das komplexe Stoffgebiet auf ziemlich wenige Lerninhalte und Fachbegriffe zu reduzieren (dazu gibt es relativ viele Hinweise im vorliegenden Skript). Und schließlich wollte ich das eine oder andere Detail unterbringen, das nicht unbedingt in den Unterricht einfließen muss, aber als Hintergrund-Wissen interessant und vielleicht hilfreich sein kann.

Inhalt:

[Allgemeine Vorbemerkungen](#)

[Zeitplan](#)

[3 Evolution](#)

[3.1 Ähnlichkeiten zwischen den Arten](#)

[3.1.1 Ähnlichkeit bei lebenden Arten](#)

[3.1.2 Ähnlichkeit bei ausgestorbenen Arten](#)

[3.1.3 Fossile Abstammungsreihen](#)

[3.1.4 Brückentiere](#)

[3.2 Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung](#)

[3.3 Erklärung für Vielfalt und Ähnlichkeit](#)

[3.3.1 Die genetische Variabilität](#)

[3.3.2 Die natürliche Selektion](#)

[3.3.3 Die geographische Isolation](#)

[3.3.4 Die erweiterte Evolutionstheorie: Überblick und Beispiel\(e\)](#)

Allgemeine Vorbemerkungen und Warnungen vor schlimmen Fallstricken

Evolution – „bloß eine Theorie“?

Forschungsergebnisse zur Funktion des Herz-Kreislauf-Systems werden von der breiten Mehrheit problemlos akzeptiert (wenn auch nur von einer Minderheit verstanden). Ganz anders bei der Evolution: Evolutions-Leugner beabsichtigen, wissenschaftliche Erkenntnisse zu bloßen Glaubensinhalten zu degradieren, die auf keinen Fall eine höhere Plausibilität hätten als nicht evidenzbasierte Vorstellungen wie z. B. die Schöpfungsgeschichte in der Bibel (welche allerdings metaphorisch zu verstehen ist und nicht als naturwissenschaftliche Beschreibung). Davon abgesehen gibt es in anderen Religionen ganz andere Schöpfungsgeschichten. Sie alle entspringen dem kaum bezwingbaren Drang des Menschen, für alles und jedes ein Denkmodell, eine Erklärung besitzen zu wollen.

Evolution, also die Veränderungen der Arten in kleinen Schritten, ist eine Tatsache, die durch eine überwältigende Menge an Evidenzen belegt ist. Sie zu leugnen zeugt von Unkenntnis bzw. Unverständnis. Ebenso gut könnte man den Wechsel von Tag und Nacht leugnen (denn in der Polarnacht geht die Sonne ja nicht auf) oder die Schwerkraft (die Menschen in der ISS schwe-

ben immerhin schwerelos umher). Die erweiterte Evolutionstheorie wird belegt durch sehr viele Untersuchungen aus sehr vielen Wissensgebieten; es dürfte keine Theorie geben, die über mehr Belege verfügt. Sie ist als echte Naturwissenschaft nicht dogmatisch, sondern offen gegenüber neuen Belegen. In Details wird deshalb auch ständig nachgebessert. Aber es gibt (bislang) keine Beweise gegen die Grundprinzipien der Evolutionstheorie. (Auch wenn es Fundamentalisten gibt, die behaupten, sie besäßen eine fossile Platte, auf der neben Dinosaurierspuren auch Fußabdrücke von Menschen zu sehen wären.)

Der Begriff „**Theorie**“ wird in diesem Zusammenhang von vielen Menschen missverstanden. Im Alltag haftet dem Wort etwas Vages, Unverbindliches an: „In der Theorie mag das alles ja ganz nett sein, aber in der Praxis ...“. In den Naturwissenschaften wird der Begriff völlig anders verwendet. Ziemlich weit unten in der Hierarchie der Plausibilität steht dort die Hypothese, die noch ihrer Überprüfung harrt, ganz oben steht die Theorie. Sie ist ein System aus vielen Hypothesen, die in sehr großem Umfang verifiziert wurden und bei denen keine widersprechenden Belege aufgetreten sind. In der Alltagssprache würde man so etwas eine bewiesene Tatsache oder schlicht die Wahrheit nennen.

Evolutionstheorie und religiöser Glauben widersprechen sich nicht, denn das wissenschaftliche Gedankenkonstrukt sagt nichts über Gott aus und das religiöse bietet keine naturwissenschaftlichen Erklärungen. Der führende britische Evolutionsbiologie Richard Dawkins ist bekennender Atheist, der österreichische Biologie Gerhard Haszprunar (der die Zoologische Staatssammlung München leitet) ist dagegen gläubiger Katholik – beide halten leidenschaftliche Vorträge für die Evolutionstheorie und gegen Evolutions-Leugner.

Letztere argumentieren: Was gut zusammen stimmt, setzt einen intelligenten Schöpfer voraus, der vorausschauend plant. Das klingt deshalb plausibel, weil es in der menschlichen Kultur in der Regel genau so funktioniert. Sie nennen das Prinzip verschleiern: *intelligent design*. Dazu muss man wissen, dass *intelligent* im Amerikanischen nicht genau das gleiche bedeutet wie im Deutschen und auch Schattierungen wie „stimmig, passend“ einbezieht.

Unintelligent design: Linsenaugen von Tintenfischen und Wirbeltieren sehen zum Verwechseln ähnlich aus, aber bei den einen verlaufen die Axone (in „intelligenter“ Weise) direkt nach hinten Richtung Gehirn, bei den anderen ziehen sie erst mal vom Gehirn weg nach vorne und machen einen Knick, um am Blinden Fleck endlich Richtung Gehirn umzulenken. Solche Phänomene, die einem „intelligenten Design“ völlig zuwider laufen, gibt es haufenweise. Haszprunar nennt sie *unintelligent design*. Eine Erklärung durch einen intelligent planenden Schöpfer ist hier nicht plausibel; die Evolutionstheorie hat dagegen mit einer plausiblen Erklärung keine Probleme, weil sie bestehende Strukturen aus ihrer Entstehungsgeschichte erklärt (die Schicht mit den Sehsinneszellen hat bei Tintenfischen ontogenetisch einen ganz anderen Ursprung als bei Wirbeltieren).

Schüler mit Vorurteilen gegenüber der Evolutionstheorie

Evolutions-Leugnern stellen teilweise gewaltige Mittel zur Verfügung, um ihre *fake news* oder *alternative facts* auf verschiedenen Wegen zu verbreiten. Deshalb gibt es Schüler, welche die Evolutionstheorie für eine Lüge oder einen Irrglauben halten (z. B. Zeugen Jehovas). Auch diese Schüler müssen ihr Gesicht wahren können. Wie bei der Gentechnik gilt auch hier: Wer die biologischen Inhalte nicht annehmen will, der sollte sie zumindest kennen. Es kann allerdings durchaus beängstigend wirken, wenn man die Evolutionstheorie widerlegen möchte, dafür aber keine Belege findet. Und so eine Angst kann dazu führen, auf stur zu schalten und nicht mehr mitzudenken. Ein positiver Umgang mit solchen Schülern ist eine große Herausforderung!

Weniger ist mehr!

Acht Stunden sind eine sehr begrenzte Zeit. Es ist deshalb kaum möglich, irgendwelche Aspekte anzusprechen, die im LehrplanPLUS nicht ausdrücklich verlangt sind. In der Mittelstufe ist beispielsweise keine Zeit für historische Betrachtungen: Lamarck und Darwin finden ihren Platz erst in der Oberstufe. Der LehrplanPLUS führt ausdrücklich **nur die „erweiterte Evolutionstheorie“** auf und zwar „als die naturwissenschaftliche Erklärung zur Entstehung der Arten“ – nicht als „eine“, sondern als „**die**“ (einzige). Wenn beispielsweise Lamarck oder Darwin nur kurz gestreift würde (statt eingehend behandelt), könnte der Eindruck entstehen, dass auch die Biologie unterschiedliche Evolutions-Modelle hätte, zwischen denen man je nach Geschmack und persönlichen Vorlieben wählen könnte.

Der LehrplanPLUS zählt drei Evolutionsfaktoren konkret auf, die zu thematisieren sind; von Homologie und Analogie ist dagegen nichts zu lesen. Es ist wesentlich effektiver, wenn die geforderten Inhalte verstanden werden und dadurch auch plausibel erscheinen, als dass zu viele Aspekte mit zu vielen Fachbegriffen angesprochen werden, die dem Skeptiker dann eher wie ein Ablenkungsmanöver vorkommen statt wie überzeugende Argumente.

Vorwissen der Schüler

Das Vorwissen der Schüler hängt stark davon ab, wie intensiv im bisherigen Biologieunterricht die Prinzipien der Evolution angewendet wurden. Bereits in der 5. Klasse sollte das Prinzip der Angepasstheit eine große Rolle gespielt haben. In der 6. Klasse sollte unter den Gesichtspunkten Variabilität und Angepasstheit die Biodiversität bei Wirbeltieren klar geworden sein (LehrplanPLUS, Lernbereich 1.3). Außerdem sollten die Schüler Wirbeltierarten aufgrund von Gruppenmerkmalen den fünf Klassen zuordnen können und die Grundzüge der Evolution verstehen (LehrplanPLUS, 6. Klasse, Lernbereich 1.4: „mögliche Vorteile durch variierte Merkmale“ und „Züchtung“). Dies gelingt erfahrungsgemäß nicht immer gleich gut.

Im Idealfall kennen die Schüler folgende Aspekte der Evolutionstheorie aus der Unterstufe:

- Wirbeltiere zeigen vielfältige Ähnlichkeiten und Unterschiede und zwar in Abstufungen.
- Ein Teil der Ähnlichkeiten wird erklärt durch Angepasstheit an gleiche Anforderungen (Struktur-Funktions-Prinzip). Beispiele: Schnelle Läufer haben lange Beine, Tagjäger haben einen sehr guten Sehsinn, schnelle Schwimmer besitzen Stromlinienform usw. Aus diesem Gedanken wird in der 9. Klasse das Prinzip der natürlichen Selektion entwickelt. (Eigentlich umgekehrt: Langbeinige Tiere können schnell laufen usw.)
- Ein anderer Teil der Ähnlichkeiten lässt sich nicht über Angepasstheiten erklären. Solche Ähnlichkeiten werden mit Verwandtschaft erklärt. Beispiel: Bei schnellen Schwimmern gibt es unterschiedliche Hautbedeckungen wie Knochenschuppen und Schleimhaut bei Knochenfischen, Hautzähne auf glatter Haut bei Knorpelfischen, nackte Haut bei Molchen, Federn bei Pinguinen, Haare bei Robben und Hornschuppen bei Seeschlangen. Dieser Gedanke wird weiter vertieft: Phänomen des „evolutionären Wandels“ und daraus folgend die „Entstehung der biologischen Vielfalt“.
- Grundbauplan des Skeletts bei der Wirbeltier-Extremität: 1 Oberarmknochen, 2 Unterarmknochen (Elle, Speiche), viele Mittelhandknochen, 5 Mittelhandknochen, 3 x 5 Fingerknochen. Verwendung z. B. bei der „fossilen Abstammungsreihe“.
- Variabilität bei der Wirbeltier-Extremität: Greifhand (Mensch), Laufbein (Pferd), Grabbein (Maulwurf), Flosse (Seehund, Ente), Flügel (Fledermaus, Taube)
- Zuordnung von Wirbeltierarten zu Klassen aufgrund ihrer charakteristischen Gruppen-Merkmale

- Methoden der Züchtung durch den Menschen und Vergleich mit natürlicher Evolution; mögliche Vorteile durch variierte Merkmale

Lernbereiche umstellen?

Die Evolutionstheorie beantwortet (weitgehend) die Frage, warum es so eine große Variabilität innerhalb der Arten gibt. Um sich diese Frage überhaupt stellen zu können, muss man zumindest eine Ahnung von dieser Vielfalt haben. Deshalb kann es sinnvoll sein, wenn die Schüler zunächst die Vielfalt bei den wirbellosen Tieren und deren – im Vergleich zu den Wirbeltieren – teilweise völlig anderen Strategien gegenüber den Anforderungen der Umwelt kennen lernen. Nur in Schulklassen, bei denen die Vielfalt der Angepasstheiten bereits in der Unterstufe großes Staunen und damit die Frage nach ihrer Herkunft hervorgerufen hat, würde ich die Reihenfolge aus dem LehrplanPLUS belassen. (Gegenargument: Wenn die Schüler die wesentlichen Evolutionsfaktoren bereits kennen gelernt haben, können sie diese bei den wirbellosen Tieren gleich in der Fachsprache anwenden.)

Zeitplan

Der LehrplanPLUS sieht für den Lernbereich 4 „Evolution“ ca. 8 Unterrichtsstunden vor. Diese Zeitvorgabe bedingt eine massive Begrenzung der Lerninhalte, kann dann aber problemlos eingehalten werden. Die folgende Tabelle zeigt einen Vorschlag für einen Zeitplan:

Nummer	Abschnitte	Stunden
3.1	Ähnlichkeiten zwischen den Arten	2
3.2	Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung	1
3.3	Erklärung von Vielfalt und Ähnlichkeit	5
	Summe	8

3 Evolution (8 h)

evolvere, lat.: entwickeln (im Sinne eine eher langsamen, kontinuierlichen Entwicklung im Gegensatz zur Revolution, einem plötzlichen Umsturz)

Wiederholung bzw. Evaluation des Vorwissens (sollte möglichst einige Wochen vor dem Einstieg in das Thema erfolgen, damit das Unterrichtskonzept ggf. auf das Vorwissen der Schüler abgestimmt werden kann). Die Umfrage kann anonym durchgeführt und anschließend von der Lehrkraft ausgewertet werden; über einen Code erhält jeder Schüler sein eigenes Exemplar zurück, um es bei der Besprechung selbst zu verbessern.

Arbeitsblatt: Vorwissen zur Evolution: [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

3.1 Ähnlichkeiten zwischen den Arten (2 h)

Inhalte zu den Kompetenzen	Kompetenzerwartungen: Die Schülerinnen und Schüler ...
Belege des evolutionären Wandels: fossile Abstammungsreihe, Brückentiere	<i>vergleichen Lebewesen und deren Merkmale kriteriengeleitet, um Rückschlüsse auf die Ursachen von Ähnlichkeiten zu ziehen (Lernbereich 1).</i>
Vorwissen: Jgst. 6 Biologie , Lernbereich 1.4: Verwandtschaft der Wirbeltiere und Evolution	Weiterverwendung: Oberstufe: Evolution; Verhaltensökologie – Evolution und Angepasstheit von Verhalten

Am Anfang der Lerneinheit über Evolution sollte das evolutive Ergebnis stehen, also die Vielgestaltigkeit der Angepasstheiten. Dabei fallen Ähnlichkeiten zwischen unterschiedlichen

Arten auf, die entweder durch Anpasstheiten bedingt sind (über Selektionsfaktoren) oder durch Verwandtschaft. Erst aus der Betrachtung dieser Phänomene entwickelt sich die Frage nach den Ursachen und Mechanismen, die zu ihrer Ausgestaltung führen. Deshalb setze ich Ähnlichkeiten bei rezenten und fossilen Arten an den Anfang.

3.1.1 Ähnlichkeit bei lebenden Arten

Fakt:

- Beim Vergleich lebender Tierarten stellt man eine Fülle von Ähnlichkeiten fest.

Erklärungen: je nach Typ der Ähnlichkeit

- Ähnlichkeit aufgrund ähnlicher Anforderungen
- Ähnlichkeit aufgrund gemeinsamer Vorfahren

Hinweise:

Dieses Vorwissen aus der 6. Klasse wird kurz wiederholt und mit jeweils ein, zwei konkreten Beispielen gesichert. Diesem Aspekt wird eine eigene Überschrift gewidmet, um der Momentaufnahme rezenter Ähnlichkeiten die Veränderung von Ähnlichkeiten in der Erdgeschichte augenfällig gegenüber zu stellen.

3.1.2 Ähnlichkeit bei ausgestorbenen Arten

Fossilien (das Fossil; *fossa*, lat.: der Graben; *fossilis*, lat.: ausgegraben) sind Zeugnisse vergangener Lebewesen wie deren Knochen und Zähne, Körperumrisse, Fußabdrücke usw.

Die fossilen Arten werden mit lebenden Arten verglichen. Dadurch können Aussagen über das Aussehen und die Lebensweise der ausgestorbenen Arten gemacht werden.

Durch verschiedene physikalische Methoden ist es möglich, das Alter der Fossilien zu bestimmen.

Fakten:

- Zu jedem Zeitpunkt in der Vergangenheit stellt man auch beim Vergleich der damals lebenden Tierarten eine Fülle von Ähnlichkeiten fest.
- Arten aus früheren Zeiten sind heute lebenden Arten umso ähnlicher, je weniger Zeit vergangen ist, seit sie gelebt haben.

Erklärungen:

- zu Fakt 1: Auch in früheren Zeiten der Erdgeschichte unterlagen die Arten den gleichen Gesetzmäßigkeiten wie heute.
- zu Fakt 2: Arten verändern sich mit der Zeit, aber nicht sprunghaft, sondern allmählich.

Die allmähliche Veränderung von Arten im Lauf der Zeiten nennt man den evolutionären Wandel.

3.1.3 Fossile Abstammungsreihen

Hinweis: Auch wenn einem hier sofort die „Pferdereihe“ als klassisches Beispiel einfallen mag, halte ich sie für problematisch, weil sie suggeriert, dass dabei jede der dargestellten Arten direkt aus der unmittelbar früheren Art hervorgegangen wäre. Richtig ist, dass wir vermutlich nur Fossilien von Seitenzweigen kennen. Dazu kommt, dass die Funde auf verschiedenen Kontinenten gemacht wurden. Und manche Evolutionsbiologen bezweifeln, dass die frühesten Fossilien aus dieser Reihe überhaupt zu pferdeähnlichen Gruppen gehören. Dies alles wird von Evolutions-Leugnern gerne als Argument verwendet, um Abstammungsreihen generell abzu-

lehnen (beim Stichwort „Pferdereihe“ tauchen bei Google ganz vorne auch kreationistische Webseiten auf!).

Weil Fossilisierung ein seltener Vorgang ist und weil die meisten Fossilien noch gar nicht gefunden worden sind, gibt es wohl keine einzige halbwegs vollständig fossil belegte Abstammungsreihe. Es gibt aber eine große Menge an Fossilien, oft von der gleichen Gegend, die eine allmähliche Abwandlung der Art-Merkmale mit der Zeit belegen, auch wenn dabei mehr Lücken als Belege auftauchen. Dabei handelt es sich meist um Lebensformen, die Schülern so fremd sind, dass sie deren evolutiven Wandel so gut wie nicht nachvollziehen können (etwa bei Ammoniten).

Gut geeignet für den Unterricht sind die fossilen Wale. Seit Mitte der 1990er-Jahre wurden davon etliche bis dahin unbekannte Formen ausgegraben. In der folgenden Tabelle ist selbstverständlich keine Abstammungsreihe im engeren Sinn dargestellt, sondern vermutlich Vertreter von Seitenzweigen der Entwicklung, die aber eine Abstammungsreihe plausibel machen und gleichzeitig zeigen, dass sich nicht alle Zweige gleich schnell verändert haben.

Heutige Wale haben einige spezifische Gruppenmerkmale, die nur bei ihnen zu finden sind. Eines davon ist der besondere Bautyp des Mittelohrs mit seinen Gehörknöchelchen. Daran lässt sich *Pakicetus* den Walen zuordnen.

Die folgende Tabelle enthält eine große Fülle von Angaben. Treffen Sie eine Auswahl, die Ihrem Unterricht entspricht.

Gattung	Zeit / Fundort	Besonderheiten
Pakicetus	vor 50 Mio. a Pakistan	Größe wie ein Wolf; lange Schnauze; 4 Laufbeine (Landtier); Backenzähne und Ohr wie bei Zahnwalen; Nasenlöcher über den Schneidezähnen (typisch Landsäugetier)
Ambulocetus (entdeckt 1995)	vor 49 Mio. a Pakistan	3 m lang; 4 an das Wasserleben angepasste Extremitäten, Fortbewegung an Land wohl nicht möglich; langgestreckte Schnauze; Nasenlöcher und Augen weit oben; Ohr wie bei modernen Walen
Peregocetus	vor ca. 43 Mio. a Peru	4 m lang; 4 an das Wasserleben angepasste Extremitäten; (Urwale waren über den damals noch schmalen Atlantik nach Amerika gelangt; Nord- und Südamerika hingen noch nicht zusammen)
Rodhocetus (2 Arten: 1994 bzw. 2001 beschrieben)	vor 47 Mio. a Pakistan	4 an das Wasserleben angepasste Extremitäten (feingliedrige Finger- und Zehenknochen deuten auf Schwimmhäute hin), aber bereits deutlich verkürzt;
Basilosaurus	vor 41-35 Mio. a Nordamerika, Europa, Asien, Afrika	18 m lang; winzige Hinterbeine ohne Funktion für die Fortbewegung; Vorderbeine zu Flossen umgestaltet
Dorudon	ca. 40 Mio. a Nordafrika, USA	5 m lang; winzige Hinterbeine ohne Verbindung zum Becken; Vorderbeine zu Flossen umgestaltet

Auswertung:

- Lage der Nasenlöcher: bei Pakicetus noch ganz vorne, bei Ambulocetus bereits oben auf dem Schädel; bei heutigen Walen Blasloch in der Schädelmitte oben

- Verkürzung der Hinterextremitäten, die bei heutigen Walen fast vollständig fehlen (nur noch Reste des Beckens und des Oberschenkelknochens liegen zusammenhanglos in der Muskelmasse)
- Umgestaltung der Vorderbeine über Beine mit Schwimmhäuten zu Flossen
- Verbreitung über den gesamten Globus, so dass Entwicklungen an jeder Stelle der Ozeane stattfinden konnten

Diese Beispiele belegen, wie die heutigen Wale aus landlebenden Vorfahren mit 4 Extremitäten entstanden sind, ohne dass in der Tabelle Arten aufgeführt wären, die tatsächlich direkte Vorfahren und Nachfahren voneinander wären.

Ausblick:

Auch zu den Vorfahren von *Pakicetus* lässt sich eine Aussage machen. Sein Sprunggelenk und der zugehörige Fußwurzelknochen zeigen eine besondere Ausgestaltung auf, die es nur noch bei einer anderen Tiergruppe gibt: den Paarhufern.

D. h. dass die heutigen Rinder und die heutigen Wale einen gemeinsamen Vorfahren haben, der am Anfang der Erdneuzeit gelebt hat.

3.1.4 Brückentiere

Brückentiere sind Formen, in denen ein Teil der Merkmale zu der einen und ein anderer Teil zu der anderen Tiergruppe gehört. Man betrachtet sie als Belege für den Übergang von der einen zu einer neuen Merkmals-Kombination.

Brückenformen werden auch gerne als *missing link* bezeichnet. Das ist aber eine irreführende Bezeichnung, denn die Verbindung wird ja nicht mehr vermisst, sie ist vielmehr bereits gefunden worden.

Der Klassiker ist natürlich der Urvogel *Archaeopteryx lithographica*, bei dem die Schüler selbständig z. B. je drei Reptilien- wie Vogelmerkmale entdecken können; auf weitere kann man sie aufmerksam machen (es gibt noch viel mehr, aber es kommt auf das Prinzip an, nicht auf Quasi-Vollständigkeit):

Reptilienmerkmale	Vogelmerkmale
lange Schwanzwirbelsäule	Vordergliedmaßen zu Flügeln umgestaltet
Krallen an langen, mehrgliedrigen Fingern	pro Hand sind 3 Finger vorhanden
Kegelzähne im Schnabel	Federkleid

Hier noch ein paar Infos dazu:

- Alle Funde der Gattung *Archaeopteryx* stammen aus dem Fränkischen Jura, der Urvogel ist also ein waschechter Urbayer.
- Der erste Fund von 1860 wurde lange Zeit für einen Dinosaurier gehalten (und er sieht dem fast gleichgroßen *Compsognathus* wirklich verblüffend ähnlich).
- Das schönste Exemplar von *Archaeopteryx lithographica* ist in Berlin ausgestellt und heißt deshalb „Berliner Exemplar“; im Willibaldmuseum Eichstätt ist das „Eichstätter Exemplar“ ausgestellt.
- Im Paläontologischen Museum München sind Abgüsse der Platte und der Gegenplatte mit einer zweiten Art, *Archaeopteryx bavarica*, ausgestellt; die Originale befinden sich im Safe.
- Federn und Haare sind nur für heute lebende Wirbeltier-Arten ein Klassenmerkmal, beides gab es bereits bei bestimmten Gruppen der Dinosaurier, wie z. B. Funde aus China zeigen.

Weitere gut für den Unterricht geeignete Brückentiere sind:

- Ichthyostega zwischen Fischen und Amphibien
- Schnabeltier zwischen Reptilien und Säugetieren (mit weichschaligen, großen Eiern und Milchdrüsen)

3.2 Naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung (1 h)

Inhalte zu den Kompetenzen	Kompetenzerwartungen: Die Schülerinnen u. Schüler ...
erweiterte Evolutionstheorie als die naturwissenschaftliche Erklärung zur Entstehung der Arten <i>Entwicklung und Eigenschaften naturwissenschaftlichen Wissens: u. a. empirische Daten als Gültigkeitskriterien für biologische Modelle und Theorien, Bedeutung einer Theorie in den Naturwissenschaften (Lernbereich 1)</i>	beschreiben die Stammesgeschichte der Lebewesen als fortlaufendes Evolutionsgeschehen, das mithilfe von naturwissenschaftlichen Befunden belegt werden kann. <i>beschreiben ausgewählte Eigenschaften naturwissenschaftlichen Wissens und leiten daraus Aussagen zur Gültigkeit dieses Wissens ab (z. B. Evolutionsforschung) (Lernbereich 1).</i>

Hinweis: Die Formulierungen der oben im Kasten aufgeführten Inhalte des LehrplanPLUS interpretiere ich dahingehend, dass es sinnvoll ist, an dieser Stelle einen Abschnitt explizit zur Erkenntnisgewinnung in Naturwissenschaften einzuschieben, bevor die Kriterien dafür auf die Frage angewandt werden, wie die Vielfalt des Lebens auf der Erde entstanden ist.

Die Schüler sollten in der Unterstufe die Schritte der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung kennengelernt und an einer Reihe von Beispielen eingeübt haben, v. a. bei der Anlage von Versuchsprotokollen. Im LehrplanPLUS für Natur und Technik in der 5. Klasse steht dazu:

1 Schwerpunkt Naturwissenschaftliches Arbeiten:

„naturwissenschaftlicher Erkenntnisweg: Frage, Hypothesen, naturwissenschaftliche Untersuchung planen und durchführen, Datenauswertung, Folgerung“ [Inhalte zu den Kompetenzen, 1.1 Arbeitsmethoden, Punkt 3]

2 Schwerpunkt Biologie:

„naturwissenschaftlicher Erkenntnisweg: Phasen des naturwissenschaftlichen Erkenntniswegs (Frage, Hypothesen, naturwissenschaftliche Untersuchung planen und durchführen, Datenauswertung und -interpretation)“ [Inhalte zu den Kompetenzen, 2.1 Erkenntnisse gewinnen – kommunizieren – bewerten, Punkt 1]

Die Formulierung im LehrplanPLUS für Biologie in der 9. Klasse – „erweiterte Evolutionstheorie als die naturwissenschaftliche Erklärung zur Entstehung der Arten“ – bedeutet, dass in dieser Jahrgangsstufe keine historischen Theorien (Cuvier, Lamarck, Darwin) zu behandeln sind und auch keine kreationistischen Vorstellungen.

Schritte des naturwissenschaftlichen Erkenntniswegs:

- Frage, Hypothesen
- naturwissenschaftliche Untersuchung planen und durchführen
- Datenauswertung
- Folgerung

Dabei gelten folgende Regeln:

- Es dürfen nicht nur diejenigen Beobachtungen ausgewählt werden, die zu den eigenen Wünschen und Vorstellungen passen, sondern alle Beobachtungen müssen in die Auswertung einbezogen werden.
- Es ist eine Fehlerabschätzung zu machen.
- Es ist anzugeben, auf wievielen Einzeldaten die Folgerungen beruhen, das gibt einen Anhaltspunkt dafür, wie plausibel (glaubhaft) sie sind.

- Eine Hypothese gilt dann als verifiziert*, wenn alle Beobachtungen mit ihr übereinstimmen. Sobald nur eine (gesicherte) Beobachtung dagegen spricht, gilt die Hypothese als falsifiziert*. Lücken in der Beobachtung führen nicht zur Falsifizierung.

* *veritas*, lat.: Wahrheit; *facere*, lat.: machen; *falsus*, lat.: falsch (Ich halte es für sinnvoll, die Begriffe verifizieren und falsifizieren an dieser Stelle einzuführen.)

Ein klassisches Beispiel für die letzte Regel ist:

Die Hypothese „Alle Schwäne sind weiß“ gilt solange als verifiziert, wie ausschließlich weiße Schwäne beobachtet werden und kein einziger in einer anderen Farbe. Sobald aber der erste schwarze Schwan gesichtet wird, gilt die Hypothese als falsifiziert.

Übertragung auf die Evolutionsbiologie:

- Fragestellung:
Woher kommt die enorme Vielfalt der Arten?
- Hypothesen:
Lebewesen mit Merkmalen, die besser an die Anforderungen der Umwelt angepasst sind, können sich häufiger fortpflanzen und verdrängen Formen mit geringerer Anpasstheit.
Merkmale, die sich nicht durch Anpasstheit erklären lassen, beruhen auf Verwandtschaft (nachfolgende Arten übernehmen Merkmale der Arten, von denen sie abstammen).
- naturwissenschaftliche Untersuchungen:
 - Merkmale von Fossilien untereinander und mit Merkmalen lebender Arten vergleichen, z. B. Gestalt von Knochen und Zähnen, Fußabdrücke und Fährten, DNA ...
 - Alter der Fossilien bestimmen (durch physikalische Methoden)*
 - Die Formen in ihrer zeitlichen Abfolge miteinander vergleichen und die Veränderungen feststellen.

* Hier kann zwar der Begriff „C14-Methode“ fallen, die Methode selbst kann aber nicht erklärt werden, weil dafür die Voraussetzungen fehlen. Zur Information: Die C14-Methode eignet sich gut für die Altersbestimmung organischer Materialien und reicht bis etwa 60.000 Jahre zurück; für ältere Fossilien gibt es andere Methoden, die ebenfalls auf radioaktivem Zerfall beruhen, aber das Alter der Gesteinsschichten bestimmen, in denen das Fossil gefunden wurde.
- Datenauswertung:
 - Der Vergleich mit heute lebenden Arten lässt Rückschlüsse auf den Körperbau und damit auf die Lebensweise fossiler Arten zu.
 - Das Ausmaß der Veränderungen bei ähnlichen Arten pro Zeiteinheit, also die Evolutionsgeschwindigkeit, wird ermittelt.
 - Durch den Vergleich von Ähnlichkeiten fossiler und noch lebender Arten wird der Grad ihrer Verwandtschaft ermittelt. Daraus werden Stammbäume erstellt. (Hier ist der Hinweis darauf sinnvoll, dass diese Stammbäume ständig umgeschrieben werden, weil neue Daten hinzu kommen bzw. bestehende Daten neu interpretiert werden.)
- Folgerungen:
Die beiden Hypothesen werden verifiziert.

Von der (vagen) Hypothese zur (gesicherten) Theorie:

Eine Hypothese ist zunächst eine Idee für eine mögliche Erklärung.

Dann werden möglichst viele und möglichst unterschiedliche Untersuchungen durchgeführt, um die Hypothese zu überprüfen.

Nach der Auswertung der Untersuchungsergebnisse wird festgestellt, ob sie mit der Hypothese in Einklang stehen oder nicht: Die Hypothese wird verifiziert oder falsifiziert. Eine falsifizierte Hypothese wird verworfen oder verändert und erneut untersucht.

Ein großes System aus verifizierten Hypothesen nennt man in der Naturwissenschaft eine Theorie.

Eine Theorie ist ein komplexes Denkmodell, das aufgrund sehr vieler und unterschiedlicher Untersuchungen überprüft und verifiziert worden ist. (Damit bedeutet das Wort „Theorie“ in der Wissenschaft etwas anderes als im Alltag!)

Es dürfte keine wissenschaftliche Theorie geben, die über eine größere Menge bzw. über eine größere Verschiedenartigkeit von verifizierenden Belegen verfügt als die Evolutionstheorie. Viele Teilwissenschaften sind daran beteiligt wie die Paläontologie (Untersuchung von Fossilien), die Genetik (Untersuchung von Erbinformation), die Geologie (Untersuchung von Gesteinen und ihrer Geschichte), die Anatomie (Untersuchung von Körperbau) usw.

So eine umfassende Theorie entsteht über einen langen Zeitraum, in dem sehr viele Wissenschaftler Beiträge leisten, so dass die Theorie immer vollständiger und komplexer wird. Die heute gültige Form heißt: erweiterte Evolutionstheorie, weil die Ergebnisse vieler anderer Teilwissenschaften in sie einfließen.

Sie ist die (einzige) naturwissenschaftliche Erklärung zur Entstehung der Arten und ihrer Vielfalt.

Hinweis: Wenn an dieser Stelle Mitglieder der Klasse protestieren und behaupten, „intelligent design“ würde ebenfalls ein Erklärungsmodell bieten, dann (und nur dann) sollten Sie ein, zwei Beispiele für „unintelligent design“ anbieten, die dadurch eben nicht erklärt werden, wie etwa:

- falsche Richtung der Axone im Wirbeltierauge
 - Geburt beim Menschen durch ein sehr enges Loch im Becken statt über die Bauchdecke
- Lassen Sie sich aber im Unterricht auf keinen Fall auf eine längere Auseinandersetzung ein. Mit Schülern, die das dennoch wünschen, sollten Sie sich außerhalb des Unterrichts treffen.*

Hinweis: Dieser Abschnitt wirkt auf die Schüler sicher etwas trocken und abstrakt. Deshalb sollte er kurz gehalten werden. Er überfordert die Schüler aber nicht, weil sie darüber aus der Unterstufe alles Wesentliche schon wissen (sollten).

3.3 Erklärung für Vielfalt und Ähnlichkeit (5 h)

Als zentrale Beispiele für die naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung werden jetzt drei Evolutionsfaktoren vorgestellt, mit denen die Entstehung der biologischen Vielfalt erklärbar ist.

Inhalte zu den Kompetenzen	Kompetenzerwartungen: Die Schülerinnen und Schüler ...
erweiterte Evolutionstheorie als die naturwissenschaftliche Erklärung zur Entstehung der Arten	beschreiben die Stammesgeschichte der Lebewesen als fortlaufendes Evolutionsgeschehen, das mithilfe von naturwissenschaftlichen Befunden belegt werden kann.
Evolution als Zusammenspiel der Evolutionsfaktoren genetische Variabilität, natürliche Selektion und Isolation (geographische Isolation); Entstehung der biologischen Vielfalt	erklären die Entstehung einer heute lebenden Art als evolutionären Prozess, indem sie deren stammesgeschichtliche Entwicklung auf die Wirkung der Evolutionsfaktoren zurückführen. erklären Anpasstheiten an die jeweiligen biotischen und abiotischen Umweltfaktoren als Selektionsvorteil.
Entwicklung und Eigenschaften naturwissenschaftlichen Wissens: u. a. empirische Daten als Gültigkeitskriterien für biologische Model-	erklären die Bedeutung der geographischen Isolation für die Entstehung der biologischen Vielfalt.

<i>le und Theorien, Bedeutung einer Theorie in den Naturwissenschaften (Lernbereich 1)</i>	<i>vergleichen Lebewesen und deren Merkmale kriteriengeleitet, um Rückschlüsse auf die Ursachen von Ähnlichkeiten zu ziehen (Lernbereich 1).</i> <i>beschreiben ausgewählte Eigenschaften naturwissenschaftlichen Wissens und leiten daraus Aussagen zur Gültigkeit dieses Wissens ab (z. B. Evolutionsforschung) (Lernbereich 1).</i>
Vorwissen: Jgst. 6 Biologie, Lernbereich 1.4: Verwandtschaft der Wirbeltiere und Evolution Jgst. 9 Biologie, Lernbereich 3.3.: Veränderung und Neukombination genetischer Information (Variabilität von Lebewesen)	Weiterverwendung: Jgst. 10, Lernbereich 4: Vergangenheit und Zukunft des Menschen Oberstufe: Evolution; Verhaltensökologie – Evolution und Anpasstheit von Verhalten

3.3.1 Die genetische Variabilität (1 h)

Kurze Wiederholung aus dem vorigen Lernbereich Genetik; Abschnitt 2.3:

Zwei Mechanismen führen dazu, dass Lebewesen mit neuen Kombinationen an genetischer Information entstehen:

- Bisweilen entstehen neue Varianten von Genen (und im Extremfall sogar neue Gene), beispielsweise durch eine fehlerhafte Basenpaarung bei der Replikation.
- Bereits vorhandene Genvarianten können bei der sexuellen Fortpflanzung neu kombiniert werden und zwar durch die zufällige Verteilung der Homologen in Meiose I sowie durch die zufällige Kombination einer beliebigen Eizelle mit einer beliebigen Spermienzelle.

Neuer Gedanke: Diese Mechanismen führen dazu, dass innerhalb der selben Art eine mehr oder weniger große Menge an unterschiedlichen Varianten vorkommt.

Wesentliche Aussagen:

- Die Individuen einer Art unterscheiden sich in vielen Merkmalen.
- Bei der sexuellen Fortpflanzung entstehen Nachkommen mit unterschiedlichen Mischungen an genetischer Information. Diese Neuabmischung geschieht ungezielt (zufällig).
- Die Vielfalt der Merkmals-Kombinationen beruht auf einer Vielfalt der genetischen Information (genetische Variabilität).

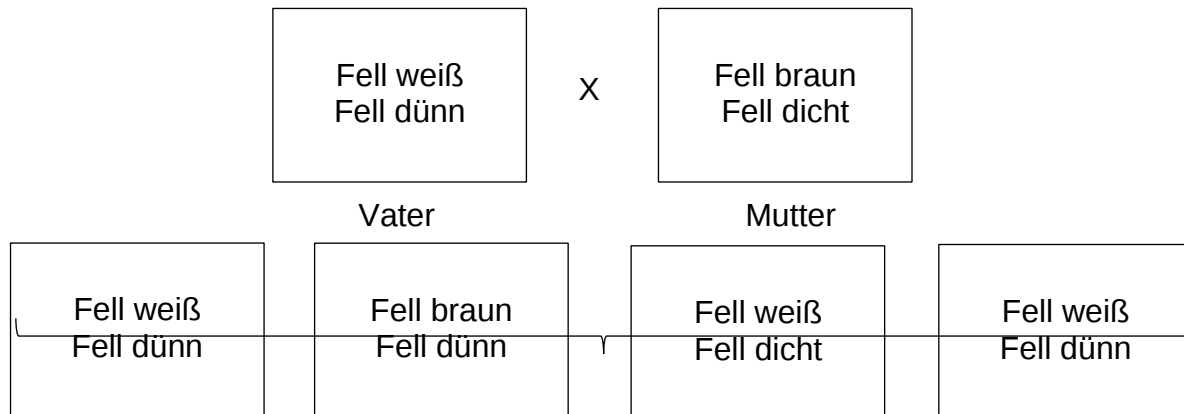
Hinweis: Diese innerartliche Variabilität wurde bisher im Unterricht noch nicht angesprochen und ist somit für die Schüler neu. Jeder kann zwar Menschen oder Hunde individuell unterscheiden, aber Stubenfliegen sehen für uns alle gleich aus. Sogar die Biologie selbst hat dieses einheitliche Bild von Arten gefördert, weil jede Art an einem Referenz-Exemplar beschrieben wird, das dann als „typisch“ gilt (der Art-Typus); davon abweichende Merkmale bei anderen Artgenossen gelten als „untypisch“. Bestimmungsbücher zeigen nur Referenz-Exemplare. Evolutionsbiologen haben dagegen einen anderen Blickwinkel als Systematiker und richten ihr Augenmerk auf die intraspezifischen Unterschiede.

Die innerartliche Variabilität kann objektiv untersucht werden:

- Körpergröße und -gewicht
- Färbungen
- Stoffwechsel-Eigenheiten (Beispiel Mensch: Milchzucker-Verträglichkeit bzw. -Unverträglichkeit bei Erwachsenen)

- Anzahl der Nachkommen pro Fortpflanzungsgeschäft / pro Jahr / pro Lebenszeit
- Wachstums-Geschwindigkeit
- usw.

Modellbeispiel: (nur) 2 Merkmale mit jeweils (nur) 2 Ausprägungen



mögliche Merkmals-Kombinationen bei den Nachkommen

Das Zeichen X bedeutet: Kreuzung (sexuelle Fortpflanzung)

Bei mehr betrachteten Merkmalen bzw. bei mehr Ausprägungsmöglichkeiten pro Merkmal ergeben sich erheblich mehr Varianten bei den Nachkommen.

Abgrenzung: Für die Mechanismen der Evolution sind nur solche Merkmale relevant, die auf genetischer Information beruhen. Merkmals-Ausprägungen, die durch Training oder Vernachlässigung, durch Krankheiten oder Unfälle entstehen, können nicht an die Nachkommen weitergegeben werden und sind deshalb für die Evolution nicht relevant.

Hinweise: Inzwischen ist bekannt, dass in speziellen Fällen auch erworbene Informationen weiter gegeben werden können. Sie erzeugen aber keine neuen Varianten von Strukturgenen, sondern es handelt sich dabei um bestimmte Markierungen auf der DNA, die besagen, ob ein Gen transkribiert wird oder nicht. Solche epigenetischen Markierungen halten aber maximal wenige Generationen lang. Man müsste also präziser formulieren: Erworbene Merkmale werden nicht in den Genen selbst codiert und die Informationen dafür somit nicht vererbt. Dieser Aspekt sollte der Oberstufe vorbehalten bleiben und in der 9. Klasse nicht angesprochen werden, um das erste Verständnis für das grundlegende Konzept nicht zu gefährden.

Achten Sie auf korrekte Fachsprache: Nicht Merkmale werden vererbt, sondern Informationen, die letztlich für die Ausprägung dieser Merkmale verantwortlich sind.

3.3.2 Die natürliche Selektion (1 h)

Hinweis: Charles Darwin ging davon aus, dass die Wirkung der natürlichen Selektion darin bestünde, bestimmte Individuen überleben zu lassen und andere nicht („struggle for life“ mit „survival of the fittest“). Das sollten Sie im Unterricht nicht tun, denn in der erweiterten Evolutionstheorie wird die Wirkung der natürlichen Selektion durch die Fitness beschrieben, das ist die Anzahl der Nachkommen in der Folgegeneration (keine Ja-Nein-Entscheidung über Leben und Tod, sondern eine quantifizierte Größe).

Die Zahl der Nachkommen als Maß für den Erfolg gegenüber den Selektionsfaktoren ist Lerninhalt der Mittelstufe; der Fachbegriff „Fitness“ und seine Definition bleiben allerdings der Oberstufe vorbehalten.

Lebewesen mit unterschiedlichen Mischungen von Merkmalen reagieren unterschiedlich auf die Anforderungen der Umwelt.

Modellbeispiel aus 3.3.1:

Die Schüler sollen aus den vier Merkmalskombinationen jeweils diejenige auswählen, die am besten zu einer polnahen Gegend bzw. zu unseren mittleren Breiten passt. Sie kommen intuitiv sehr schnell auf folgende Lösung:



Entscheidend ist jetzt, dass sie dafür Begründungen formulieren. Daraus werden zwei Faktoren erarbeitet:

Faktor 1: Temperatur

Dichtes Fell schützt vor Auskühlung bei tiefen Temperaturen, dünnes Fell schützt vor Überhitzung bei mittleren Temperaturen.

Faktor 2: Tarnung

Weißes Fell tarnt in weißer Umgebung (Schnee, Eis), braunes Fell tarnt am Boden.

Bei der Tarnung sollten Hypothesen zum genauen Zweck der Tarnung aufgestellt werden:

- Der Fressfeind kann die getarnte Beute nicht so gut sehen.
- Die Beute kann den getarnten Fressfeind nicht so gut sehen.

Auswirkungen:

- Ein Säugetier, das vor Auskühlung geschützt ist, benötigt weniger Nahrung, um seine Körpertemperatur aufrecht zu erhalten, bzw. hat bei gleichem Umfang der Ernährung mehr Ressourcen z. B. für die Fortpflanzung.
 - Ein Säugetier, das vor Überhitzung geschützt ist, muss seltener kühle Orte aufsuchen, an denen aber z. B. Nahrung fehlt, ist also besser ernährt.
 - Getarnte Beutetiere werden seltener erbeutet, haben also eine höhere Lebenserwartung.
 - Getarnte Fressfeinde werden von der Beute schlechter oder später erkannt, haben dadurch einen höheren Jagderfolg und sind damit besser ernährt.
- Besserer Ernährungszustand sowie höhere Lebenserwartung führen zu mehr Nachkommen.

Allgemein: Lebewesen, deren individuelle Merkmale effektivere Anpasstheiten an die Anforderungen der Umwelt zeigen, sind besser ernährt, gesünder, leben länger und bringen deshalb mehr Nachkommen hervor.

Computersimulationen zeigen, dass sich Lebensformen, die nur wenige Prozent mehr an Nachkommen hervorbringen als der Rest, sich in einer Population innerhalb von 10-30 Generationen durchsetzen, d. h. dass Lebewesen mit weniger gut angepassten Merkmals-Kombi-

nationen in der Regel zwar noch über einen längeren Zeitraum in der Population vorkommen, aber nur eine Minderheit darstellen.

Fachbegriff: Umweltfaktoren wie Umgebungs-Temperatur, Farbe des Untergrunds usw. wählen letztlich also diejenigen Lebensformen aus, die die besten Angepasstheiten aufweisen. Solche Faktoren heißen: Selektionsfaktoren. Ein Exemplar mit besserer Angepasstheit besitzt einen Selektionsvorteil.

selectio, lat.: Auswahl

Beispiele für abiotische Selektionsfaktoren: Umgebungs-Temperatur, Verfügbarkeit von Oberflächenwasser

Beispiele für biotische Selektionsfaktoren: Fressfeinde, Nahrung, Sexualpartner

Wesentliche Aussagen:

- Selektionsfaktoren bevorzugen die Lebensformen mit den besten Angepasstheiten dahingehend, dass diese mehr Nachkommen erzeugen.
- Selektionsfaktoren wirken gezielt (nicht zufällig).

Hinweis: Ein beliebtes Scheinargument von Kreationisten besteht darin zu konstatieren, dass niemals eine Uhr entsteht, wenn man ihre Einzelteile in eine Schachtel gibt und diese schüttelt. Der Astronom Sir Fred Hoyle (auf seinem Gebiet ein angesehener Wissenschaftler) verbildlicht seine (unbegründete) Skepsis gegenüber der Evolutionstheorie mit einem Wirbelsturm, „der über einen Schrottplatz fegt und durch einen Zufall eine Boeing 747 zusammensetzt“ (zitiert und diskutiert in der Autobiographie von Richard Dawkins: Die Poesie der Naturwissenschaften, Ullstein 2016, S. 631 f). Solche Modell-Vorstellungen gehen davon aus, dass ein rein zufälliges Zusammenfügen sicher keine intakten Gerätschaften hervorbringen würde und unterstellen dabei, dass alle Prozesse der Evolutionstheorie zufällig erfolgen würden. Zufällig ist in der Evolution aber nur die Erzeugung neuer Varianten bei der genetischen Information, nicht aber die Wirkung der Selektion. (Davon abgesehen entstehen Lebewesen nicht dadurch, dass sie aus fertigen Einzelteilen zusammen gesetzt würden, sondern durch Wachstum und Individual-Entwicklung, was ein prinzipieller Unterschied ist.)

Hypothesen zu Selektionsfaktoren können in Untersuchungen überprüft und damit verifiziert oder falsifiziert werden. Die Schüler entwerfen eine Versuchsanordnung zur Überprüfung, ob ein bestimmter Faktor tatsächlich einen relevanten Selektionsfaktor bei dieser Art darstellt. Gut eignet sich dafür das Beispiel der Tarnung.

Hypothese: Mäuse mit braunem Fell werden auf einer Wiese in den mittleren Breiten seltener von Fressfeinden erbeutet als Mäuse mit weißem Fell.

Aufgabe: Erstelle einen Versuchsaufbau zur Überprüfung dieser Hypothese.

Mögliche Lösung: Damit die Mäuse nicht in Erdlöchern oder aus der Untersuchungsfläche verschwinden, wird ein großer Platz (z. B. ein Tennisplatz) mit Kunstrasen ausgelegt, mit Laub bestreut und mit Brettern umgrenzt. Dann werden z. B. 100 braune und 100 weiße Mäuse auf dem Kunstrasen ausgesetzt. Einfache Beobachtung: Nach 12 Stunden werden die überlebenden Mäuse eingefangen und gezählt. Aufwendige Beobachtung: Mit Kameras bzw. Ferngläsern wird jeder einzelne Beutefang erfasst.

Die Hypothese gilt als verifiziert, wenn in mehreren solcher Versuchsreihen jedes Mal mehr braune als weiße Mäuse überleben.

Hinweis: Immer wieder werden Hypothesen genannt, die nicht überprüft worden sind, ohne dass dies eindeutig klar gemacht würde. Ein Beispiel ist das sehr lange, bunte Schwanzgefieder beim Pfau. Sein Selektionsvorteil ist unbestritten: Seine Größe und vor allem die Regelmäßigkeit seines Musters sind direkter Ausdruck der Gesundheit seines Trägers und führen zum Fort-

pflanzungserfolg. Aber der immer wieder genannte Selektionsnachteil, dass der Pfauenhahn mit seinem Ballast am Heck ein schlechter Flieger sei und deshalb seinen Fressfeinden gegenüber schlechte Karte hätte, ist nicht belegt. Der Evolutionsbiologe Josef Reichholf hat im Gegenteil in Indien bei wildlebenden Pfauenmännchen beobachtet, wie eines eine elegante Flucht vom Boden auf einen hohen Ast vollführt hat bzw. ein anderes einen Tiger effektiv verwirrt hat, indem es die Schwanzfedern über den Körper nach vorne klappte, so dass der Fressfeind am vermeintlichen Vorderende ins Nichts schlug, weil die Federn so weit vor den Kopf des Vogels reichten. Das entspricht einer Falsifizierung der Hypothese des genannten Selektionsnachteils.

3.3.3 Die geographische Isolation (1 h)

Der LehrplanPLUS vermerkt deutlich, dass in der Mittelstufe keine weiteren Isolationsmechanismen anzusprechen sind.

Die besser angepassten Mitglieder einer Population haben eine höhere Fortpflanzungsrate als die weniger gut angepassten. Wenn sich die Anforderungen der Umwelt ändern, werden nach einigen Generationen besser an die Veränderung angepasste Mitglieder der Population deren Mehrheit bilden.

Damit neue Arten entstehen, ist noch ein weiterer Evolutions-Mechanismus notwendig. Das wichtigste Beispiel ist dabei wohl die geographische Isolation:

Eine Ursprungs-Population breitet sich aus. Dabei kommt es vor, dass Teilpopulationen so voneinander getrennt werden, dass sie eigene Fortpflanzungsgemeinschaften bilden. Beispielsweise wird ein Schwarm aus einer Population von Singvögeln an der Küste durch einen Sturm auf eine weit entfernte Insel verschlagen. Aus eigener Kraft können sie die Strecke zwischen Insel und Festland nicht überwinden. Weil auf der Insel die Selektionsfaktoren anders wirken als auf dem Festland, werden sich die Insel- und die Festlands-Population nach einigen Dutzend Generationen deutlich voneinander unterscheiden. Das bedeutet, dass auf der Insel mit der Zeit eine neue Art entsteht.

Möglichkeiten einer räumlichen Trennung, je nach Mobilität der Arten:

- Gebirgszüge
- große Gletscherzungen (während einer Eiszeit)
- breite Flüsse
- Trockenwüsten
- die schiere Entfernung (Möwen in Skandinavien können nicht mit Möwen aus Ostsibirien oder Alaska Nachkommen erzeugen)

Die geographische Isolation ist ein wesentliche Ursache für die biologische Vielfalt, weil dadurch an sehr vielen Orten auf der Erde sehr viele unterschiedliche Arten entstehen können.

3.3.4 Die erweiterte Evolutionstheorie: Überblick und Beispiel(e) (2 h)

Wesentliche Evolutionsfaktoren:

- genetische Variabilität (Entstehung neuer Gen-Varianten; ungerichtete Neuabmischung vorhandener Gen-Varianten bei der sexuellen Fortpflanzung); entsteht ungerichtet (zufällig)
- natürliche Selektion (biotische und abiotische Selektionsfaktoren begünstigen Lebewesen mit besseren Anpasstheiten, sie bekommen mehr Nachkommen); wirkt gerichtet (nicht zufällig)
- geographische Isolation (verhindert Vermischung und bringt damit neue Arten hervor)

Hinweis: Ich halte es für wichtig, die Evolutionsfaktoren noch einmal zusammenzustellen, bevor sie auf Beispiele angewendet werden.

Im Folgenden kann das Prinzip der didaktischen Rekonstruktion angewendet werden, bei dem die Schüler zunächst ihre Hypothesen notieren und im Anschluss an die Besprechung ihre Aufzeichnungen selbstständig korrigieren.

Heute lebende Arten entwickelten sich in einem ununterbrochen wirksamen evolutionären Prozess, in dem die Evolutionsfaktoren zusammen wirkten. Ständig entstanden neue genetische Variationen, immer wieder änderten sich die Selektionsfaktoren, neue Formen wurden von ähnlichen Vorgänger-Formen isoliert. Die Entwicklung von den ursprünglichen Lebensformen bis hin zu den heute lebenden Formen nennt man: stammesgeschichtliche Entwicklung. Weil aufgrund der ständig wechselnden Selektionsfaktoren immer neue Formen von Lebewesen entstanden und entstehen, kam es zur Ausbildung der enormen biologischen Vielfalt.

Häufige Fehlvorstellungen: Zuerst käme die Veränderung im Umweltfaktor und im Anschluss reagierten „die Tiere“ (gemeint ist oft: jedes Individuum) darauf, indem „sie sich anpassen“ (in einem aktiven, willentlichen Prozess). Es ist aber genau umgekehrt: Zuerst sind Tiere mit bestimmten Merkmals-Kombinationen vorhanden, die zunächst noch keine besonderen Vorteil bieten, dann ändert sich der Umweltfaktor und bevorzugt eine bestimmte Lebensform. (Dies ist explizit anzusprechen, weil die Formulierungen in den Medien in aller Regel falsch oder zumindest irreführend sind.)

Beispiel 1: Der Birkenspanner

Hinweis: Das Problem bei diesem klassischen Beispiel liegt darin, dass hiermit nur die Selektionswirkung zu zeigen ist; neue Arten sind damit nicht entstanden.

1) Kurze Vorstellung des Birkenspinners *Endromis versicolora* (Foto), der als Nachtfalter tagsüber regungslos auf der Borke von Birken sitzt.

Aufgabe: Formuliere eine Hypothese zum Selektionsvorteil durch die Färbung. (Antwort: Durch seine helle Färbung ist der Falter auf der hellen Borke gut vor Fressfeinden getarnt.)

2) Es gibt auch eine dunkle Form des Birkenspanners, die im frühen 19. Jahrhundert bei britischen Schmetterlings-Sammlern sehr begehrt war, weil sie so selten war.

Aufgabe: Die Schüler formulieren Hypothesen, wie diese dunkle Form zustande gekommen sein könnte. Bei der anschließenden Besprechung korrigieren sie diese ggf. (Antwort: Über eine neue Mischung der genetischen Information, die ungerichtet zustande gekommen ist.)

3) Im späten 19. Jahrhundert waren die Verhältnisse umgekehrt: Vor allem in den Industriegebieten bildete die dunkle Form die Mehrheit, während die helle Form nur selten zu finden war. (Das ist durch eine große Datenfülle abgesichert, die von sehr vielen Schmetterlings-Sammlern angehäuft worden ist.)

Aufgabe: Die Schüler formulieren Hypothesen zur Erklärung dieses Phänomens und korrigieren sie ggf. bei der anschließenden Besprechung. (Antwort: Der Ruß aus den Schornsteinen färbte die Birken dunkel. Auf diesem Untergrund waren für die Fressfeinde die hellen Formen gut und die dunklen Formen schlecht zu sehen. Ggf. Hinweis darauf, dass diese Aussage tatsächlich experimentell überprüft und verifiziert worden ist.)

In Fachsprache formuliert: Der Selektionsfaktor „Untergrundfarbe“ hat sich mit der Industrialisierung verändert. Dunkle Färbung ist für den Schmetterling jetzt ein Selektions-Vorteil.

4) Heute findet man wieder vor allem helle Birkenspanner, dunkle Exemplare sind selten.

Aufgabe: Die Schüler formulieren Hypothesen dazu und korrigieren sie ggf. nach der Besprechung. (Antwort: Seit die Luft weitgehend frei von Ruß ist, ist auch die Borke der Birken wieder hell; s. o.).

5) Aufgabe: Begründe, warum dabei keine neue Art entstanden ist. (Antwort: Es hat keine geographische Isolation gegeben.)

Beispiel 2: Giraffen haben lange Hälse

Hinweis: Bei diesem Beispiel taucht als neuer Faktor die Konkurrenz auf, die im LehrplanPLUS nicht erwähnt ist.

Giraffen leben in afrikanischen Savannen, das sind Landschaften mit viel Gras und vereinzelt Gehölzen, darunter auch Bäume.

Giraffen und eine Reihe weiterer Huftiere ernähren sich von dem Pflanzenmaterial. Es herrscht also Nahrungs-Konkurrenz zwischen den Arten und innerhalb dieser Arten.

Aufgabe: Formuliere Hypothesen, wie aus kurzhalsigen Vorfahren die heutigen langhalsigen Giraffen entstanden sein könnten. (Antwort: Aufgrund genetischer Variation gab es Giraffen mit unterschiedlich langen Hälsen. Bei Nahrungsknappheit hatten die Exemplare mit längeren Hälsen einen Selektionsvorteil, weil sie sich auch von Blättern an hohen Zweigen ernähren konnten. Sie waren besser ernährt und erzeugten deshalb mehr Nachwuchs. Solche Selektionsschritte sind mehrfach hintereinander erfolgt.)

Alternativ: etwas engere Führung durch das:

Arbeitsblatt: Evolution der Giraffen [[word](#)] [[pdf](#)]

Hinweis: Ein Beispiel genügt eigentlich. Wichtig dabei ist, dass die Schüler bei den Aufgaben ihr Vorwissen anwenden.

Damit die Schüler die einzelnen Komponenten aus diesem Lernbereich zu einem Gesamtbild zusammenfügen, ist es sinnvoll, wenn sie zum Abschluss die eine oder andere Aufgabe dazu bearbeiten. (Der nächstfolgende Lernbereich kann durchaus schon begonnen werden, bevor diese Aufgaben vollständig bearbeitet sind). Hierzu zwei Arbeitsblätter zur Auswahl:

Arbeitsblatt: Evolution im Überblick [[word](#)] [[pdf](#)]

Arbeitsblatt: Tierzucht am Beispiel Dackel [[word](#)] [[pdf](#)]