

Biologie Jahrgangsstufe 12 im LehrplanPLUS

II Evolution

2 Mechanismen der Evolution

Thomas Nickl, Oktober 2023; überarbeitet März 2024, ergänzt April 2025

Bitte lesen Sie meine allgemeinen Anmerkungen zur Jahrgangsstufe 12 [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#) zu den Aspekten: Situation in der 12. Jahrgangsstufe Biologie, Kompetenzen, Berufsbilder und Medien.

Zeitplan

II Evolution

2 Mechanismen der Evolution

2.1 Unterschiedliche Erklärungsansätze

2.1.1 Jean Baptiste de Lamarck

2.1.2 Charles Darwin

2.1.3 Vergleich

2.1.4 Abgrenzung zu nicht naturwissenschaftlichen Vorstellungen

2.2 Synthetische Evolutionstheorie

2.2.1 Änderung der Allelfrequenz

2.2.2 Phänotypische Variation

2.2.3 Natürliche Selektion

2.2.4 Alleldrift

2.2.5 Fitness

2.2.6 Beispiele

2.3 Isolation

2.3.1 Geographische Isolation

2.3.2 Ökologische Isolation

2.3.3 Reproduktive Isolation

2.3.4 Der populationsgenetische Art-Begriff

2.3.5 Problematik des Art-Begriffs

2.3.6 Artentstehung

2.4 Koevolution

2.4.1 Mutualistische Koevolution

2.4.2 Antagonistische Koevolution

2.5 Kulturelle Evolution (nur eA)

2.5.1 Kultur bei verschiedenen Tierarten

2.5.2 Besonderheit der menschlichen Kultur

2.5.3 Diskussion

2.6 Mensch und Umwelt (nur eA)

2.7 Eingriffe in Evolutionsprozesse (nur eA)

Zeitplan

Der LehrplanPLUS sieht für den Lernbereich 3.2 „Mechanismen der Evolution“ im grundlegenden Anforderungsniveau (gA) ca. 11 und im erweiterten Anforderungsniveau (eA) ca. 21 Unterrichtsstunden vor (alle Formulierungen für das gA gelten auch für das eA). Die folgende Tabelle zeigt einen Vorschlag für einen Zeitplan:

Nummer	Abschnitte	Stunden gA	Stunden eA
2.1	Unterschiedliche Erklärungsansätze	3	3
2.2	Synthetische Evolutions-Theorie	4	4
2.3	Isolation *)	2	2,5
2.4	Koevolution *)	2	2,5
2.5	Kulturelle Evolution	–	3
2.6	Mensch und Umwelt	–	3
2.7	Eingriffe in Evolutionsprozesse	–	3
	Summe	11	21

**) Teile in diesem Abschnitt betreffen nur das eA.*

2 Mechanismen der Evolution

Auch beim Thema „Mechanismen der Evolution“ gibt es im LehrplanPLUS Unterschiede zu den Formulierungen des Vorgänger-Lehrplans im G8:

- Die Einordnung des Homo sapiens in das Natürliche System wird hier nicht aufgeführt, weil es im Lernbereich 4 der 10. Klasse enthalten ist. (Trotzdem ist es sinnvoll, darauf einzugehen, soweit noch nicht geschehen.)
- Auf die Bedeutung der Genmutationen für die Evolution wird bereits bei der Behandlung der Genetik (Lernbereich 2.4) hingewiesen.

Weitere Neuerungen werden bei den einzelnen Abschnitten angesprochen.

2.1 Unterschiedliche Erklärungsansätze

(ca. 3 Stunden)

Inhalte zu den Kompetenzen	Kompetenzerwartungen: Die Sch. ...
Erklärungsansätze von Darwin und Lamarck; Abgrenzung von naturwissenschaftlichen zu nicht naturwissenschaftlichen Vorstellungen	beurteilen die Aussagekraft verschiedener Erklärungsansätze zu Mechanismen der Evolution und überprüfen ihre Vereinbarkeit mit dem heutigen Wissensstand der Genetik.
Vorwissen:	–

An dieser Stelle bietet es sich an, mit Original-Texten von Darwin und Lamarck zu arbeiten. Die im G8-Lehrplan noch aufgeführten Hypothesen von George Cuvier fallen im LehrplanPLUS weg (Katastrophentheorie: grundsätzliche Artkonstanz, aber neue Arten entstehen nach Katastrophen). Dafür verlangt der LehrplanPLUS ausdrücklich eine Abgrenzung von naturwissenschaftlichen zu nicht naturwissenschaftlichen Vorstellungen und berücksichtigt damit den immer größer werdenden Einfluss der Evolutions-Leugner in der Gesellschaft.

ISB-Handreichung (LIS): Erklärungsansätze

[\[Link\]](#)

Kurze Erläuterungen zu den Ansätzen von de Lamarck und Darwin als Voraussetzungen der Synthetischen Evolutionstheorie sowie zu nicht-naturwissenschaftlichen Ansätzen.

Erklärvideo „Evolutionstheorie“ (5:01)

<https://studyflix.de/biologie/evolutionstheorie-2791>

Einsatz: ggf. nach einem ersten Brainstorming über das Vorwissen zu Evolutionsfaktoren aus der Mittelstufe und damit als Einstieg in die unterschiedlichen Erklärungsansätze zu den Mechanismen der Evolution. Einige Aspekte werden in dem Film zwar vorweggenommen, aber das schadet einer nachfolgenden vertieften Besprechung nicht.

Kritik: Hier wird dargestellt, dass es mehrere Evolutionstheorien nebeneinander gäbe: Linné und Cuvier (im LehrplanPLUS nicht aufgeführt), Lamarck, Darwin. Das könnte dahingehend missverstanden werden, dass man sich aussuchen könnte, welche Theorie einem besser gefällt. Dabei stellen die drei Theorien Stationen in der Entwicklung der Synthetischen Evolutionstheorie dar, die durchaus auch Hypothesen enthalten, die später falsifiziert wurden (wie die Katastrophentheorie bei Cuvier oder die Vererbung erworbener Eigenschaften oder der Vervollkommnungstrieb bei Lamarck). Dieser Gedanke muss bei einem Einsatz des Films unbedingt geklärt werden.

Der LehrplanPLUS sieht lediglich den Vergleich von Lamarck und Darwin vor. Wenn noch genügend Zeit zur Verfügung steht und der Kurs entsprechendes Interesse zeigt, kann es sinnvoll

sein, auf weitere Ansätze einzugehen wie Aristoteles (Kreationismus) oder Cuvier (Neubildung von Arten nach Katastrophen) sowie die Thesen von Thomas Malthus (Bevölkerungswachstum führt zu Mangel und dadurch zu Konflikten; dieser Zusammenhang hat Charles Darwin stark beeinflusst). Kurze Unterlagen dazu finden Sie im Buchner-Buch auf den Seiten 230 f.

2.1.1 Jean Baptiste de Lamarck (1744-1829)

Er prägte den Begriff „Biologie“ und arbeitete nach den von George Cuvier weiter entwickelten Kriterien an der Verbesserung am Natürlichen System (und zwar bei wirbellosen Tieren).

Vor 1800 war Lamarck überzeugt, dass die Arten konstant, also unveränderlich seien. Untersuchungen an fossilen Weichtieren in Gesteinsschichten des Pariser Beckens überzeugten ihn aber von einer Veränderlichkeit der Arten. 1809 veröffentlichte er das Buch „Philosophie zoologique“, in dem er eine Stammesentwicklung der Arten vertrat.

Er argumentierte: Jede Art muss sich mit ihrer Umgebung in Harmonie befinden. Weil sich diese Umgebung aber ständig verändert, muss sich eine Art ebenfalls verändern, um mit der Umgebung in Harmonie zu bleiben. Ansonsten würde diese Art irgendwann aussterben.

Das ist eine für seine Zeit durchaus revolutionäre Aussage. Lamarck erarbeitete auch eine Hypothese für den Mechanismus dieses langsamen Artenwandels. Sie besteht im Wesentlichen aus zwei Aussagen:

- Gebrauch und Nichtgebrauch von Organen: Organe werden durch ständigen Gebrauch gestärkt und vergrößert, durch ständigen Nichtgebrauch verkümmern oder verschwinden sie.
- Vererbung erworbener Eigenschaften: Die durch Gebrauch bzw. Nichtgebrauch veränderten Merkmale werden an die Nachkommen vererbt.

Als Beispiele führte er u. a. die Ausbildung der Muskeln sowie die Länge des Giraffenhalses an: Ursprünglich kurzhalsige Giraffen streckten ihren Hals, um an höhere Blätter zu gelangen (z. B. in Zeiten von Nahrungsmangel), vererbten den etwas gestärkten und gestreckten Hals an ihre Nachkommen, die ihre Häse noch weiter streckten usw. Ein Schmied vererbt an seine Söhne stärkere Armuskulatur, die er durch seine anstrengende Arbeit erhalten hat. Evolution ist nach Lamarck eine Abfolge von sehr vielen sehr kleinen Veränderungen, die zielgerichtet auf einen verbesserten Zustand hin erfolgen (zweckorientierte, teleologische bzw. finalistische Sichtweise). Lamarck postulierte einen Vervollkommnungs-Trieb.

Schema: Umweltveränderung → Bedürfnis → Übung / Nicht-Gebrauch → Vervollkommnung / Verkümmern → Weitergabe der erworbenen Eigenschaft an die Nachkommen → Bedürfnis → Übung / Nicht-Gebrauch ... usw.

Lamarcks Sichtweise ist bei vielen Laien auch heute noch verbreitet („Wenn man Insekten mit einem bestimmten Gift bekämpft, dann gewöhnen sie sich mit der Zeit daran.“). Erst durch die Entdeckung der Vererbungsgesetze (weit nach Lamarcks Tod!) wurde klar, dass erworbene Eigenschaften nicht an die Nachkommen vererbt werden können. (Bei Trofim Denissowitsch Lyssenko und im Stalinismus wirkten Lamarcks Thesen noch lange nach und warfen die genetische Forschung in Russland und der Sowjetunion über eine große Zeitspanne weit zurück.)

Hinweis: Epigenetische Effekte scheinen, wenn überhaupt, nur Auswirkungen auf die unmittelbar folgenden Generationen zu haben; sie führen nicht zu evolutiven Veränderungen. Das bewirken nur Veränderungen in den Genen selbst. Erkenntnisse der Epigenetik stellen also keine nachträgliche Bestätigung von Lamarcks Hypothesen dar.

Für das Hintergrundwissen der Lehrkraft (nicht für den Unterricht):

Für Lamarck besteht folgende Reihenfolge: Zuerst verändert sich die Umwelt, dann reagieren die Organismen darauf mit entsprechend verstärktem bzw. abgeschwächten Gebrauch ihrer Organe, zuletzt werden solche Veränderungen an kommende Generationen vererbt. [Die moderne Evolutionstheorie sieht die Reihenfolge umgekehrt: Zuerst kommt die Veränderung im Erbgut = Mutation und Rekombination, daraufhin kommt es zu einem veränderten Phänotyp und am Ende kann sich der in einer dereinst veränderten Umwelt bewähren oder auch nicht.]

Der britische Biologe Thomas Henry Huxley (1825-1895) hielt Lamarcks Gedanken für gut, „nur dass sie durch eine hässliche kleine Tatsache verdorben wurde [...]: Erworbene Merkmale werden in Wirklichkeit nicht vererbt.“¹⁾

Der deutsch-amerikanische Evolutionsbiologe Ernst Walter Mayr (1904-2005), der Vater der Synthetischen Evolutionstheorie, betonte, dass die Hypothese von Lamarck für das irdische Leben nicht gültig ist, räumte aber ein: „Gäbe es einen Planeten, auf dem erworbene Merkmale vererbt werden, könnte dort eine lamarckistische Evolution gut funktionieren.“²⁾ Der englische Evolutionsbiologe Richard Dawkins widerspricht dieser Aussage vehement und belegt, dass konsequente Vererbung von vergrößerten und verfeinerten bzw. verkümmerten Organen prinzipiell nicht zu einer evolutiven Entwicklung führen können und zwar aus drei Gründen, die unabhängig von den Mechanismen der Vererbung sind:

- „Selbst wenn erworbene Merkmale vererbt würden, wäre das Prinzip von Gebrauch und Nichtgebrauch zu grob und wenig zielgerichtet, als dass es, von wenigen Beispielen abgesehen, für eine anpassungsorientierte Evolution sorgen könnte. Die Linse eines Auges wird nicht von Photonen klargespült, die durch sie hindurchströmen. Die Vergrößerung der Muskeln ist eines der relativ wenigen Beispiele für eine Verbesserung, die durch Gebrauch und Nichtgebrauch entstehen kann.“³⁾ Und die beruht auf einem vererbten Programm, nach dem Regulatoren aufgrund äußerer Reize Wachstum und Vermehrung von Muskelzellen steuern.
- Nur eine Minderheit aller erworbenen Eigenschaften stellt eine Verbesserung dar. Beim Gehen bildet sich an den Fußsohlen eine Hornhaut aus (Vorteil), aber die Hüftgelenke nützen sich ab (Nachteil). „Allen volkstümlichen Überzeugungen zum Trotz ist unser Körper keine wandernde Ansammlung uralter Narben und gebrochener Gliedmaßen.“⁴⁾
- Zudem betont Dawkins, dass Organismen im Gegensatz zu Maschinen nicht nach einem Plan aus Einzelteilen aufgebaut werden, die jeweils in ihrer Endform hergestellt werden, sondern dass die Erbinformation Wachstumsprozesse vorschreibt. Während man einen vollständigen Plan („Blaupause“) erstellen kann, wenn man eine Maschine zerlegt und ihre Bauteile minutiös aufzeichnet, kann man aus der Analyse des Körpers eines Lebewesens nicht die Erbinformation erstellen: „Man kann nicht einen [biologischen] Körper betrachten und daraus Rückschlüsse auf die Anweisungen ziehen, nach denen er entstanden ist.“⁵⁾ Das ist ein grundlegender Unterschied. (Dawkins nennt letzteres Epigenetische oder Origami-Embryologie, während eine Präformationistische Embryologie (die nicht verwirklicht ist, aber dem Gedankengang von Lamarck entspricht; von Dawkins wird sie Blaupausen- oder 3D-Drucker-Embryologie genannt) dem Maschinenbau entspricht.⁶⁾

1) In Richard Dawkins: „Die Poesie der Naturwissenschaften“ Ullstein Berlin, 2016, S. 653; übersetzt von Sebastian Vogel aus dem englischen Original „Brief Candle in the Dark“, Transworld London, 2016

2) So nachformuliert von Richard Dawkins ebenda, S. 653

3) ebenda S. 653 f

4) ebenda S. 654

5) ebenda S. 655 f

6) ebenda S. 655-657

Erkenntnisse, welche sich die Schüler selbständig aus Quellentexten erarbeiten können

Arbeitsblatt zur Auswertung von Originaltexten Lamarcks [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

- Lamarck erkannte die Veränderlichkeit der Arten (wie bereits vor ihm Cuvier*).
- Er erkannte den Zusammenhang zwischen Struktur und Funktion sowie, dass die Veränderung der Arten (Evolution) in Zusammenhang mit der Umwelt steht.
- Er sah die Ursache für die Veränderung der Arten ausschließlich in sehr kleinen Schritten (im Gegensatz zu Cuvier*).
- Er formulierte die Hypothese der Vererblichkeit erworbener Merkmale, die später falsifiziert wurde. Allerdings gab es zu seiner Zeit noch keine wissenschaftlichen Erkenntnisse zur Vererbung.

*) Cuvier taucht im LehrplanPLUS nicht auf; ich will hier nur andeuten, dass Lamarck seine Ideen nicht aus dem Nichts formulierte, sondern sich auf Erkenntnisse von Vorgängern stützte.

Es ist wichtig, die Schüler (wieder mal) darauf hinzuweisen, dass der Weg der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung darin besteht, überprüfbare Hypothesen aufzustellen, und diese anhand möglichst vieler Belege zu verifizieren oder zu falsifizieren. Ein Wissenschaftler, der eine neue Hypothese aufstellt, leistet damit sehr wertvolle Arbeit, selbst wenn seine Hypothese später falsifiziert wird; denn auch das ist ein Erkenntnisgewinn. (Nicht nur Schüler sind schnell bei der Hand, den Entwickler falsifizierter Hypothesen als minderwertig einzustufen!)

2.1.2 Charles Darwin (1809-1882)

Darwins Leben

Charles Darwin ist eine, wenn nicht „die“ zentrale Figur in der Biologie. Deshalb sollte seine Lebensgeschichte kurz vorgestellt werden, vielleicht als Schülerreferat.

An Darwins Leben war vieles ungewöhnlich:

- die große Forschungsreise auf der Beagle 1831-36
- die mehr als zwei Jahrzehnte währende Auswertung der Ergebnisse dieser Reise
- sein langes Zögern bei der Veröffentlichung seiner Evolutions-Hypothesen
- seine Qualen aufgrund des Bruchs mit den Aussagen der biblischen Schöpfungsgeschichte
- die Finanzierung seines Lebens durch seine Cousine und Ehefrau Emma Wedgwood (ihr Großvater hatte die erfolgreiche Porzellanmanufaktur Wedgwood gegründet, so dass seine Grundlagenforschung letztlich durch englisches Porzellan gesponsert wurde; ich brachte an dieser Stelle gerne ein Wedgwood-Tasse mit in den Unterricht)

Der Einfluss von Charles Lyell (1797-1865)

Wesentlichen Einfluss auf den jungen Charles Darwin hatte das Buch *Principles of geology* von Charles Lyell (1830-33). Ihm entnahm er das Aktualitätsprinzip, das besagt, dass geologische Vorgänge, die heute beobachtet werden, in der Vergangenheit genauso gewirkt haben, sowie die Regeln der Stratigraphie, der Lehre von der Abfolge der Gesteinsschichten. Das von Lyell entwickelte stratigraphische Prinzip besagt: Je jünger eine Gesteinsschicht ist, desto weiter liegt sie oben (wenn sie nicht durch geologische Vorgänge verlagert wurde). Zwar gab es zu Darwins Zeit noch keine Möglichkeit, das absolute Alter von Gesteinsschichten zu bestimmen, aber die relative Einstufung „älter – jünger“ war dadurch gegeben und damit eine Aussage über die Veränderung von Arten in einer Abfolge von Gesteinsschichten. Im Gegensatz zu Cuvier war

Lyell (wie Lamarck) davon überzeugt, dass der Artenwandel in sehr kleinen Schritten vor sich ging.

Lyell ist zwar kein Thema im LehrplanPLUS, aber es kann sinnvoll sein, das stratigraphische Prinzip kurz anzusprechen und mit Abbildungen zu veranschaulichen, weil es den Schülern helfen kann, ein nachhaltiges mentales Bild vom allmählichen Artenwandel aufzubauen.

Die Rolle von Alfred Russel Wallace (1823-1913)

Während Charles Darwin jahrelang viele Fakten sammelte und erst nach und nach daraus die Prinzipien der Evolution entwickelte, richtete Wallace seine Forschungen v. a. an Schmetterlingen im Malaiischen Archipel von vorneherein auf die Untersuchung der Evolution nah verwandter Arten aus (der Artenwandel galt damals bereits als sicher und es gab diverse Hypothesen zu seinen Ursachen, wenn auch vorerst noch ohne wissenschaftliche Belege). Wallace entwickelte Hypothesen zur Selektion, die denen von Darwin sehr ähnlich waren. 1858 schickte er sein Manuskript an Darwin mit der Bitte um Durchsicht. Dies war – mit Nachdruck angeregt durch Lyell – für Darwin der Anlass, sich endlich um die Veröffentlichung seiner eigenen Hypothesen zu kümmern. Aus Fairness sorgte er dafür, dass 1858 seine Hypothesen wie auch die von Wallace gleichzeitig als Aufsatz veröffentlicht wurden. Darwins grundlegendes Buch *On the Origin of Species* folgte ein Jahr später. Wallace verteidigte später mehrfach darin enthaltene Aussagen gegen Angriffe.

Darwins Hypothesen

Über Darwin steht genug in den Lehrbüchern, deshalb nur die Quintessenz seiner Hypothesen in plakativer Form für den Schulgebrauch (mit kurzen Anmerkungen):

- Veränderlichkeit der Arten: Arten sind nicht konstant, sondern verändern sich. (Darwin übernahm diese Hypothese von seinen Vorläufern wie Cuvier, Lyell, Lamarck usw.)
- Prinzip der Variation: Die Individuen einer Art sind nicht gleich, sondern es existiert eine mehr oder weniger starke Variation (Darwin betonte dies als erster; er war ein extrem fleißiger Naturbeobachter, schon als Kind, und wusste, wie unterschiedlich die Individuen beispielsweise innerhalb der selben Schneckenart aussehen können, während sonst in der Biologie stets nur der „typische“ Vertreter einer Art betrachtet wurde).
- Prinzip der Vererbbarkeit: Die Variationen innerhalb einer Art sind in vielen Fällen vererbbar. (Obwohl Mendel seine Vererbungsregeln bereits 1865 veröffentlichte, waren sie Darwin nicht bekannt.)
- Prinzip des Nachkommenüberschusses: Jede Art bringt mehr Nachkommen hervor, als zum Erhalt der Art nötig wäre.
- Prinzip der natürlichen Auslese: Ausgehend von der künstlichen Auslese (Zuchtwahl) bei der Züchtung von Nutzpflanzen und -tieren postulierte Darwin eine natürliche Auslese (*natural selection*), welche die am besten angepassten Individuen bevorzugt (*survival of the fittest*). Dies führt bei begrenzten Ressourcen zu einem Kampf ums Dasein (*struggle for life*). *Die natürliche Selektion ist den Schülern bereits aus der 9. Klasse bekannt.* Darwins Erklärungsmodell wird deshalb am besten als Selektions-Theorie bezeichnet.

Darwin hat somit 4 neue Prinzipien postuliert, ein ungeheurer Beitrag für einen einzelnen Forscher! (Zusätzlich hat er auch das Thema Isolation angestoßen, wenn auch noch nicht als ganz durchdachtes Konzept.)

Darwin besprach diese Prinzipien mit Züchtern von Tauben und Schafen (den Profis der künstlichen Auslese) und übertrug sie dann auf die Natur.

Hinweis: Für den Schulgebrauch geht man vereinfachend davon aus, dass gemäß Darwin erworbene Eigenschaften nicht vererbt werden, sondern nur Eigenschaften, die auch ohne Gebrauch bzw. Nichtgebrauch da waren und nicht erst erworben werden mussten. Darwin selbst war sich in dieser Hinsicht allerdings überhaupt nicht sicher und räumte die Möglichkeit der Vererbung erworbener Eigenschaften als eine von mehreren Ursachen für Veränderungen von Lebewesen auch in seinem Hauptwerk On the Origin of Species ein – wie hätte er es anders wissen können ohne Kenntnis der Vererbungsgesetze. In seinen späteren Werken machte er deutlich, dass er die Vererbung erworbener Eigenschaften in bestimmten Fällen durchaus für plausibel, wenn nicht sogar für selbstverständlich hielt. Aus didaktischen Gründen lässt man dies in der Schule weg und stellt plakativ gegenüber: Lamarck propagiert die Vererbung erworbener Eigenschaften, Darwin nicht.

In On the Origin of Species diskutiert Darwin an verschiedenen Stellen Isolations-Mechanismen wie die großen Entfernungen zwischen den Rändern weitläufiger Gebiete oder von Meeresarmen getrennte Inseln; reproduktive Isolation dagegen kommt ihm nicht in den Sinn, obwohl er viele Details dazu kennt. Im Unterricht habe ich den Evolutionsfaktor Isolation bei der Besprechung von Darwins Theorie noch weggelassen (dieser Aspekt ist bei ihm einfach noch zu unausgegoren) und erst bei der Besprechung der Synthetischen Evolutionstheorie eingefügt.

Hinweis: Darwin sprach von der Vererbung von Eigenschaften. Heute ist diese Formulierung veraltet, man spricht jetzt von der Vererbung von genetischen Informationen, die letztendlich den Eigenschaften (Merkmalen) zugrunde liegen. Es wird ja nicht ein schwarzes Fell vererbt, sondern die Information, wie und in welchen Zellen der schwarze Farbstoff herzustellen ist.

Darwins völlig neue Ideen (die für die Schüler nicht ohne weiteres begreifbar sind und deshalb nur schwer schülerzentriert erarbeitet werden können):

- Der **Wandel** der Arten beruht nicht auf einer Aktion der Lebewesen **nach** einer Veränderung in ihrer Umwelt, sondern auf der Existenz mehrerer Varianten einer Eigenschaft (z. B. Halslänge bei frühen Giraffen), die bereits **vor** einer Veränderung in der Umwelt vorhanden sind (Das ist ein grundlegender Gegensatz zu Lamarck). Heute nennt man dieses Phänomen Präadaptation (diesen Begriff nennt der LehrplanPLUS leider nicht, aber er erscheint mir sehr hilfreich).
- Das Prinzip der **Auslese** (nicht existent bei Lamarck): Es gibt mehr Nachkommen als nötig bzw. als bei den begrenzten Ressourcen überleben könnten, so dass diejenigen ausgewählt werden, die die beste (Vor-)Anpassung zeigen.

Unter „Auswahl“ (*selection*) versteht Darwin noch ziemlich drastisch die Entscheidung über das nackte Überleben der gut angepassten Individuen (*survival of the fittest*), während die schlecht angepassten vorzeitig sterben. (Die moderne Synthetische Evolutions-Theorie gibt sich da wesentlich moderater, da geht es „nur“ um die Fortpflanzungsrate.)

Eine erste Heranführung an einzelne Gedanken Darwins kann über kurze Textstellen erfolgen, an denen die **Schüler selbständig arbeiten** (wohingegen Schüler sich die Evolutions-Theorie Darwins nicht effektiv selbständig erarbeiten können!).

Arbeitsblatt zur Auswertung von Originaltexten Charles Darwins [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

Viele weitere für den Schulbetrieb ausgewählte und nach Themen geordnete Zitate im englischen Original der Ausgabe von 1872 und in der deutschen Übersetzung von 1876 sowie Hintergründe dazu finden sie im ...

Informationsblatt zu Charles Darwin [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

Die Zitate stammen aus *On the Origin of Species*, ein Buch, das in seiner deutschen Übersetzung streckenweise nur schwer zu lesen ist; das englische Original ist viel flüssiger. Diese umfangreiche Zitatesammlung kann z. B. als Quelle für schülerzentriertes Arbeiten verwendet werden (aber nur mit gezieltem Arbeitsauftrag!) oder für eine theoretische Seminararbeit (was ich in einem Experimentalfach allerdings nicht so gut finde, wenn nicht wenigstens ein praktischer Aspekt dabei ist wie z. B. die Darstellung der innerartlichen Variabilität anhand eigenes Erhebungen etwa bei der Hainschnirkelschnecke).

2.1.3 Vergleich

Lamarck	Darwin
Artenwandel findet statt	Artenwandel findet statt
Ursache für Artenwandel sind Gebrauch bzw. Nicht-Gebrauch von Organen (kleine Schritte)	Ursache für Artenwandel sind Variationen vererbter Eigenschaften (kleine Schritte)
Veränderungen treten erst auf, nachdem die veränderten Umwelt-Anforderungen auftreten (Reaktion auf Umwelteinfluss)	Veränderungen treten auf, bevor die veränderten Umwelt-Anforderungen auftreten: Die Individuen innerhalb einer Art unterscheiden sich mehr oder weniger geringfügig in ihren Eigenschaften (Variabilität).
erworbene Eigenschaften werden vererbt	„Eigenschaften“ werden vererbt unabhängig von Gebrauch oder Nicht-Gebrauch von Organen
–	Überproduktion von Nachkommen
–	Mangelsituation bedingt <i>struggle for life</i> (Konkurrenzsituation)
–	natürliche Auslese (<i>survival of the fittest</i>): Selektions-Theorie der Evolution

Dabei ist zu betonen, dass über Jahrtausende die Unveränderlichkeit der Arten Lehrmeinung war und die Tatsache eines Artenwandels erst ab dem frühen 19. Jahrhundert erkannt und anerkannt wurde.

Erklärvideo „Darwinismus“ (4:00)

<https://studyflix.de/biologie/darwinismus-6329>

Einsatz: ggf. im Anschluss an die Besprechung der Evolutionstheorie nach Darwin und gleichzeitig als Medienkritik durch die Schüler (bezüglich der nicht ganz stimmigen Formulierungen)

Inhalt: 5 Grundannahmen des Darwinismus (der hier als Synonym für seine Evolutionstheorie verwendet wird): Reproduktion mit Fortpflanzung und Überproduktion, gemeinsame Abstammung, Variation (hier wird etwas schwammig die zwischenartliche Variation betont, obwohl für die Evolution zunächst einmal die innerartliche entscheidend ist), Selektion, Artwandel. Bei den Darwinfinken klingt es so, als hätten sich die Arten bemüht, sich an bestimmte Nahrungsanforderungen anzupassen, dabei verhält es sich umgekehrt: Wer über eine besondere Schnabelform verfügt, kann sich besondere Nahrung verschaffen. Der Satz: „Bei Finken, die sich hauptsächlich von Nüssen ernährten, setzte sich [...] ein kürzerer, kräftiger Schnabel durch.“ müsste korrekt lauten: „Bei Finken mit kürzerem, kräftigem Schnabel setzten sich Nüsse als Hauptnahrung durch.“

2.1.4 Abgrenzung zu nicht naturwissenschaftlichen Vorstellungen

Evolutions-Leugner sind auf dem Vormarsch. Sie nehmen die Schöpfungsgeschichte der Bibel wörtlich als Erklärung für die Vielfalt der Arten und fordern, dass sie als gleichwertiges Erklärungsmodell neben die Evolutions-Theorie gestellt wird, in manchen Staaten der USA wird dies sogar als verbindlicher Lehrinhalt gefordert.

Wesentlich ist an dieser Stelle, dass Schüler, die überzeugte Kreationisten sind (bzw. Eltern oder enge Freunde haben, die diese Ansicht teilen), nicht bloß gestellt werden. Der Lehrplan verlangt allerdings, dass auch Evolutions-Leugner die Argumentationen der Wissenschaft kennen und sie darlegen können; er verlangt dagegen nicht, dass der Glaube an den Einfluss eines höheren Wesens auf das Leben aufgegeben wird. Fragt ein kreationistisch eingestellter Schüler, wozu er die Evolutions-Theorie lernen soll, wenn er es doch besser „weiß“, kann man ihn zurecht darauf verweisen, dass man das, was man fundiert ablehnen möchte, gut kennen sollte.

Naturwissenschaftliche Modelle wie die Evolutions-Theorie basieren auf Hypothesen, die überprüfbar und damit verifizierbar bzw. falsifizierbar sind. Die Evolutions-Theorie besteht aus einer großen Vielzahl von ausschließlich verifizierten bzw. plausiblen Hypothesen, von denen nicht eine einzige falsifiziert worden ist. Weil die Datenlage teilweise dürftig bzw. lückenhaft ist (z. B. bei Fossilien) und weil die Untersuchungsmethoden beschränkt sind, kann die Evolutions-Theorie nicht alle Fragen nach der Entstehung der Vielfalt des Lebens vollständig beantworten. Das schränkt allerdings die Gültigkeit der Aussagen nicht ein. Naturwissenschaftliche Modelle sind zudem veränderbar: Wenn neue Erkenntnisse auftreten, werden die bestehenden Hypothesen erweitert, modifiziert oder um neue ergänzt, zur Not auch mal umgeworfen (wie in der Chemie die Phlogistontheorie). Dass sich die Lehrmeinung immer wieder in dieser Weise wandelt, ist wesentlich für Naturwissenschaften und stellt deshalb ein Qualitätsmerkmal und kein Manko dar.

Kriterien der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung:

- Reproduzierbarkeit: Experimente müssen bei einer Wiederholung unter gleichen Bedingungen die gleichen Ergebnisse erzielen.
- Falsifizierbarkeit: Wissenschaftliche Hypothesen müssen so angelegt sein, dass sie durch Untersuchungsergebnisse widerlegt werden können.
- Vorläufigkeit: Wissenschaftliche Denkmodelle müssen anhand neuer Erkenntnisse bzw. Methoden überprüft und ggf. modifiziert bzw. verworfen werden.
- Logische Konsistenz: Wissenschaftliche Theorien müssen in sich, aber auch gegenüber Theorien aus Nachbarbereichen widerspruchsfrei sein.

Diese Kriterien stehen nicht im LehrplanPLUS, stellen also keinen Lerninhalt dar, können aber im Unterricht diskutiert werden. Ich würd's machen.

Im Gegensatz dazu stehen nicht-naturwissenschaftliche (kreationistische) Vorstellungen wie die (falsch verstandene) Schöpfungsgeschichte oder das Konzept „Intelligent Design“, das sich gerne einen pseudowissenschaftlichen Anstrich gibt, in Wirklichkeit aber dogmatisch ist und nur Belege zulässt, die in sein Modell passen (das ist ein wesentlicher Unterschied zur naturwissenschaftlichen Arbeitsweise). Die Hypothese, ein höheres Wesen habe die Arten der Lebewesen geschaffen oder zumindest die ursprünglichen Lebewesen, aus denen sich dann evolutiv weitere Formen entwickelt hätten, ist nicht überprüfbar und damit weder verifizierbar noch falsifizierbar. Damit ist diese Aussage auch keine Hypothese im naturwissenschaftlichen Sinn, sondern eine Glaubens-These und damit ein fundamentalistisches Dogma, das sich der Prüfung auf Verifizierung oder Falsifizierung entzieht.

Es ist sinnvoll, hier nochmals zu betonen, dass Glaube und Evolutions-Theorie keine Widersprüche sein müssen, solange beide Modelle innerhalb ihrer Gültigkeitsbereiche bleiben. Die Schöpfungsgeschichte ist nicht wörtlich als quasi wissenschaftlicher Bericht zu verstehen (beispielsweise enthält der menschliche Körper keine Lehmanteile oder besitzen Männer nicht weniger Rippen als Frauen), sondern als Metapher zu interpretieren. Die Religion befasst sich mit der Frage nach dem spirituellen Sinn des Lebens (welche Absicht, welcher Zweck könnte dahinter stecken), während die Naturwissenschaft nach den Mechanismen der Artentstehung fragt (und davon ausgeht, dass es in dieser Hinsicht keinen Sinn des Lebens gibt).

Vgl. z. B. Richard Dawkins: Der Gotteswahn. Ullstein, 13. Auflage 2014, Seite 527 ff

Kriterien zum Erkennen nicht-wissenschaftlicher Erklärungen:

- Verfolgt der Autor der Information ein Eigeninteresse? Wird reine Information vermittelt oder lediglich eine persönliche Meinung?
- Werden die Aussagen durch Angabe der Quellen belegt?
- Ist der Sprachton sachlich? Werden Vermutungen als Tatsachen dargestellt oder vorsichtig interpretiert?
- Wurden die Kriterien zur naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung eingehalten?

Als Einstiegsmedien eignen sich z. B. entsprechende Szenen aus „The Simpsons“. Unter der Eingabe „the simpsons evolution vs creationism“ findet sich eine 4:15 lange Szene (Ton und Untertitel auf Englisch) mit vielen Aspekten zu diesem Thema (die problemlos gekürzt werden kann). <https://www.youtube.com/watch?v=uo8GBLKoPt4> (Vorsicht: Von diesen Szenen könnten sich eingefleischte Kreationisten-Schüler möglicherweise diskriminiert fühlen! Wenn solche im Kurs sind, verzichten Sie auf solche Filme.)

Die Methodik für diesen Abschnitt hängt stark von der Zusammensetzung des Kurses ab: Sind Kreationisten im Kurs? Wie weit sind die Schüler in der Lage, die Unterschiede selbständig herauszuarbeiten und zu formulieren?

Hinweis:

Der Sozialdarwinismus, also die ungerechtfertigte Übertragung der Evolutions-Mechanismen auf gesellschaftliche Felder, wird im LehrplanPLUS nur für den Kurs mit erweitertem Anforderungsniveau vorgesehen. Es kann sinnvoll sein, im Kurs mit grundlegendem Anforderungsniveau darauf an dieser Stelle kurz einzugehen.

2.2 Synthetische Evolutions-Theorie

(ca. 4 Stunden)

Inhalte zu den Kompetenzen	Kompetenzerwartungen: Die Sch. ...
synthetische Evolutionstheorie als Zusammenspiel der Evolutionsfaktoren: Allelfrequenzänderung in einer Population durch Mutation und Rekombination, Variation, natürliche Selektion und Selektionsformen (stabilisierend, transformierend, disruptiv), Alledrift; Fitness	wenden die synthetische Evolutionstheorie an, um die Entstehung der Biodiversität sowie die Entstehung von Arten u. a. in der Ordnung der Primaten als Zusammenspiel der Evolutionsfaktoren zu erklären.
Vorwissen: Jgst. 9 Biologie , Lernbereich 4: Evolution (Evolution als Zusammenspiel der Evolutionsfaktoren genetische Variabilität, natürliche Selektion und Isolation (geographische Isolation); Entstehung der biologischen Vielfalt)	

Im 2.2 Abschnitt werden die Lerninhalte und Hintergründe zur Synthetischen Evolutionstheorie dargestellt. Im Unterricht sind alle Phänomene mit mindestens je einem Beispiel zu veranschaulichen, sonst wirkt das alles viel zu abstrakt. Das Beispiel des Birkenspanners (unter 2.2.6) ist als Einstieg, aber auch zur Erarbeitung einzelner Aspekte gut geeignet.

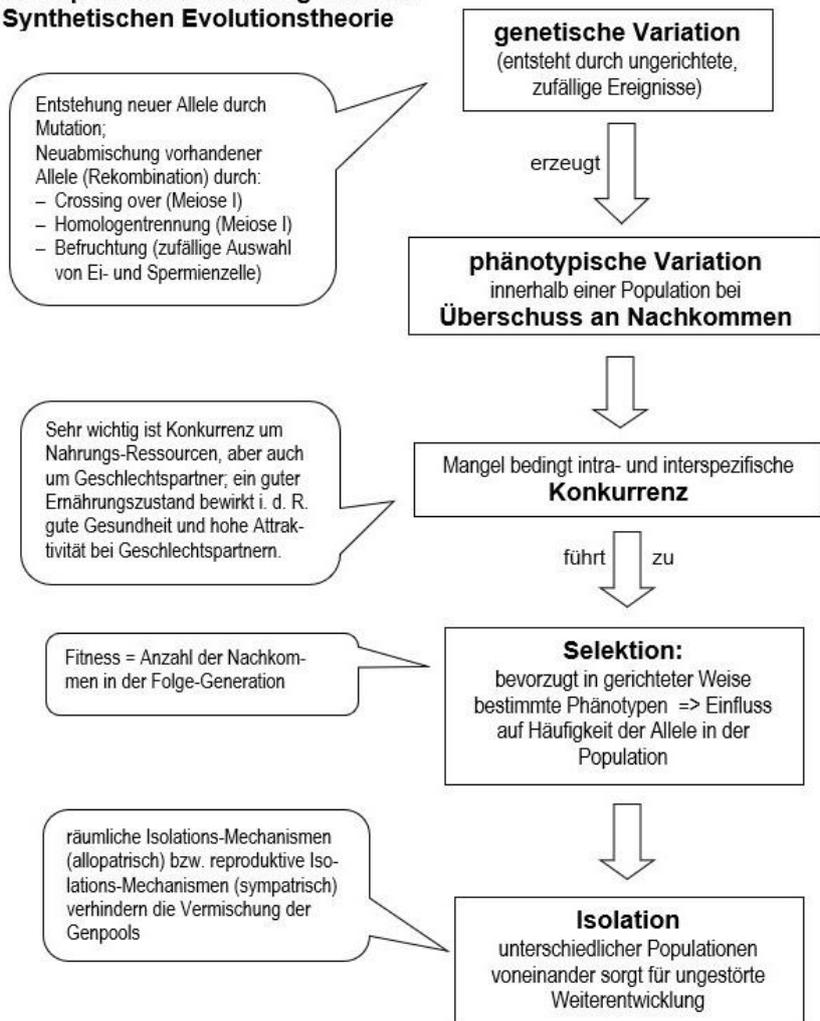
Neukombination und Rekombination sind Synonyme. Ohne Begründung verwendet der LehrplanPLUS in der Genetik den Begriff Neukombination und in der Evolution Rekombination.

Die (oben aufgeführten) Hypothesen von Charles Darwin und Alfred Russel Wallace besitzen nach wie vor Gültigkeit. Allerdings sind sie inzwischen verfeinert und ergänzt worden. Neu hinzugekommen sind die Erkenntnisse der klassischen und Molekular-Genetik, die sehr genaue Erklärungen für die Mechanismen der Vererbung und die Veränderungen der genetischen Information geben. Dazu kommen ein erheblicher Wissenszuwachs in Paläontologie, Zoologie, Botanik und Systematik sowie – seit den 1930er-Jahren – als neue Disziplin die Populationsbiologie, die mit mathematischen Methoden der Statistik arbeitet. 1942 veröffentlichte der britische Biologe Julian Huxley sein Buch *Evolution – The Modern Synthesis*, aus dem der Begriff Synthetische Evolutionstheorie abgeleitet wurde (im G8-Lehrplan als „erweiterte Evolutionstheorie“ bezeichnet). 1953 veröffentlichten James Watson und Francis Crick ihr Modell der DNA-Struktur und seither fließen die Erkenntnisse der Molekular-Genetik in die Synthetische Evolutionstheorie ein.

Hinweis:

Crossing-over ist im eA-Kurs bereits bekannt (Abschnitt 5.4.2 Genetik), nicht aber im gA-Kurs. Dort führen Sie diesen Stückaustausch zwischen homologen mütterlichen und väterlichen Chromatiden entweder kurz (!) ein oder Sie lassen ihn hier konsequent weg.

Prinzip der Artentstehung nach der Synthetischen Evolutionstheorie



Ablaufschema zu den Evolutionsmechanismen (wie Abb. rechts) [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#) [\[jpg\]](#)

Die Synthetische Evolutionstheorie erklärt das Zusammenspiel der (bisher bekannten) Evolutionsfaktoren. *(Ich halte mich bei der Gliederung an die Vorgabe des LehrplanPLUS.) Das Ablaufschema oben zeigt das Zusammenspiel der Evolutionsfaktoren in der Übersicht (hier ist auch die Isolation aufgenommen, die erst im Folgeabschnitt besprochen wird; sie kann vorläufig auch weggelassen werden). Das Schema wird selbstverständlich nicht als Informationsmaterial an die Schüler verteilt mit dem Auftrag, es auswendig zu lernen. Es könnte als Zusammenfassung am Ende der Besprechung ausgegeben werden. Es könnte auch dem Einstieg dienen, wenn die Schüler die Arbeitsauftrag erhalten, darin alles zu markieren, was bereits von Darwin formuliert worden ist. Das Blatt dient dann quasi als Wegweiser durch den Abschnitt 2.2.*

Erklärvideo „Synthetische Evolutionstheorie“ (4:57)

<https://studyflix.de/biologie/synthetische-evolutionstheorie-2775>

Einsatz: für Einstieg und Erarbeitung nicht geeignet, allenfalls am Ende der Besprechungen; die Schüler könnten sich kritisch darüber äußern, was sie gut dargestellt finden, was sie vermissen, was sie anders darstellen würden (Medien-Kritik)

Kritikpunkte: Ganz am Anfang heißt es: „Die Synthetische Evolutionstheorie ist die am besten begründete Evolutionstheorie ...“ – eine Formulierung, die der LehrplanPLUS ablehnt, denn sie ist nicht die am besten begründete, sondern die einzige (die Evolutionstheorie von Darwin ist kein Gegenentwurf, sondern wurde lediglich vertieft und erweitert; die Schöpfungsgeschichte bzw. Intelligent Design sind überhaupt keine Evolutionstheorien).

Statt Alleldrift wird der (nicht ganz korrekte) Ausdruck Gendrift verwendet.

Mutation und Rekombination erzeugen genetische Vielfalt, an der die Selektion ansetzt (hier wird die phänotypische Vielfalt übersprungen). Gendrift (Alleldrift) erscheint gleichwertig zur Selektion, das könnte suggerieren, dass ihr Einfluss gleich groß wäre.

2.2.1 Änderung der Allelfrequenz

Die meisten Gene kommen in zwei oder mehr Varianten vor, die als Allele bezeichnet werden. Die Häufigkeit eines Allels im Genpool einer Population nennt man seine Allelfrequenz. Evolution beruht darauf, dass sich die Allelfrequenz ändert.

Für die Änderungen im Vorkommen und in der Häufigkeit der Allele im Genpool einer Population sorgen zwei Mechanismen, die beide rein zufällig wirken:

- Mutationen bewirken die Erzeugung neuer Allele, z. B. durch Basenaustausch. Wie Mutationen ausfallen, ist rein zufällig, Mutationen stellen also keine gezielte Reaktion auf Veränderungen in der Umwelt dar.
- Rekombinations-Mechanismen bewirken eine Neuabmischung bereits vorhandener Allele. Dies sind im einzelnen: Crossing-over in Prophase I der Meiose, zufällige Verteilung der homologen Chromosomen in Anaphase I der Meiose sowie das zufällige Aufeinandertreffen von Ei- und Spermienzelle bei der Befruchtung.

Diese Mechanismen sorgen zusammen für die genetische Variation.

Dies ist den Schülern fast alles (Crossing-over nicht im gA-Kurs!) aus dem ersten Halbjahr bekannt (Lernbereich: Neukombination und Veränderung genetischer Information) und wird kurz wiederholt.

Nicht vom Lehrplan verlangt, aber geeignet zur Vertiefung bei interessierten Kursen:

Die **Mutationsrate** schwankt zwischen 10^{-4} und 10^{-8} Mutationen pro Gen und Generation (bei Eukaryoten: 10^{-5} bis 10^{-6}). Bei natürlichen Drosophila-Populationen findet man 2-3 % Mutanten. Beim Menschen tragen 10-40 % aller Keimzellen Mutationen.

[Die Quelle dieser Daten habe ich leider nicht notiert, sorry.]

Beispiel: Rennechsen

30 % der Rennechsen-Arten pflanzen sich parthenogenetisch fort, d. h. durch unbefruchtete Eizellen. Dadurch verzichten sie auf sämtliche Rekombinations-Mechanismen und schränken damit ihre genetische Variation stark ein.

Die Schüler können diese Problematik anhand der **Aufgabe 1** auf dem zweiten Aufgabenblatt zur Evolution selbständig erarbeiten:

Arbeitsblatt Evolution Aufgaben 2 [[docx](#)] [[pdf](#)]

Evolutionsgeschwindigkeit

Der Begriff taucht im LehrplanPLUS nicht auf, stellt also keinen Lerninhalt dar, kann aber erwähnt werden wie in **Aufgabe 2** auf dem selben Arbeitsblatt.

2.2.2 Phänotypische Variation

Ich interpretiere den im LehrplanPLUS genannten Begriff „Variation“ hier dahingehend, dass damit die phänotypische Variation in einer Population gemeint ist und nicht die genotypische (denn nur so ergibt die Reihung der Begriffe im LehrplanPLUS einen Sinn). Im Unterricht sollten Sie nur von „phänotypischer Variation“ sprechen und diese ggf. gegen die „genetische Variation“ abgrenzen (die im Abschnitt 2.2.1 thematisiert ist).

Die Genotypen der Individuen in einer Population sind nicht identisch, sondern variieren. Soweit die Genotypen im Phänotyp ausgeprägt werden (dominante Allele immer, rezessive nur bei Homozygoten), variieren auch die Phänotypen in dieser Population. (Die hohe Bedeutung dieser phänotypischen Variation haben bereits Darwin und Wallace erkannt und betont.)

Hierzu sollten den Schülern Abbildungen von der Variationsbreite innerhalb von Tierarten gezeigt werden z. B. von Schnirkelschnecken oder Löwen.

2.2.3 Natürliche Selektion

Die Selektionsformen werden im LehrplanPLUS konkret genannt (beim G8-Lehrplan blieb dagegen unklar, welche denn gemeint waren).

Lange Zeit galt es als Lehrmeinung, dass die Selektion auf der Ebene der Individuen ansetzt. Dann propagierten Biologen wie Julian Huxley die Gruppenselektion, also die Wirkung der Selektion auf der Ebene der Population. 1976 veröffentlichte der britische Biologe Richard Dawkins seinen Bestseller „Das egoistische Gen“ (The Selfish Gene), mit dem er einige Zeit für Furore sorgte, denn er belegte darin überzeugend, dass die Selektion auf der Ebene des einzelnen Gens ansetzt. Dawkins bezeichnet das Gen als „Replikator“, weil es identisch repliziert wird, und das Individuum als „Vehikel“, das lediglich die Aufgabe hat, den Genen als Bewährungsfeld zu dienen und dafür zu sorgen, dass sie repliziert werden.

„Jedes Individuum ist einzigartig. Es gibt keine Evolution durch Selektion, wenn von jedem Lebewesen jeweils nur eine Kopie existiert! Die geschlechtliche Fortpflanzung ist keine Replikation.“ [R. Dawkins in „Das egoistische Gen“, zitiert in R. Dawkins: Die Poesie der Naturwissenschaften, Ullstein 2016, S. 229]

„Replikatoren (auf unserem Planeten in der Regel Abschnitte des DNA-Codes, gelegentlich auch RNA) sind Einheiten, die tatsächlich überleben – und das potentiell für Jahrmillionen – oder nicht überleben. Die Welt füllt sich mit erfolgreichen Replikatoren, und erfolglose verschwinden; ‚erfolgreich‘ bedeutet hier buchstäblich, dass sie als Kopien über viele Generationen und selbst über erdgeschichtliche Zeiträume hinweg erhalten bleiben.“ [R. Dawkins: Die Poesie der Naturwissenschaften, Ullstein 2016, S. 561]

Für den Unterricht spielt das aber keine große Rolle, solange man nicht behauptet, dass die Selektion (ausschließlich) auf der Ebene der Individuen bzw. der Gruppe ansetzen würde und nicht auf der Ebene der Gene.

*Vertiefung für die Lehrkraft: Vgl. das Informationsblatt mit einer Sammlung von Dawkins-Zitaten: **Informationsblatt** Replikatoren und Vehikel (Richard Dawkins) [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)*

Erklärvideo „Selektion“ (5:11)

<https://studyflix.de/biologie/selektion-2776>

Einsatz: der erste Teil ggf. für eine erste Übersicht beim Einstieg in den Abschnitt „Natürliche Selektion“

Inhalt: An Beispielen werden drei Selektionsformen erklärt nämlich die natürliche, die künstliche und die sexuelle. (Das entspricht der Gliederung bei Darwin. Der LehrplanPLUS führt allerdings nur die natürliche Selektion auf.)

Erklärvideo „Selektionsfaktoren“ (4:17)

<https://studyflix.de/biologie/selektionsfaktoren-6742>

Einsatz: Zur Erarbeitung nicht geeignet, zur Schlusszusammenfassung bzw. zur individuellen Wiederholung nur bedingt geeignet

Inhalt: biotische und abiotische Selektionsfaktoren, jeweils mit einem Beispiel; die im Film genannten Begriffe Mimikry und Mimese tauchen im LehrplanPLUS nicht auf und lenken ab; Symbiose wird zwar von Koevolution abgegrenzt, als Beispiel wird aber jeweils eine koevolutiv entstandene Bestäubungs-Symbiose gezeigt (das kann Schüler leicht verwirren). Der im Film genannte Begriff „Adaption“ heißt eigentlich: Adaptation. Und am Anfang sollte besser von Allelen statt von Genen gesprochen werden.

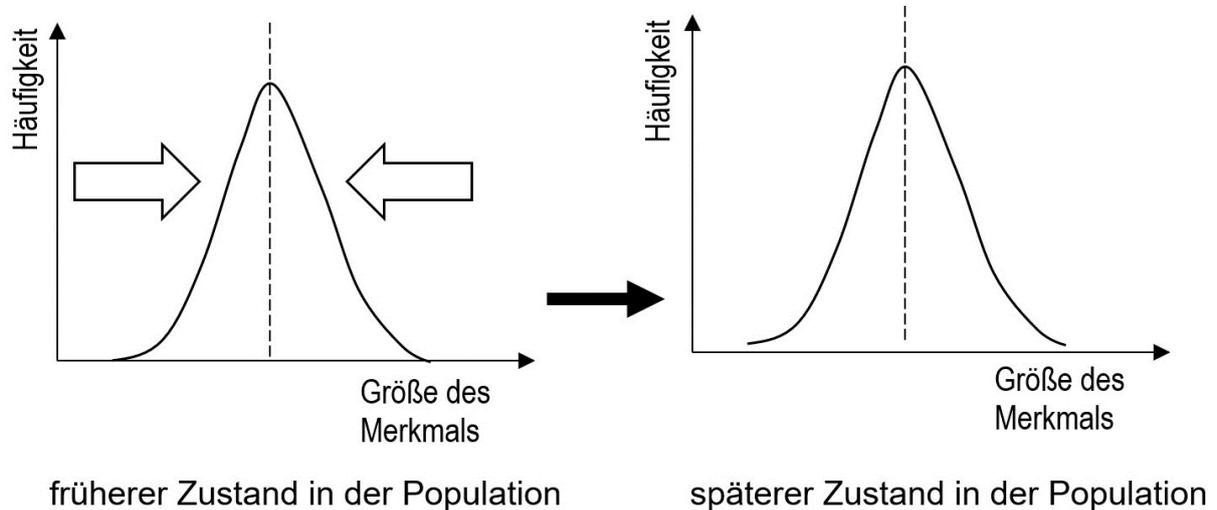
Der Begriff *natural selection* stammt von Charles Darwin. Er steht im Gegensatz zur künstlichen Selektion, die von Pflanzen- oder Tierzüchtern vorgenommen wird, um Individuen mit den erwünschten Eigenschaften zu erhalten. Diese wird bewusst durchgeführt, während die „natürliche Zuchtwahl“ nicht auf bewussten Entscheidungen beruht, sondern auf sogenannten Selektionsfaktoren der Natur.

Diese Selektionsfaktoren entsprechen den abiotischen und biotischen Umweltfaktoren, die auf ein Individuum bzw. eine Population einwirken wie beispielsweise Lufttemperatur, Färbung des Untergrunds, Sauerstoff-Konzentration bzw. Fressfeinde, Beutetiere, Fortpflanzungspartner. (Darwin hatte große Probleme, die Bedeutung des Fortpflanzungspartners als Selektionsfaktor zu sehen, denn er rätselte lange herum an Erscheinungen wie einem auffallend bunten Federkleid, das seinen Träger ja für einen Fressfeind gut erkennbar macht. Schließlich entwickelte er den Begriff der sexuellen Zuchtwahl und stellte ihn als eigenen Mechanismus der natürlichen Zuchtwahl gegenüber. Dabei stellt meiner Meinung nach der Sexualpartner einfach einen weiteren biotischen Selektionsfaktor dar.)

Im Gegensatz zu den Faktoren, welche die genetische Variation erzeugen, wirkt die natürliche Selektion gezielt (gerichtet) und damit nicht zufällig, denn sie ist direkt gekoppelt an den Überlebens- und Fortpflanzungserfolg der Individuen.

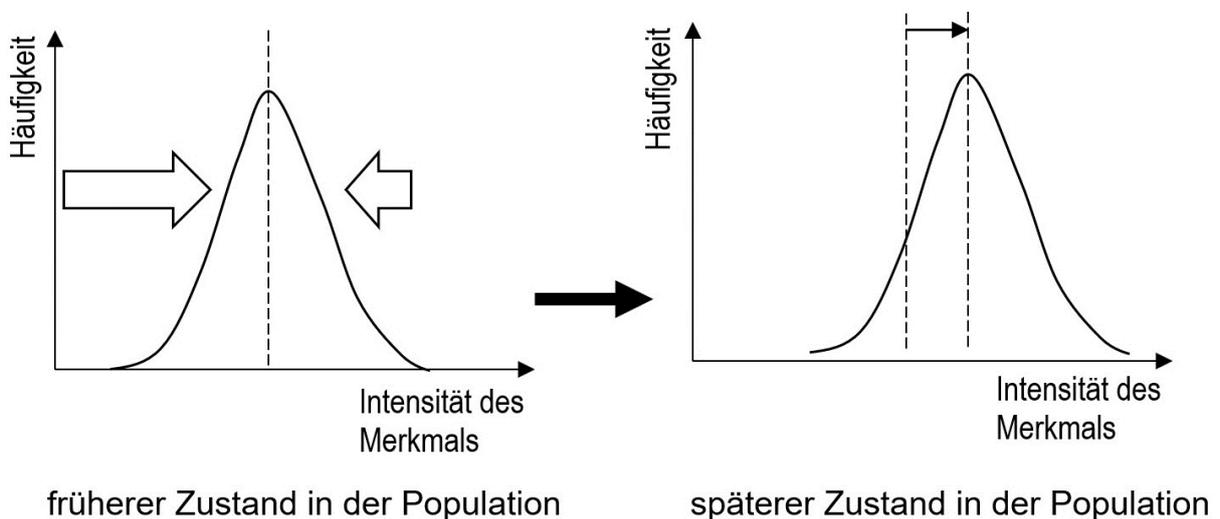
Die Auswirkung dieser Selektionsfaktoren auf die Population kann unterschiedlich sein. Man unterscheidet folgende Selektionsformen:

stabilisierende Selektion: Alle phänotypischen Merkmals-Varianten, die kleiner oder größer ausfallen als das anfängliche Maximum, werden benachteiligt, so dass über längere Zeiträume die phänotypische Ausprägung des Merkmals gleich bleibt. Der Selektionsdruck wirkt von beiden Seiten her in gleichem Ausmaß in Richtung des anfänglichen (und späteren) Maximums. (Der Selektionsdruck wird in den folgenden Abbildungen als Pfeil ohne Füllung dargestellt.)



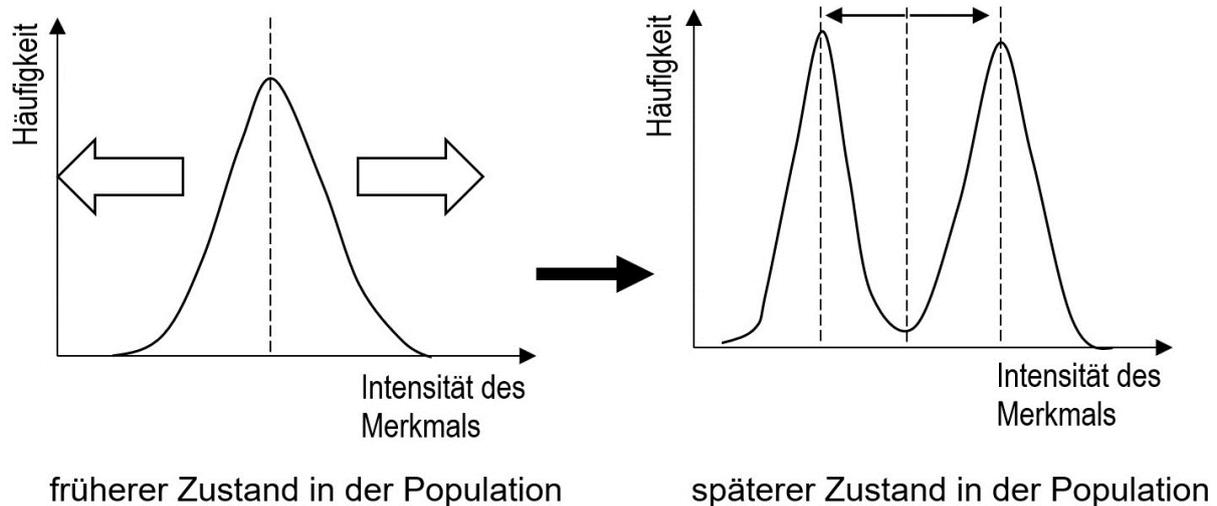
Graphik stabilisierende Selektion [\[jpg\]](#)

transformierende Selektion (gerichtete Selektion): Der Selektionsdruck wirkt in eine Richtung stärker, hin zu größeren / kleineren Merkmalen. Nach mehreren Generationen stellt man fest, dass sich das Maximum nach rechts / links verschoben hat.



Graphik transformierende Selektion [\[jpg\]](#)

disruptive Selektion (aufspaltende Selektion): Das ursprüngliche Maximum erweist sich unter neuen Umweltbedingungen als ungünstig, die Bereiche links und rechts daneben dagegen als günstig. Der Selektionsdruck wirkt nach beiden Seiten weg vom ursprünglichen Maximum, so dass nach mehreren Generationen zwei Maxima entstanden sind.



Graphik disruptive Selektion [\[jpg\]](#)

Beispiel: Insekten auf den Kerguelen-Inseln

Insekten auf den Kerguelen-Inseln, auf denen meist sehr starker Wind (abiotischer Selektionsfaktor) weht, besitzen stark verkümmerte oder keine Flügel. Der Selektionsvorteil besteht darin, dass sie nicht mehr so leicht auf den Ozean geweht werden können.

Dazu gehört **Aufgabe 3** auf dem Arbeitsblatt:

Arbeitsblatt Evolution Aufgaben 2 [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

Beispiel: Allen'sche Regel

Bei nah verwandten Arten von Säugetieren oder Vögeln (Thermoregulatoren) besitzen die polnahen Arten größere Körper als die äquatornahen. Begründung: Je größer ein Körper ist, desto kleiner ist seine spezifische Oberfläche (= Quotient aus Oberfläche und Volumen). Die Wärmeproduktion hängt vom Volumen ab, der Wärmeaustausch von der Oberfläche. Größere Körper geben pro Liter Körpervolumen weniger Wärme an die Umgebung ab. Dies ist z. B. bei Pinguinen oder Hirschartigen zu beobachten.

Dazu passen die folgenden Modellversuche:

ALP Blatt 10_2_v26: Bergmann-Regel (Faktor Temperatur) mit Wasser

ALP Blatt 10_2_v27: Bergmann-Regel (Faktor Temperatur) mit Kartoffeln

Beispiel: Bergmann'sche Regel

Bei nah verwandten Arten von Säugetieren oder Vögeln (Thermoregulatoren) besitzen die polnahen Arten kleinere Körperanhänge (Ohrmuscheln, Extremitäten). Begründung: s. o. Dies zeigt z. B. ein Vergleich zwischen Wüsten-, Rot- und Eisfuchs.

Dazu passt der folgende Modellversuch:

ALP Blatt 10_2_v28: Allen-Regel (Faktor Temperatur)

2.2.4 Alleldrift

auch nicht ganz korrekt als „Gendrift“ bezeichnet (denn was sich verändert, ist die Häufigkeit eines bestimmten Allels im Genpool einer Population); nach dem Begründer der Populationsgenetik auch Sewall-Wright-Effekt genannt (*Verzichten Sie auf den Begriff Allel- bzw. Genshift, denn der steht nicht im LehrplanPLUS.*)

Erklärvideo „Gendrift“ (4:48)

<https://studyflix.de/biologie/gendrift-2761>

(Korrekt wäre der – im LehrplanPLUS verwendete – Begriff Alleldrift.)

Einsatz: kann als Einstieg in den Abschnitt „Alleldrift“ verwendet werden. Es muss dann geklärt werden, welche Begriffe im Unterricht verwendet werden bzw. welche Begriffe auch Lerninhalte darstellen.

Inhalt: Erklärung der Begriffe Genpool, Allel-Häufigkeit (entspricht dem Begriff Allelfrequenz), Flaschenhalseffekt und Gründereffekt (ich teile das anders ein: Gründereffekt und Katastrophen-Ereignis sind zwei mögliche Ursachen für einen Flaschenhalseffekt).

Es gibt Fälle, in denen eine Veränderung in der phänotypischen Variation beobachtet wird, ohne dass es dafür eine triftige Erklärung aufgrund von Selektionsfaktoren gibt. Dies betrifft meist Merkmale, deren konkrete Ausprägung ohne größere Bedeutung ist (z. B. die Augen- oder Haarfarbe der Menschen in Mitteleuropa), die also keinem Selektionsdruck unterliegen. Eine Verschiebung in die eine oder andere Richtung erfolgt zufällig. Eine zufällige Änderung der Allelfrequenz macht sich in kleinen Population stärker bemerkbar, weil dort jede individuelle Veränderung statistisch stärker ins Gewicht fällt als in größeren Populationen.

Kleine Populationen treten v. a. in zwei Situationen auf:

- Gründer-Effekt: Eine kleine Gruppe von Individuen einer Art besiedelt als Gründerpopulation eine bislang von dieser Art nicht besiedelte, isolierte Region (z. B. eine Insel). Dabei werden nicht alle Allele mitgenommen, die Allelfrequenz ist durch Zufall bestimmt und stimmt in der Regel nicht mit der der Ursprungspopulation überein.
- Katastrophen-Ereignis: Eine größere Population wird durch eine Katastrophe (z. B. Vulkanausbruch, Waldbrand) sehr stark dezimiert und isoliert. Auch hier ist die Auswahl der überlebenden Allele und damit die Allelfrequenz der überlebenden Population rein zufällig.

Solche kleinen Populationen haben eine durch Zufall bestimmte Allelfrequenz, denn es gibt keinen Selektionsfaktor, der bestimmt, wer auf eine Insel verschlagen wird oder einen Waldbrand überlebt. Die zufällige Auswahl einer sehr kleinen Gruppe von Individuen durch Gründer-Effekt oder Katastrophen-Ereignis nennt man Flaschenhals-Effekt. (*Die Begriffe Gründer-Effekt, Katastrophen-Ereignis und Flaschenhals-Effekt werden vom LehrplanPLUS nicht verlangt, sind aber griffig.*)

Beispiel für einen Gründer-Effekt:

Der im westlichen Nordamerika lebende Seitenfleckleguan (*Uta stansburiana*) ist braun gefärbt mit zahlreichen hellen Flecken. Auf einigen Inseln im Golf von Kalifornien findet man auch schiefergraue bis schwarze Tiere. In beiden Fällen führt die Färbung zu einer effektiven Tarnung. Auf anderen Inseln leben aber leuchtend grün gefärbte Seitenfleckleguane, die weiterhin gut sichtbar sind. Solche Individuen findet man auch auf dem Festland, wo sie aber eine geringe Fitness haben, weil sie von Fressfeinden gut erkannt werden. Eine kleine Gruppe Leguane, unter denen zufällig das Allel für grüne Färbung überdurchschnittlich häufig vorkam, muss eines Tages auf eine dieser Inseln verschlagen worden sein. Weil dort keine Fressfeinde existieren, konnten sie sich ungestört vermehren.

Beispiele für einen Flaschenhals-Effekt unbekannter Herkunft:

Genetische Untersuchungen an Geparden (*Acinonyx jubatus*) haben gezeigt, dass alle heute lebenden Individuen einander genetisch extrem ähnlich sind. Dies deutet auf einen Flaschenhals-Effekt in der Vergangenheit hin (genau genommen waren es zwei hintereinander).

Vgl. Buchner-Buch, Seite 105 (M3).

Um das Jahr 1800 gab es in den Alpen nur noch etwa 100 Alpensteinböcke und zwar im italienischen Gran Paradiso. Ab 1821 wurden sie unter Schutz gestellt. 1856 machte König Viktor Emanuel II. diese Region zu seinem Jagdgebiet, das von vielen Wildhütern bewacht wurde, sodass der Bestand bis zum Ende des Jahrhunderts wieder auf 3000 Tiere anwuchs. Alle heutigen Alpensteinböcke stammen von den 100 Gründer-Individuen ab.

2.2.5 Fitness

Die Fitness wird im LehrplanPLUS erstmals im Kontext der Evolutionsmechanismen aufgeführt; im G8-Lehrplan stand sie bei der Verhaltensbiologie.

Von Charles Darwin stammt die Formulierung *survival of the fittest* im *struggle for live*. Die Wirkung der Selektion diskutierte er meist als Entscheidung zwischen Überleben und Tod. Demzufolge überlebten die Fittesten, also die Individuen mit den besten Anpasstheiten (nicht die Stärksten!).

Die Synthetische Evolutionstheorie verwendet zwar Darwins Begriff Fitness, definiert ihn aber anders. Gleichzeitig lässt sich der aus der Verhaltensökologie stammende moderne Fitness-Begriff quantifizieren, d. h. in Zahlen fassen:

Fitness ist das Maß für den Fortpflanzungserfolg, also für das Ausmaß, in dem die eigenen Allele in den Genpool der nächsten Generation eingebracht werden. (Computersimulationen zeigen, wie erstaunlich schnell sich eine Teilgruppe mit auch nur 10 % höherer Fitness im Laufe einiger Generationen in der Population durchsetzt!) Die Anzahl der Nachkommen hängt v. a. ab von der Effizienz der Nahrungsbeschaffung (Ernährungszustand der Eltern, Nahrung für die Kinder), dem Erfolg in der Balz („geschlechtliche Zuchtwahl“), aber auch von der Lebensdauer (je länger man lebt, desto öfter kann man sich fortpflanzen).

2.2.6 Beispiele

Die Beispiele, bei denen auch die Isolation angesprochen wird, sollten erst nach Behandlung des Teillernbereichs Isolation besprochen bzw. als Aufgaben gestellt werden.

Birkenspanner (*Endromis versicolora*): Einstieg und Übersicht

Sehr schöne Abbildungen dazu finden Sie in klett natura 12, 2010, Seite 30 f.

Konkrete Aufgaben zu diesem Beispiel stehen am Ende meines Didaktikskripts zur Evolution in der 9. Klasse nach LehrplanPLUS: [\[word\]](#) [\[pdf\]](#). Sie können auch in der Oberstufe verwendet werden (zuvor die Kursteilnehmer fragen, ob sie schon in der Mittelstufe gemacht worden sind).

Das Vorkommen des Birkenspanners ist vor allem in England über lange Zeiträume sehr gut dokumentiert: Vor der Industrialisierung gab es fast nur die hellgraue Variante dieses Nachtfalters, der tagsüber auf Birkenstämmen sitzt und dort für optisch orientierte Fressfeinde (Singvögel) nur schlecht erkennbar ist (Tarnfärbung); selten wurden jedoch auch dunkle Exemplare gefunden. Mit einsetzender Industrialisierung wurde vor allem in Industriegebieten viel Ruß in die Luft geblasen, so dass sich die Baumstämme mit der Zeit schwarz verfärbten. Zu dieser Zeit überwog die dunkle Variante bei Weitem, da nun diese Variante optisch gut getarnt war. Inzwischen ist die Luft wieder sauberer, so dass die helle Variante wieder überwiegt.

*Methodische Hinweise: Die Schüler werden mit den reinen Fakten konfrontiert und sollen Hypothesen zur Erklärung aufstellen und schriftlich festhalten. Oft postulieren sie eine gewollte Reaktion der Schmetterlinge, die nach der Veränderung in der Umwelt zur entsprechenden Umfärbung geführt habe. Beides sind weit verbreitete Vorstellungen, die man besser nicht als „Fehlvorstellungen“ bezeichnen sollte, sondern neutral als „alternative Konzepte“. Im Sinne der **didaktischen Rekonstruktion** werden diese Hypothesen kurz präsentiert und diskutiert. Die Lehrkraft sollte dabei das Gespräch so lenken, dass die Schüler letztlich ihre Irrtümer selbst erkennen und entsprechend korrigieren.*

Giraffen: unterschiedliche Erklärungsansätze

Dieses Arbeitsblatt steht in leicht veränderter Form auch für die 9. Klasse zur Verfügung. Die Kursteilnehmer am besten fragen, ob sie es schon aus der Mittelstufe kennen.

Die langen Häuse und Beine der Giraffen dienen der Konkurrenzvermeidung bei der Nahrungsbeschaffung. Gut genährte Individuen haben größere Chancen zur Fortpflanzung (sexuelle Selektion).

Arbeitsblatt Giraffen [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

Fleischfressende Pflanzen: Woher kommen die neuen Merkmale?

Dieses Arbeitsblatt ist sehr anspruchsvoll und sollte, wenn überhaupt, nur im eA-Kurs eingesetzt werden. Dabei wird der Umgang mit komplexen Informationstexten eingeübt. Inhaltlich wird dargestellt, dass die besonderen Neuerungen, die nötig sind, um als Pflanze Tiere als Nahrungsquelle zu erschließen, auf bereits vorhandenen Genen beruhen.

Arbeitsblatt Fleischfressende Pflanzen [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

2.3 Isolation

(gA: ca. 2 Stunden; eA: ca. 2,5 Stunden)

Inhalte zu den Kompetenzen	Kompetenzerwartungen: Die Sch. ...
Artbildung als Folge von geographischer und ökologischer Isolation; reproduktive Isolation und populationsgenetischer Artbegriff; Problematik des Artbegriffs	wenden die synthetische Evolutionstheorie an, um die Entstehung der Biodiversität sowie die Entstehung von Arten u. a. in der Ordnung der Primaten als Zusammenspiel der Evolutionsfaktoren zu erklären.
Vorwissen: Jgst. 9 Biologie, Lernbereich 4: Evolution (Evolution als Zusammenspiel der Evolutionsfaktoren genetische Variabilität, natürliche Selektion und Isolation (geographische Isolation); Entstehung der biologischen Vielfalt)	

Den Schülern ist aus der 9. Klasse bereits die geographische Isolation bekannt. Neu hinzu kommen die ökologische und die reproduktive Isolation. Die Adaptive Radiation taucht im LehrplanPLUS nicht mehr auf.

Werden zwei Teilpopulationen voneinander isoliert, so entwickeln sie sich unabhängig voneinander weiter. So können zwei verschiedene Rassen der selben Art entstehen. Die Isolation sorgt dafür, dass sie sich in dieser Phase noch nicht vermischen.

Erklärvideo „Isolationsmechanismen“ (5:18)

<https://studyflix.de/biologie/isolationsmechanismen-2831>

Einsatz: ggf. zum Einstieg in die Isolationsmechanismen, aber ohne die dort verwendete Nomenklatur
Inhalt: gute Übersicht über die Isolationsmechanismen mit Beispielen. Unter präzygotischer Isolation werden die mechanische, zeitliche, ethologische, ökologische und geographische Isolation aufgezählt (das stimmt nicht ganz mit den Formulierungen in meinem Skript überein; zudem halte ich die Erklärung der

ökologischen Isolation über den Begriff „ökologische Nische“ für problematisch, weil das suggeriert, die Nische sei räumlich gemeint; dass sich Darwinfinken nicht paaren, weil sie unterschiedliche Schnabelform besitzen, halte ich für keine plausible Erklärung). Bei der postzygotischen Isolation wird unterschieden zwischen kaum lebensfähigen und sterilen Nachkommen.

2.3.1 Geographische Isolation

(auch: räumliche Isolation oder Separation)

Beispiel für geographische Barrieren sind Hochgebirge, tiefe und lange Täler, ausgedehnte Gletscherzungen, Flüsse, Meeresarme, Wüsten, aber auch sehr große Entfernungen innerhalb eines ausgedehnten Verbreitungsgebiets. Die Entstehung neuer Arten aufgrund geographischer Isolation wird allopatriische Artbildung genannt (*allos*, altgriechisch: fremd; *patra*, altgriechisch: Heimat), weil die neuen Arten unterschiedliche Heimatregionen bewohnen. Der Begriff allopatriisch steht nicht im LehrplanPLUS und stellt damit keinen Lerninhalt dar. Wie effektiv eine geographische Barriere wirkt, hängt von der Mobilität der Lebewesen ab, so wirken Täler auf Galapagos-Riesenschildkröten als sehr effektiver Isolations-Mechanismus, auf Galapagos-Finken dagegen nicht.

Beispiele für Artaufspaltung durch geographische Isolation:

Nebel- und Rabenkrähe entstanden aus Gründerpopulationen, die durch die Gletscher während der Mindel-Kaltzeit voneinander getrennt wurden. Die Trennung in zwei Arten ist dabei nicht vollständig vollzogen. Die Nebelkrähe kommt im westlichen Teil Europas nicht vor.*

Sprosser (*Luscinia luscinia*) und Nachtigall (*Luscinia megarhynchos*) sind zwei Singvogelarten der selben Gattung, deren Gründerpopulationen vermutlich ebenfalls durch die Vergletscherung während der Kaltzeiten voneinander getrennt wurden. Sie gelten als zwei vollständig getrennte Arten.*

*) vgl. **Aufgabe 4** auf dem Arbeitsblatt *Evolution Aufgaben 2* [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

Sommer- und Wintergoldhähnchen sind ein weiteres Beispiel dafür.

In Deutschland unterscheidet man zwei Unterarten des Feuersalamanders mit getrennten Verbreitungsgebieten: Der Gebänderte Feuersalamander (*Salamandra salamandra terrestris*) lebt in West- und Mitteleuropa und der Gefleckte Feuersalamander (*Salamandra salamandra salamandra*) in Ost- und Südosteuropa bis nach Griechenland. Einen Teil der Trennungslinie bildet der Lech. Die heutige Verbreitung spricht für eine geographische Isolation bei der Artaufspaltung (Gletscher, Flüsse).

Viele Tier- und Pflanzenarten sind auf Inseln endemisch, das heißt: Sie kommen nur dort vor. Die Meeresteile zwischen den Inseln wirken als Barriere. Beispiele dafür sind die Galapagos-Finken, die keine sehr geschickten Flieger sind, sowie die Kleidervögel auf Hawaii.

Auch Klimaregionen können eine geographische Barriere darstellen: Beispielsweise lebten während der letzten Kaltzeit („Würm-Eiszeit“) bestimmte Pflanzen in der Kältesteppe zwischen den Eispanzern über den Alpen und Nordeuropa. Als das Klima wärmer wurde, veränderte sich deren Verbreitungsgebiet so, dass sie heute nur noch in den Höhenlagen der Alpen bzw. in Skandinavien zu finden sind, wo sie sich isoliert voneinander weiter entwickelten, weil sie die dazwischen liegende wärmere Klimaregion nicht mehr überwinden konnten.

Beispiel Braunbären: Braunbären zählen zu den größten an Land lebenden Carnivoren (Ordnung: Raubtiere). Während der letzten Eiszeit waren die russische Fernost-Halbinsel Kamtschatka und Alaska durch eine Landbrücke miteinander verbunden, weil der Meeresspiegel viel tiefer lag als heute. Zur gleichen Zeit war aber Alaska vom übrigen nordamerikanischen

Kontinent durch gewaltige Eisschilde getrennt. Als vor etwa 11.000 Jahren diese Gletscher schmolzen und der Meeresspiegel wieder stieg, verschwand die Landbrücke der Beringstraße, während die Trennung zwischen den heutigen Gebieten von Kanada und den USA aufgehoben wurde. Ein internationales Forscherteam um Axel Janke veröffentlichte 2023 die Ergebnisse seiner Genomanalysen an insgesamt 128 Tieren, die bestätigten, dass die Braunbären in ganz Europa bis nach Westsibirien eine einheitliche Gruppe darstellen (Eurasischer Braunbär, *Ursus arctos arctos*). Die klassische Systematik unterschied bisher in Nordamerika nur den auf der Insel Kodiak lebenden Kodiakbären (*Ursus arctos middendorffi*) und den Grizzly (*Ursus arctos horribilis*). Die Genomanalysen zeigten aber, dass sich der im Südwesten von Alaska lebende Alaska-Halbinsel-Braunbär (der bisher als Spielart des Grizzly betrachtet wurde) deutlich vom Grizzly unterscheidet und eher dem Kodiakbären ähnelt. Dies könnte darauf hin deuten, dass Alaska-Halbinsel-Braunbär und Kodiakbär eine Festland- und eine Inselpopulation mit gemeinsamem Ursprung darstellen. Auf jeden Fall zeigten die Genomanalysen, dass der Alaska-Halbinsel-Braunbär und der Kamtschatka-Bär (*Ursus arctos beringianus*) gleiche unmittelbare Vorfahren haben. (Alle genannten Formen gehören zu verschiedenen Unterarten der Art *Ursus arctos*.) [Menno J. de Jong et al.: Range-wide whole-genome resequencing of the brown bear reveals drivers of intraspecies divergence, Communications Biology 2023]

2.3.2 Ökologische Isolation

Artaufspaltung kann aber auch in ein und demselben Raum geschehen (sympatrische Artbildung; *der Begriff wird vom LehrplanPLUS nicht verlangt*). Das ist dann der Fall, wenn sich die unterschiedlichen Gruppen nicht zur Fortpflanzung begegnen. So treffen ausschließlich im Uferbereich eines großen Gewässers lebende Populationen nicht auf Populationen, die ausschließlich im Tiefwasserbereich leben. Das gleiche gilt für Populationen, die in einem Wald verschiedene Stockwerke besiedeln (Boden, Strauchschicht, Kronenschicht). Theoretisch können sich die Mitglieder der unterschiedlichen Populationen im „Alltag“ durchaus begegnen, solange sie das nicht während der Paarungszeit tun.

Hinweis: In den Wikipedia-Artikeln steht, dass sich die Populationen im selben Raum deshalb nicht zur Fortpflanzung treffen, weil sie unterschiedliche ökologische Nischen besetzen. Diese Formulierung würde ich im Unterricht nicht verwenden, weil sie zu der falschen Vorstellung verführt, mit Nischen wären räumliche Kompartimente gemeint (dabei beschreibt die ökologische Nische das gesamte Verhalten einer Art, quasi ihren „Beruf“).

2.3.3 Reproduktive Isolation

Zur reproduktiven Isolation gehören alle Mechanismen, die eine Fortpflanzung verhindern, auch wenn sich die fortpflanzungsfähigen Individuen zur Paarungszeit begegnen können. Weil die Entwicklung dieser Mechanismen in der Regel einige Zeit dauert, muss ihr bei der Artaufspaltung ein anderer Isolationsmechanismus vorausgegangen sein.

Bei der reproduktiven Isolation unterscheidet man zwei Hauptrichtungen:

a) Verhinderung der Paarung bzw. der Befruchtung

- zeitliche Isolation:

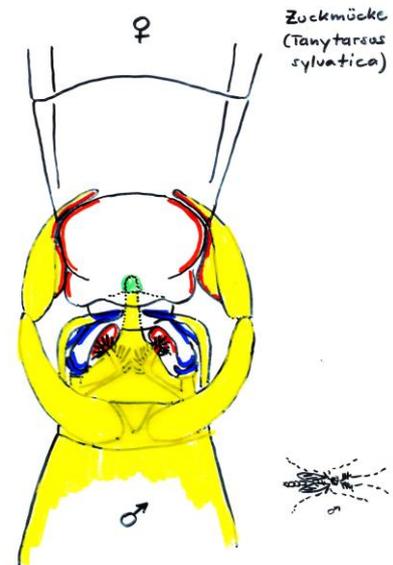
Nah verwandte Arten haben unterschiedliche Fortpflanzungszeiten (Tag bzw. Nacht; verschiedene Monate). Beispielsweise paaren sich die einheimischen Braunfrösche (Grasfrösche) im Februar und März, während die Grünfrösche (Wasserfrösche) zwischen Mai und Juli balzen.

- mechanische Isolation:

Die Paarungsorgane passen nicht wie Schlüssel und Schloss zusammen. Das findet man oft bei Gliedertieren, bei denen sehr nah verwandte Arten das gleiche Gebiet besiedeln. Die Paarungsorgane haben dann oft eine recht komplexe Ausgestaltung wie z. B. bei der Zuckmücke *Tanytarsus sylvatica* (Abb.), wo die rot, blau und grün markierten Areale sehr genau aufeinander passen müssen.

Abbildung Fortpflanzungsorgane Zuckmücke [jpg]

Auch die Hinterleibsanhänge bei männlichen Kleinlibellen unterscheiden sich deutlich voneinander, so dass Paarungen zwischen unterschiedlichen Arten vermieden werden (vgl. Bestimmungsschlüssel für Libellen).



- ethologische Isolation:

Wenn mehrere sehr nah verwandte Arten das selbe Areal bewohnen, ist deren Balzverhalten oft sehr komplex. Wenn auch nur eine Verhaltenskomponente nicht stimmt, kommt es nicht zur Paarung. Ein Beispiel dafür sind viele Arten der Leuchtkäfer (Glühwürmchen), bei denen die Männchen rhythmische Lichtsignale aussenden, die von den Weibchen erkannt werden. Je mehr Leuchtkäfer-Arten im selben Biotop vorkommen, desto stärker unterscheiden sich deren Leuchtmuster. Ein anderes Beispiel ist der Vogelgesang, der sich bei nah verwandten Arten meist drastisch unterscheidet. So ruft der Zilpzalp (*Phylloscopus collybita*) lediglich „zilp, zilp, zalp“, während der nah verwandte Fitis (*Phylloscopus trochilus*) einen komplexen und abwechslungsreichen Gesang hören lässt. Auch die oft komplexen und langdauernden Balztänze bei Spinnen dienen unter anderem der ethologischen Isolation.

b) Erfolglosigkeit der Befruchtung

Hierbei findet zwar eine Befruchtung statt, aber daraus entstehen entweder keine Nachkommen oder diese sind nicht fruchtbar.

- kein lebensfähiger Keim:

Die genetischen Informationen der beiden Elternteile passen nicht zusammen (falsche Regulation der Genaktivität), so dass sich die Zygote nicht teilt oder der Keim während seiner Entwicklung aufgrund von Fehlregulation zugrunde geht.

- keine befruchtungsfähigen Keimzellen:

Aus dem Keim entsteht zwar ein erwachsenes Lebewesen, aber es ist unfruchtbar, z. B. weil die Homologenpaarung bzw. die Reduktionsteilung in Meiose I nicht korrekt ablaufen kann (falsche Chromosomenanzahl). Ein Beispiel ist das Maultier, das bei einer Kreuzung zwischen einem männlichen Esel (*Equus asinus*) und einem weiblichen Pferd (*Equus equus*) entsteht bzw. der Maulesel, bei vertauschten Geschlechtern der Eltern. Zwar können die Kreuzungsprodukte zwischen Leopard und Tiger („Liger“) unter Umständen Nachwuchs erzeugen, aber nicht über viele Generationen hinweg; in der Natur sind solche Hybriden nie beobachtet worden.

Ggf. zwischendurch die Evolutionsfaktoren rekapitulieren, z. B. mit:

Erklärvideo „Evolutionsfaktoren“ (5:09)

<https://studyflix.de/biologie/evolutionsfaktoren-2757>

Einsatz: weniger im eigentlichen Unterricht, vielmehr für einzelne Schüler, denen eine kurze Wiederholung aus der Genetik und Evolution gut tut, z. B. am Ende des Abschnitts „Synthetische Evolutionstheorie“

Inhalt: 5 Faktoren: Mutation, Rekombination, Selektion, Gendrift, Isolation. (Ich halte es nicht für sinnvoll, die hier Gendrift genannte Alleldrift gleichwertig neben die anderen Faktoren zu stellen.) Übersichtliche Zusammenfassung.

2.3.4 Der populationsgenetische Art-Begriff

Hinweis: Der Wikipedia-Artikel „Art (Biologie)“, der dieses Thema beschreibt, ist sehr anspruchsvoll formuliert und deshalb als Quellentext für Schüler nicht geeignet.

Die Art ist die Grundeinheit der Systematik. Der Art-Begriff wurde von Linné geschaffen, der noch von einer Unveränderlichkeit der Arten ausging. Linnés Artbeschreibungen beziehen sich ausschließlich auf anatomische Merkmale (morphologischer Art-Begriff: „Alle Lebewesen einer Art stimmen in ihren wesentlichen Merkmalen überein.“). Arten sind aber nicht in allen Fällen streng voneinander abgegrenzt; das ist auch nicht zu erwarten, weil es nach der Evolutions-Theorie zu Veränderungen im Genpool und dadurch letztlich zur Artaufspaltung kommt.

Der populationsgenetische Art-Begriff (vormals: biologischer Art-Begriff) geht von Populationen aus (nicht von Individuen). Zwei Populationen gehören zu unterschiedlichen Arten, wenn zwischen ihnen eine Fortpflanzungs-Barriere herrscht. Eine Art wird demnach dadurch definiert, wie sich ihre Populationen gegenüber anderen Populationen verhalten.

Definition: „Zu einer Art gehören alle natürlichen Populationen, die untereinander fruchtbare Nachkommen hervorbringen können und von anderen Arten reproduktiv isoliert sind.“

Wesentlich in der Definition ist die Wirksamkeit der reproduktiven Isolation; Isolations-Mechanismen, die z. B. auf räumlicher Trennung basieren, sind hierbei irrelevant.

Innerhalb einer Art tauscht die Fortpflanzungs-Gemeinschaft ihre Gene aus (Genfluss) und teilt sich damit einen Genpool. *(Die Begriffe Genfluss und Genpool tauchen im LehrplanPLUS nicht auf, könnten aber hilfreich sein.)*

2.3.5 Problematik des Art-Begriffs

An dieser Stelle können die Schüler ihre eigenen Überlegungen gut einbringen.

- Bei ausgestorbenen Arten lässt sich die Fortpflanzung nicht beobachten; bei ihnen ist der populationsgenetische Art-Begriff also nicht anwendbar.
- Zu einer Art gehören auch sämtliche Individuen, die sich nicht aktiv an der Fortpflanzung beteiligen, weil sie unfruchtbar sind wie z. B. die Arbeiterinnen bei Bienen, noch nicht oder nicht mehr im fortpflanzungsfähigen Alter, bereits verstorben oder von potentiellen Fortpflanzungs-Partnern räumlich isoliert.
- Die Fortpflanzung muss wissenschaftlich untersucht sein, was bei manchen Arten sehr schwierig ist. So hielt man lange Zeit die in der Sargasso-See nahe den Bermudas gefundenen Weidenblatt-Larven des Europäischen Aals (*Anguilla anguilla*) für eine eigene Art, bevor dessen Fortpflanzungs-Zyklus aufgeklärt wurde.
- Gerade bei Pflanzen ist es schwer, Arten voneinander abzugrenzen, weil sie oft über Artgrenzen hinaus fruchtbare Nachkommen hervorbringen. Beispielsweise ist die (fruchtbare) Moltke-Linde (*Tilia X moltkei*) eine Hybride zwischen *T. americana* und *T. petiolaris*. Zu den Verwandtschafts-Verhältnissen lassen sich einigermaßen problemlos Kladogramme erstellen, aber wo im Kladogramm die Grenze zur Art zu ziehen ist, ist oft umstritten.
- Populationen, die mitten in der Artaufspaltung stehen, lassen sich nicht eindeutig als Arten ausweisen. Ein Beispiel dafür sind die einheimischen Grün- oder Wasserfrösche. Viele

Systematiker geben ihnen heute die Gattungsbezeichnung *Pelophylax* (früher zählten sie wie andere echte Frösche zur Gattung *Rana*). In den 1960er-Jahren wurde entdeckt, dass der Teichfrosch (*P. „esculentus“*; früher: *Rana esculenta*) keine echte Art darstellt, sondern die uneingeschränkt fortpflanzungsfähige Hybride aus der Kreuzung zwischen dem Seefrosch (*P. ridibundus*) und dem Kleinen Wasserfrosch (*P. lessonae*). Diese relativ jungen Arten verfügen (noch?) nicht über eine ausreichende reproduktive Isolation.

Charles Darwin behandelt in On the Origin of Species ausführlich viele Beispiele von Problemen bei der Festlegung von Arten und kommt zu dem Schluss, dass es einer Schöpfungstheorie widerspricht, wenn man so oft nicht recht entscheiden kann, was eine eigene Art ist und was nicht, wo doch der Schöpfer jede Art separat für sich geschaffen haben soll. Dagegen passen die fließenden Übergänge zwischen Rasse, Unterart und Art hervorragend zu seiner Evolutionstheorie, gemäß der neue Arten aufgrund vieler sich anhäufender kleiner Veränderungen entstehen. Was für eine klare Argumentation! Zitat: „Bei der Annahme, dass die Arten einzeln erschaffen und die Varietäten [innerhalb der selben Art] erst durch sekundäre Gesetze entwickelt worden sind, wird eine solche Ähnlichkeit als eine äusserst befremdende Tatsache erscheinen. Geht man aber von der Ansicht aus, dass ein wesentlicher Unterschied zwischen Arten und Varietäten gar nicht vorhanden ist, so steht sie vollkommen mit derselben in Einklang.“

[Charles Darwin: „On the Origin of Species“, 6. Auflage 1872, in der Übersetzung von Heinrich Georg Carus, 1876; Nachdruck bei Parkland Verlag Köln 2000, S. 354 oben]

2.3.6 Art-Entstehung

Dieser Begriff steht im LehrplanPLUS nicht bei den Inhalten zu den Kompetenzen, wohl aber bei den Kompetenzerwartungen. Im Kurs mit grundlegendem Anforderungsniveau genügt es, die Entstehung von Arten an einem Beispiel näher zu betrachten, im Kurs mit erweitertem Anforderungsniveau muss zusätzlich ein Beispiel aus der Ordnung der Primaten besprochen werden.

Erklärvideo „Artbildung“ (4:29)

<https://studyflix.de/biologie/artbildung-2827>

Einsatz: kann als Einführung zum Abschnitt „Art-Entstehung“ eingesetzt werden, fasst dann vor allem das Vorwissen zusammen.

Inhalt: Arten entstehen aus bestehenden Arten durch Aufspaltung. Erklärung der Begriffe Genpool, Mutation, Selektionsvorteil. Die reproduktive Isolation wird genannt, aber nicht erklärt. Im letzten Teil werden allopatrische und sympatrische Artbildung unterschieden (diese Begriffe führt der LehrplanPLUS nicht auf).

Erklärvideo „Allopatrische Artbildung“ (4:33)

<https://studyflix.de/biologie/allopatrische-artbildung-2576>

Einsatz: weniger geeignet als Einstieg zum Abschnitt „Art-Entstehung“, weil das der Film „Artbildung“ straffer und anschaulicher leistet; ggf. zur Zusammenfassung am Ende dieses Abschnitts v. a. für Schüler, die das Ganze noch nicht so recht verstanden haben.

Inhalt: sehr ausführliche Beschreibung der Wirkung der Evolutionsfaktoren am Beispiel von Füchsen

Hinweis: Das Studyflix-Video zur sympatrischen Artbildung geht weit über das hinaus, was vom LehrplanPLUS vorgesehen ist.

a) Silbermöwe und Heringsmöwe

Eine Urpopulation von Möwen lebte während der Würm-Kaltzeit in einem Rückzugsgebiet in der Nähe des Kaspischen Meeres und breitete sich mit der Erwärmung, die vor ca. 12.000 Jahren einsetzte, nach Nordsibirien aus. Dort lebt heute noch die Rasse „Skandinavische Heringsmöwe“. Auf der Westseite ihres Verbreitungsgebiets entwickelte sich aus ihr die Rasse

„Britische Heringsmöwe“, auf der Ostseite die Rasse „Sibirische Silbermöwe“, welche Nordost-Asien und Alaska bewohnt. Als geographische Isolation wirkte die große Entfernung, da Möwen keine jährlichen Wanderungen unternehmen. Aus der Sibirischen Silbermöwe entwickelte sich die Rasse „Amerikanische Silbermöwe“, die den Nordstreifen von Nordamerika bewohnt. Aus ihr entwickelte sich schließlich die „Britische Silbermöwe“, die von Nordamerika aus über den Atlantik kam und heute Nordwest-Europa bewohnt.

Zwei benachbarte Rassen kreuzen sich erfolgreich im Überlappungsgebiet, das heißt: Nach dem populationsgenetischen Artbegriff gehören sie zur selben Art.

In Nordwest-Europa, wo die beiden Enden des Rassenkreises überlappen, bilden Britische Silbermöwe und Britische Heringsmöwe keine Fortpflanzungsgemeinschaft, das heißt: Sie verhalten sich wie zwei verschiedene Arten (*Larus argentatus* und *Larus fuscus*), weil sie reproduktiv voneinander isoliert sind (unterschiedliche Paarungs- und Nestbauzeiten). Für die Systematiker ist diese Situation unbefriedigend, weil diese beide Arten rund um den Polarkreis durch Rassen verbunden sind, die sich in den Überlappungsgebieten untereinander problemlos fortpflanzen. Deshalb ist es nicht möglich, eine objektive Grenze zwischen den beiden Arten zu ziehen. Die Namensgebung suggeriert, dass in Nordost-Asien die Art-Grenze zwischen Skandinavischer Herings- und Sibirischer Silbermöwe verlaufen würde, aber diese beiden Formen kreuzen sich dort erfolgreich. Was den Systematiker nervt, freut dagegen den Evolutionsbiologen: An diesem Beispiel wird sichtbar, wie über die Bildung von Rassen eine neue Art entsteht.

Abbildung Zirkumpolare Möwenrassen [\[jpg\]](#)

[Reinzeichnung von Thomas Nickl nach AH. Meyer, K. Daumer: evolution. bsv 1980; Abb. 68.1, Seite 68]



b) Entstehung von Arten in der Ordnung der Primaten

Nur im Kurs mit erweitertem Anforderungsniveau; dort wird bei Kompetenzen verlangt, die Entstehung von Arten u. a. in der Ordnung der Primaten als Zusammenspiel der Evolutionsfaktoren zu erklären.

An dieser Stelle können z. B. die Selektionsvor- und -nachteile von Neuentwicklungen wie dem aufrechten Gang, dem Verlust des Haarkleides, der starken Vergrößerung des Gehirns diskutiert werden. Vgl. Abschnitt 1.3.1 Ursprung des Menschen in meinem Didaktik-Skript zur Evolutionsforschung.

2.4 Koevolution

(gA: ca. 2 Stunden; eA: ca 2,5 Stunden)

Inhalte zu den Kompetenzen	Kompetenzerwartungen: Die Sch. ...
Koevolution: mutualistisch, antagonistisch	erklären u. a. auch beim Menschen wechselseitige Angepasstheiten zwischen interagierenden artfremden Lebewesen als Ergebnis einer Koevolution.
Vorwissen:	–

Im Unterschied zum G8-Lehrplan benennt der LehrplanPLUS konkret zwei Spielarten der Koevolution. Hierbei genügt je ein Beispiel. Sowohl die Definitionen als auch die Beispiele können problemlos von Schülern erarbeitet und präsentiert werden.

Die Schüler sollen jeweils anhand der Mechanismen der Evolution die Entstehung der verschiedenen Angepasstheiten erläutern und dabei begründen, warum es sich um Koevolution handelt.

Koevolution bezeichnet eine evolutionäre Entwicklung zwischen zwei Arten, die wechselseitig einen starken Selektionsdruck aufeinander ausüben.

Erklärvideo „Koevolution“ (4:30)

<https://studyflix.de/biologie/koevolution-2854>

Einsatz: Für Einstieg und Erarbeitung wenig geeignet, da zu stark verkürzt, allenfalls als Ideensammlung, bei welchen Tier- und Pflanzenarten intensiver recherchiert werden kann. Auch geeignet für Medienkritik.

Inhalt: Koevolution bei Symbiose, Räuber-Beute-Beziehungen, Pflanzen-Pflanzenfresser-Beziehungen, Parasitismus sehr knapp, aber anschaulich dargestellt. Es wird betont, dass die Anpassungen nicht aktiv, sondern passiv erfolgen (aber das allein sagt den Schüler wohl kaum etwas), ansonsten wird gern etwas unsauber formuliert: „... passen sich an ...“.

2.4.1 Mutualistische Koevolution

mutuus, lateinisch: gegenseitig, wechselseitig

Die Evolution bewirkt Angepasstheiten, welche für beide Partnerarten von Nutzen sind, die also in einer Symbiose münden. Am Anfang einer solchen Entwicklung kann eine Beziehung stehen, aus der nur eine Art Gewinn erzielt, die andere aber nicht ernsthaft geschädigt wird.

Beispiel einer stark fortgeschrittenen Symbiose:

Der Stern von Madagaskar (*Angraecum sesquipedale*) ist eine Orchidee mit weißen Blüten, die einen Sporn von 40 cm Länge besitzen, in deren unterem Bereich Nektar produziert wird.

Charles Darwin sah ein in England kultiviertes Exemplar und stellte die Hypothese auf, dass es einen Schmetterling mit einem ebenso langen Saugrüssel geben müsse, der für die Bestäubung dieser Orchidee sorgt. Drei Jahrzehnte später (1903) wurde dieser Schmetterling auf Madagaskar entdeckt. Es handelt sich um eine Unterart eines bereits 1856 beschriebenen Schwärmers (Nachtfalters), die *Xanthopan morgani praedicta* benannt wurde (*praedicta*, lateinisch: die Vorausgesagte). 1997 wurde dessen Besuch auf der Blüte eines Sterns von Madagaskar fotografisch belegt. Genetische Untersuchungen der beiden Arten ergaben nach der Methode der molekularen Uhr ein Alter von jeweils etwa 7 Millionen Jahren.

Vorteil für die Pflanze: Als Bestäuber kommt vermutlich nur eine einzige Tierart in Frage, die immer die gleichen Blüten anfliegt (Blütentreue). Der Pollen wird also sehr gezielt zu Blüten der selben Pflanzenart gebracht, wodurch nur sehr wenig Pollen produziert werden muss (Pollen enthält DNA, deren Herstellung sehr aufwendig ist, u. a. weil sie relativ viel Stickstoff und Phosphor enthält).

Vorteil für den Schmetterling: Vermeidung von Nahrungskonkurrenz, weil andere Insekten kaum an den in großer Tiefe verborgenen Nektar kommen (außer sie beißen sich durch die Blüte wie manche Käfer).

Ein anderes Beispiel für eine Koevolution zwischen Blütenpflanze (Bedecktsamer) und Bestäuber besteht in der Ausbildung einer auffällig gefärbten Blüte und der Entwicklung des Farbensehens z. B. bei der Honigbiene. Dadurch wird die Blütentreue deutlich verstärkt und damit der Bestäubungserfolg deutlich erhöht.

Das gleiche gilt für den charakteristischen Blütenduft (meist eine Mischung aus mehreren Duftkomponenten) und der Entwicklung eines differenzierten Geruchsinns bei den Bestäubern.

Den gleichen Zweck verfolgt die Ausgestaltung einer Blüte, die dem Bestäuber stark ähnelt wie bei der Hummel-Ragwurz (*Ophrys holoserica*). Sie wird vorwiegend von Männchen der Wildbiene (Hummel) *Eucera longicornis* angefliegen, die die Blüte für ein Weibchen halten und versuchen, mit ihm zu kopulieren, wobei die Pollenübertragung stattfindet. Dabei wirken nicht nur die optischen Reize der Blütengestalt, sondern auch passende Lockstoffe (Pheromone) und die passenden taktilen Reize während der Kopulation. (Die Nachahmung einer artfremden Gestalt nennt man Mimikry.)

2.4.2 Antagonistische Koevolution

antagonistes, altgriechisch: Gegenspieler, Nebenbuhler, Feind

Antagonistische Koevolution findet man bei Nahrungsbeziehungen und Beziehungen zwischen Parasit und Wirt.

Beispiele:

Bestimmte Bäume und Sträucher (wie z. B. Schlehdorn, Weißdorn oder Rose) verfügen über Dornen (stark verkürzte, vorne spitze Zweige) oder Stacheln (spitze Auswüchse an der Sprossachse oder am Blatt), die dafür sorgen, dass sie von den meisten Blatt- und Zweigfressern in Ruhe gelassen werden. Bei Ziegen ist allerdings das Maul so gestaltet, dass es gegen Dornen und Stacheln unempfindlich ist (Koevolution).

Die Sinnesorgane von Beutetieren wie die von Beutegreifern haben sich im Laufe der Jahrmillionen immer weiter verfeinert, bei den einen, um den Fressfeind möglichst früh zu entdecken, bei den anderen, um die Beute möglichst früh und zielsicher zu erkennen.

Auch das Wettrüsten zwischen pathogenen Bakterien und ihren Wirten, die gegen sie Abwehrmechanismen entwickeln (letztlich das gesamte Immunsystem), gehört hierher. Interessant ist, dass bereits sehr primitive Vielzeller wie die Seeigel über Antikörper verfügen.

Säugetiere besitzen eine vergleichsweise dicke Haut, die vor den meisten Parasiten sehr effektiv schützt. Nur relativ wenige Insekten haben Stechwerkzeuge entwickelt, mit denen sie die Säugetierhaut durchdringen können. Dazu zählt u. a. die in Afrika beheimatete Tsetsefliege (Gattung *Glossina*), die mit ihrem Stechrüssel das Blut von großen Säugetieren saugt und dabei häufig (ohne dass sie selbst einen Vorteil davon hätte) den Erreger der Nagana-Seuche (*Trypanosoma brucei*), einen eukaryotischen Einzeller, überträgt. Laboruntersuchungen mit Tsetsefliegen zeigen, dass diese auf einem Untergrund mit relativ feinem Streifenmuster nicht landen, wohl aber auf Untergründen mit anderen Mustern. (Vermutlich sorgt im Vorbeifliegen das Streifenmuster für eine Verwirrung im optischen System der Fliegen.) Deshalb interpretiert man das Streifenmuster der Zebras als eine Abwehr gegen die Tsetsefliege. Dies wird dadurch

untermauert, dass Trypanosoma im Blut von praktisch allen Huftieren nachzuweisen ist, die im Freiland von Ostafrika leben, aber nur selten bei Zebras.

Arbeitsblatt „Raupen gegen Kreuzblütler“ [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

Die Pflanzen wehren sich gegen den Raupenfraß durch den Einsatz giftiger Senföle, die Raupen des Kohlweißlings wandelt diese mit Hilfe zweier Enzyme im Darm in harmlose Stoffe um. Mit Aufgaben für die Schüler. (Parasitismus, Koevolution)

Arbeitsblatt „Lianen gegen Urwaldbäume“ [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

Im quasiparasitären Verhältnis zwischen Regenwaldbäumen und Lianen in Panama lassen sich koevolutive Aspekte feststellen. Mit Aufgaben für die Schüler. (Koevolution, Anwendung von CRISPR/Cas)

Mensch (nur eA):

Wie viele Wirbeltiere verfügt auch der Mensch über einen stark sauren Magensaft, der die weitaus meisten Bakterien abtötet, die er mit der Nahrung aufnimmt. Das Bakterium *Helicobacter pylori* (entdeckt 1983) verfügt über das Enzym Urease, durch dessen Aktivität unter anderem Ammoniak entsteht, welches die Salzsäure des Magensafts in der unmittelbaren Umgebung um das Bakterium weitgehend neutralisiert. (Inzwischen ist *H. pylori* auch in den Mägen anderer Säugetiere und von Vögeln nachgewiesen worden.) Dieses Bakterium bewirkt häufig Magenerkrankungen.

Der Mensch wird oft als „nackter Affe“ bezeichnet, weil er sein Haarkleid weitgehend verloren hat. Der Selektionsvorteil dabei besteht einerseits darin, dass er damit über eine extrem effektive Kühlung verfügt, weil der Schweiß über den ganzen Körper verdunsten kann. Andererseits fehlt damit das typische Biotop für eine Reihe von Fell-Parasiten wie z. B. Läuse. Bei den Läusen haben sich allerdings Spezialformen entwickelt und zwar zwei Unterarten der Menschenlaus (die Kopflaus *Pediculus humanus capitis* und die Kleiderlaus *P. humanus humanus*) sowie die Filzlaus (*Phthirus pubis*), die in behaarten Restbiotopen des Menschen leben.

2.5 Kulturelle Evolution (nur eA)

(ca. 3 Stunden)

Inhalte zu den Kompetenzen	Kompetenzerwartungen: Die Sch. ...
kulturelle Evolution: Weitergabe von erlerntem Verhalten, Traditionsbildung, Werkzeuggebrauch, Sprachentwicklung, Informationsspeicherung	leiten Selektionsvorteile des Menschen ab, die sich durch die v. a. sprachliche Weitergabe von erlerntem Verhalten und Wissen an andere und an nachfolgende Generationen ergeben und erklären so die Bedeutung der sozialen und kulturellen Evolution des Menschen und seine weltweite Verbreitung.
Vorwissen:	–

Mit drei Unterrichtsstunden steht viel Zeit für schülerzentriertes Arbeiten (Recherche, Präsentation) zur Verfügung. Das wird aber nicht ohne ein sinnvolles Maß an Führung funktionieren, sonst „ertrinken“ die Schüler in den oft langen Quellenartikeln im Internet.

Der Wikipedia-Artikel „Kultur“ subsummiert unter diesen Begriff „im weitesten Sinne alle Erscheinungsformen menschlichen Daseins, die auf bestimmten Wertvorstellungen und erlernten Verhaltensweisen beruhen [...] – als Gegenbegriff zu der nicht vom Menschen geschaffenen und nicht veränderten Natur.“ [aufgerufen am 7.8.2023]

Im biologischen Kontext ist eine Definition, die sich ausschließlich auf den Menschen bezieht, nicht sinnvoll, denn nicht im Erbgut verankerte, sondern durch Erfahrung gewonnene und an andere Mitglieder der Population weitergegebene Fähigkeiten gibt es nicht nur beim Menschen. Einzigartig bei ihm ist allerdings der ungeheure Umfang und die gewaltige Differenziertheit bei Erwerb und Weitergabe kultureller Errungenschaften.

Während die Errungenschaften der natürlichen Evolution über das Informations-System der Gene weitergegeben wird, bedient sich die soziale und kulturelle Evolution anderer Kommunikations-Systeme wie der Tradition über Nachahmung, aber auch der Sprache.

Der britische Biologe Richard Dawkins schuf, parallel zum Begriff „Gen“, den mittlerweile allgemein verwendeten Begriff „**Mem**“ (das Mem, die Meme *) als Einheit für einen Bewusstseinsinhalt. Wie Gene werden auch Meme repliziert, aber im Unterschied zu ihnen nicht als Eins-zu-Eins-Blaupause, sondern indem sie vom Empfänger aufgenommen und von ihm als mentales Bild neu konstruiert werden. Das Mem ist zwar nicht Unterrichtsstoff, aber es schadet nicht, wenn eine Biologie-Lehrkraft den Begriff kennt.

*) Nicht zu verwechseln mit Meme, einem meist humorvollen Gag im Internet.

2.5.1 Kultur bei verschiedenen Tierarten

Dieses Thema steht zwar nicht im LehrplanPLUS, aber man sollte kulturelle Phänomene bei anderen Tierarten kennen, um die Kultur beim Menschen richtig einordnen zu können.

Kultur im evolutionsbiologischen Sinn könnte definiert werden als **Entwicklung, Erwerb, Anwendung und Weitergabe von Fähigkeiten, die nicht genetisch bedingt sind.**

So eine Definition schließt Kultur bei anderen Arten nicht aus, ganz im Gegenteil. Es wäre auch schwer vorstellbar, wenn die Kultur des Menschen aus dem Nichts heraus entstanden wäre.

Beispiele für Kultur in diesem Sinne bei anderen Tierarten:

Filmdoku (2:08): Einfache Werkzeug-Benutzung bei Schimpanse und Gorilla

<https://www.youtube.com/watch?v=utmcQh-0pYY>

Schimpanzen und Gorillas im Berliner Zoo verwenden Stöckchen, um an Leckereien zu kommen.

Filmdoku (0:33): Werkzeuge zum Nüsseknacken

<https://www.youtube.com/watch?v=ONrnRtznMPc>

Schimpanzen im Tai-Nationalpark benutzen Werkzeuge als Hammer und Amboss, um verschiedene Nüsse zu knacken.

- Schimpanzen benutzen nicht nur fertige Gegenstände als Werkzeuge, mit denen sie sich Nahrung beschaffen oder Lärm machen (Imponiergehabe), sondern sie stellen sie auch her und transportieren sie ggf. auch an den Ort der Verwendung. So streifen sie von Zweigen die Blätter ab, kürzen sie auf die gewünschte Länge, um damit in Termitenbauten nach Termiten zu angeln, oder kauen bestimmte Blätter grob und benutzen sie als Schwamm, mit dem sie Wasser aus Vertiefungen holen, in denen sie das Wasser mit den Lippen nicht erreichen können. (Beobachtungen von Jane Goodall an Schimpanzen in freier Wildbahn)
- Schimpanzen wurden im abgelegenen Goulougo-Dreieck (Republik Kongo) beobachtet, wie sie robuste Stöcke zum Aufbrechen der Termitenhügel und gleichzeitig dünne, biegsame Stöcke als Termiten-Angel über eine größere Strecke zu Termitenhügeln transportierten. Dies ist ein Hinweis darauf, dass Schimpanzen vorausschauend nicht nur einzelne Werkzeuge, sondern ein Werkzeug-Set verwenden.
- In Versuchen wurde beobachtet, dass Schimpanzen ihren Artgenossen Verstecke von Leckerbissen bzw. Schlangen (vor denen sie sich fürchten) mitteilen, aber auch verheim-

lichen können. Es wurde sogar beobachtet, dass ein Schimpanse für ein Versteck mit einem Leckerbissen eine Schlangenswarnung weitergab, also gelogen hat, um seinen Schatz nicht teilen zu müssen.

- Rotgesichtsmakaken (*Macaca fuscata*) leben in Japan. 1953 lockten Menschen auf der Insel Koshima etliche Individuen mit Kartoffeln aus dem Wald. Ein Weibchen wusch die verschmutzten Kartoffeln in einem Bach ab. Andere Mitglieder der Gruppe ahmten das Verhalten nach. Etwas später wuschen die Makaken ihre Kartoffeln im Meer; der salzige Geschmack gefiel ihnen offenbar. Dieses Verhalten zeigen die dort lebenden Makaken heute noch, es ist damit über viele Generationen zur Tradition geworden.
- Der auf Galapagos lebende Spechtfink (*Camarhynchus pallidus*) bricht Kaktusstacheln oder dünne Zweige geeigneter Länge ab, um mit ihnen Insekten oder deren Larven unter der Rinde oder aus Ritzen hervor zu pulen. (Ob diese Fertigkeiten kulturell erworben und als Tradition an den Nachwuchs weiter gegeben werden, ist mir allerdings nicht bekannt.)

Filmdoku (1:23): Touristengruppe beobachtet Spechtfink auf den Sta. Cruz Highlands, Galapagos
<https://www.youtube.com/watch?v=MIXQ9GKva1A>

Ton auf englisch

- Versuche mit Keas (*Nestor notabilis*), Bergpapageien von der Südinsel Neuseelands, zeigen, dass sie Strategien entwickeln und ausprobieren, Leckerbissen durch teilweise recht komplexe Handlungen aus Versuchsboxen zu beschaffen. Dabei traten Handlungen auf, welche die Vermutung nahe legen, sie gründen auf Einsicht.

Filmdoku (1:23): Kea

<https://www.youtube.com/watch?v=yMDNvoOIIIDA>

Ein Kea löst eine komplexe Aufgabe, um an einen Leckerbissen zu kommen. Universität Wien.

Filmdoku (2:17) Kea

<https://www.youtube.com/watch?v=7W7hEUGtv4U>

Ton auf englisch. Kea verwendet bereit gestellte Werkzeuge, um an einen Leckerbissen in einer Versuchsbox zu kommen.

- Auch Beobachtungen mit Neukaledonischen Geradschnabelkrähen (*Corvus moneduloides*) brachten ähnlich erstaunliche Ergebnisse. So bearbeiten sie aufwendig Blattstiele, bevor sie mit ihnen Insektenlarven aus ihren Fraßgängen ziehen. Auch von anderen Rabenvögeln sind Herstellung und Verwendung von Werkzeugen bekannt.

Filmdoku (3:20): Geradschnabelkrähe löst sehr komplexe Aufgabe

https://www.youtube.com/watch?v=Sc8dUJCA_Buo

Ton auf englisch (BBC-Produktion). Krähe „007“ kennt offensichtlich die Einzelelemente der Versuchsanordnung schon, nicht aber deren aktuelle Zusammensetzung. Die Aufgabe wird gezielt gelöst, nicht durch viele Schritte des Ausprobierens.

- An der Universität Wien wurde beobachtet, dass Goffin-Kakadus (*Cacatua goffiniana*), Papageien aus Indonesien, gleichzeitig zwei unterschiedliche Werkzeuge zum Versuchskasten transportierten (auch fliegend, wenn dies durch den Versuchsaufbau erforderlich war), die notwendig waren, um einen darin befindlichen Leckerbissen heraus zu holen. Wurde der Leckerbissen so angeboten, dass nur eines der Werkzeuge zu seiner Befreiung nötig war, nahmen sie meistens das andere Werkzeug nicht mit.

Veterinärmedizinische Universität Wien, A. J. Osuna-Mascaró et al.: Flexible tool set transport in Goffin's cockatoos. (Bericht im vbio-Newsletter am 15.3.2023)

Filmdoku (6:10): Goffin-Kakadu stellt Werkzeuge her und benutzt sie

<https://www.youtube.com/watch?v=P-qFYHP12ew>

Ausschnitt von 0:55 bis 2:58: Kakadu Figaro stellt verschiedene Werkzeuge her (u. a. aus Pappe) und benutzt sie, um an einen Leckerbissen zu kommen. Reportage des ORF aus der Veterinärmedizinischen Universität Wien.

Filmdoku (4:54): Goffin-Kakadu stellt Werkzeug (Stöckchen) her und benutzt es

<https://www.youtube.com/watch?v=AmHydYkgcd4>

Der erste Abschnitt (bis 0:42) zeigt all das sehr gut und genügt eigentlich. (Der zweite Abschnitt hat schlechte Bildqualität und zieht sich lange hin. Der dritte Abschnitt (ab 2:15) ist spannend, bringt aber nichts Neues (v. a. sieht man keine Werkzeug-Herstellung). Der vierte Abschnitt (ab 3:21) zeigt zwei Versuche zur Werkzeugherstellung (dickes, dünnes Stöckchen) und dessen Anwendung. Veterinärmedizinische Universität Wien

Die Beispiele zeigen, dass sich eine Intelligenz, die zur gezielten Herstellung und Verwendung von Werkzeugen nötig ist, mehrfach unabhängig voneinander entwickelt hat, aber ebenso, dass kulturelles Wissen auch außerhalb des Menschen über viele Generationen tradiert werden kann.

Eine Tierart, die fähig ist, kulturelle Fähigkeiten zu entwickeln, anzuwenden und an nachfolgende Generationen weiterzugeben, hat insofern Selektionsvorteile, als sie einerseits die Nutzung bestehender Ressourcen verbessern und andererseits flexibler auf einen Wandel der Umweltfaktoren reagieren kann.

2.5.2 Besonderheit der menschlichen Kultur

Den Kursteilnehmern soll klar sein, dass der Mensch eine Tierart von vielen darstellt, die – wie jede andere Tierart auch – ihre speziellen Eigenheiten hat. Die liegen beim Menschen vor allem im geistigen Bereich und ermöglichten dieser Art eine extrem hohe Individuenzahl und die Ausbreitung in praktisch alle Biotope. Diese Erkenntnisse stellen das Ergebnis dar, sollten also nicht an den Anfang dieses Abschnitts gestellt werden.

Herstellung und Nutzung von Werkzeugen, differenzierte Informationsweitergabe, kulturelle Tradition über Generationen hinweg – dies alles sind keine Alleinstellungs-Merkmale für den Menschen, denn all das findet man auch bei (wenigen) anderen Tierarten.

Dennoch unterscheidet sich die menschliche Kultur deutlich von den kulturellen Elementen bei ihren nächsten Verwandten:

- scharfkantige Werkzeuge: Bereits die frühen Arten der Gattung *Homo* verwendeten Abschlagwerkzeuge mit scharfen Kanten („entwickelte Oldowan-Kultur“); aus der gleichen Periode stammen Tierknochen mit Einkerbungen. Diese Werkzeuge müssen zunächst nicht unbedingt gezielt hergestellt worden sein, denn Steinbrocken mit diesem Aussehen entstehen auch, wenn mit unbearbeiteten Steinen Nüsse aufgekackt werden (dies wurde jüngst bei Javaneraffen, *Macaca fascicularis*, festgestellt, bei denen dabei in großer Menge Stein-Artefakte entstehen, die wie die alten Oldowan-Werkzeuge aussehen). Aus diesen Erfahrungen heraus haben die Menschen vermutlich die Herstellung scharfkantiger Werkzeuge zum Ablösen von Tierhaut bzw. des Fleisches vom Knochen entwickelt.

Tomos Proffitt et al: Wild macaques challenge the origin of intentional tool production. Science Advances, 10 March 2023

- weitere Werkzeuge: Nur vom Menschen ist bekannt, dass er eine große Vielfalt an Werkzeugen herstellt und verwendet. So wurden wohl schon früh Nadeln und Bohrer aus Knochen hergestellt. Seit wann, ist unklar, weil sich dieses Material fossil sehr schlecht erhält. Diese Entwicklung wurde maßgeblich durch zwei Merkmale des Menschen vorangetrieben: den Präzisionsgriff (mit opponierbarem Daumen) und das enorm große Gehirn.

2023 entdeckte ein Forscherteam um Lawrence Barham in Kalambo Falls an den Ufern des Tanganjikasees in Sambia zwei balkenartige Holzstrukturen, von denen eine genau in eine

künstlich hergestellte Kerbe der anderen eingepasst ist. Der Fund stellt somit ein Bauwerk dar, das mit Werkzeugen bearbeitet worden ist. Das Besondere daran ist das Alter, das mit stimulierter Luminiszenz ermittelt wurde: mindestens 467 000 Jahre. *Homo sapiens* entwickelte sich erst gut 150 000 Jahre später, die Funde sind also auf eine frühere Homo-Art zurück zu führen.

Jan Dönges: Eine Holzkonstruktion – fast eine halbe Million Jahre alt. In Spektrum der Wissenschaft 2.2024, S. 28-30

- Feuer: Nur vom Menschen ist bekannt, dass er das Feuer bewusst nutzt und dass er es willentlich erzeugen kann (ab dem *Homo erectus* ist die Nutzung des Feuers zweifelsfrei nachgewiesen). Damit können Beutegreifer, aber auch Insekten abgeschreckt werden bzw. kann ansonsten schwer verdauliche Nahrung durch Braten oder Kochen besser aufgeschlossen werden (Erweiterung des Nahrungsangebots).
- Wortsprache: Differenzierte Kommunikation ist auch ohne Wortsprache möglich, aber stark eingeschränkt im Vergleich zu einer Wortsprache mit komplexer Grammatik. Damit können die Schranken von Raum und Zeit überwunden werden, d. h. es wird über Phänomene gesprochen, die an Orten liegen, die außerhalb des Gesichtsfelds liegen, bzw. über Vorgänge in Vergangenheit und Zukunft. Damit kann erlerntes Verhalten (Herstellung und Gebrauch von Werkzeugen, Hausbau, Jagdstrategien usw.) an die aktuelle Gruppe, aber auch an die Nachfahren weiter gegeben werden. Damit können aber auch Narrative (Erzählungen von Bedeutung für das Weltbild) über viele Generationen weiter gegeben werden, was dem Zusammenhalt der Gruppe dient und damit die Überlebenschancen erhöht. Dies alles bewirkt Weitergabe und Umsetzung von Tradition in sehr komplexer Weise.
- Kunst: Darstellende Kunst (Gemälde, Skulpturen, Schnitzereien usw.), Musik, Tanz, Rollenspiel, Dichtkunst, Schmuck usw. dienen keinem unmittelbaren Zweck wie der Nahrungsbeschaffung, der Abwehr von Fressfeinden oder dem Finden eines Fortpflanzungspartners. Weil Kunst aber in jeder Kultur eine große Rolle spielt, bereits bei Neandertalern (Schmuck, Gestaltung von Grabstätten), darf man wohl davon ausgehen, dass Kunst einen hohen mittelbaren Selektionswert besitzt, vermutlich dadurch, dass sie den Zusammenhalt der Gruppe stärkt und vielleicht auch psychologisch stärkend wird. Eine ähnliche Rolle dürfte auch die Religion ausüben. Über all dies gibt es allerdings bislang nur wenige Untersuchungen.
- Externe Informationsspeicherung: Ursprünglich wurde menschliches Wissen durch mündliche Überlieferung weitergegeben. Durch ständige Wiederholung, irgendwann auch durch besondere Sprachformen der Dichtkunst (Rhythmus, Reim) wurde gewährleistet, dass die Information weitgehend unverändert über viele Generationen weiter gereicht wurde (dadurch sind wohl auch Jahrtausende überspannt worden, wie das in vielen Völkern des nahen Ostens verbreitete Narrativ von der Sintflut nahe legt). Möglicherweise transportierten auch in Knochen geritzte Muster oder Felsmalereien Inhalte an nachfolgende Generationen. – Ein entscheidender Fortschritt war die Entwicklung der Schrift, deren Anfänge in der Donauzivilisation vor 7.500 Jahren zu suchen sind, also weit vor den Anfängen der altägyptischen Schrift vor 5.300 Jahren oder der sumerischen Schrift (erste Schriftstücke aus Uruk vor 5.150 Jahren). * Damit konnten zunehmend komplexe Inhalte auch ohne die Anwesenheit von Personen weiter gegeben werden. Die weiteren Erfindungen wie Buchdruck oder Internet erweiterten den Einsatz und die Verfügbarkeit schriftlicher Dokumente dramatisch.

*) Harald Haarmann: Das Rätsel der Donauzivilisation, C. H. Beck 2011

2.5.3 Diskussion

Die Schüler diskutieren an verschiedenen Beispielen die Selektionsvor- und -nachteile menschlicher Kultur-Errungenschaften (vgl. die Formulierung bei den Kompetenzerwartungen).

Selektionsvorteile: erweitertes Nahrungsangebot (Werkzeuge erlauben Jagd auch auf größere Tiere, machen auch die Haut der Beutetiere nutzbar usw.; Feuer erschließt ansonsten nur schwer verdauliche Nahrungsquellen); verbesserte Abwehr von Beutegreifern und Parasiten; Errichtung von Wohnstätten (Ausdehnung des Lebensraums); Herstellung von Kleidung (Ausdehnung des Lebensraums).

Selektionsnachteile: biologisch gesehen ist unser Gehirn ein Luxusorgan, das nicht nur viel Platz beansprucht (und damit den Geburtsvorgang massiv erschwert), sondern auch enorm viel Energie benötigt (in Ruhe ca. 20 %, bei starker geistiger Anstrengung in körperlicher Ruhe bis zu 40 % des Gesamtenergieverbrauchs); dadurch sehr hohe Ansprüche an die Nahrungsbeschaffung und damit Abhängigkeit von kultureller Technik zu deren Beschaffung. Heute: sehr hoher Aufwand an Ressourcen (seltene Erden, Energiequellen) für die elektronische Speicherung und Weitergabe von Information.

Differenzierte Kulturtechniken, hochkomplexe Wortsprache und damit einhergehend die Entwicklung eines komplexen Sozialgefüges innerhalb der Gruppe sind die Ursachen für die weltweite Verbreitung des modernen Menschen.

Die Mechanismen der populationsgenetischen Evolution sind Mutation und Rekombination, Selektion und Isolation. Sie werden in relativ langen Zeiträumen wirksam: Die Entstehung neuer Arten aus einer Ursprungsart dauert – je nach Generationslänge – vermutlich mindestens etliche Jahrhunderte, meist mehrere bis viele Jahrtausende. Dagegen verläuft die kulturelle Evolution extrem schneller. Dadurch ist *Homo sapiens* das einzige Lebewesen, das aufgrund seiner kulturellen Fähigkeiten sehr schnell auf sich veränderte Umweltbedingungen reagieren kann (bzw. könnte, wenn dem nicht andere Mechanismen wie Trägheit, Wahrung von Tradition, Konkurrenzneid usw. entgegen stehen).

2.6 Mensch und Umwelt (nur eA)

(ca. 3 Stunden)

Inhalte zu den Kompetenzen	Kompetenzerwartungen: Die Sch. ...
aktive Veränderungen der Umwelt durch den Menschen: z. B. Rodung, Ackerbau, Viehzucht	beschreiben, wie der Mensch seine Umwelt an seine Bedürfnisse aktiv anpasst, vergleichen dies mit den Mechanismen zur Entstehung von Angepasstheiten durch die natürliche Selektion
Vorwissen: ggf. teilweise Vorwissen zur Landwirtschaft aus Geschichte und Geographie	

Für mich liegt der Schwerpunkt dieses Abschnitts nicht so sehr auf der Sachkompetenz, sondern vielmehr auf der Kommunikations-Kompetenz. Deshalb gehe ich hier auch nicht auf Details der Inhalte ein. Die unter „Inhalte zu den Kompetenzen“ aufgeführten Beispiele sind unverbindlich.

Hintergrund (nur für die Lehrkraft): In sehr vielen Fällen passen Lebewesen ihre Umwelt an ihre Bedürfnisse an, indem sie über ihren eigentlichen Körper hinaus Erweiterungen schaffen, die Richard Dawkins als „erweiterten Phänotyp“ bezeichnet. Er teilt diese in vier Gruppen ein:

- tierische Artefakte wie Wespen- oder Vogelnest, Schneckenhaus, Biberdamm
- (direkte) Beeinflussung von Wirtsorganismen in Verhalten, Wachstum, Entwicklung durch Parasiten bzw. Symbionten. Der veränderte Wirts-Phänotyp stellt dann den erweiterten Phänotyp für Parasit bzw. Symbiont dar.
- Wirkung auf Distanz: Manipulation eines anderen Organismus, ohne auf oder in ihm zu leben; z. B. Veränderung des Brutverhaltens durch Aktion des Kuckucksweibchens

- medizinisch: z. B. Einfluss von Krebszellen, so dass Blutgefäße zur Versorgung des Krebsgewebes neu angelegt werden

Alle diese Beispiele haben eine genetische Grundlage und unterliegen deshalb der natürlichen Selektion. Die Produkte des menschlichen Geistes (Maschinen, Häuser ...) haben keine genetische Grundlage, unterliegen damit nicht der natürlichen Selektion und stellen deshalb auch keinen erweiterten Phänotyp dar.

nach Richard Dawkins: Die Poesie der Naturwissenschaften, Ullstein Berlin 2016, S. 573 ff und S. 585

Dagegen behandelt dieser Abschnitt rein kulturelle, also nicht genetisch bedingte Manipulationen des Menschen, mit denen er seine Umwelt an seine Bedürfnisse anpasst. Er verschafft sich damit indirekt massive Selektionsvorteile gegenüber anderen Lebewesen, indem er den natürlichen Selektionsdruck auf sich selbst stark absenkt. In der Populationsbiologie verschiebt er damit die Kapazitätsgrenze K nach oben, oft sogar extrem weit nach oben. Dadurch hat eine Art mit ursprünglich relativ geringer Individuenzahl, die zunächst auf die afrikanische Savanne beschränkt war, eine extrem hohe Individuenzahl und weltweite Verbreitung erreicht.

Training der Kommunikations-Kompetenz:

Kompetenzerwartungen (Lernbereich 1): Die Schülerinnen und Schüler ...
<ul style="list-style-type: none"> ○ recherchieren zu biologischen Sachverhalten und anwendungsbezogenen Fragestellungen zielgerichtet in analogen und digitalen Medien. Sie wählen aus für ihre Zwecke passenden Quellen relevante und aussagekräftige Informationen und Daten aus. Dabei erschließen sie Informationen aus Darstellungsformen unterschiedlicher Komplexität. ○ analysieren Herkunft, Qualität und Vertrauenswürdigkeit von verwendeten Quellen und Medien sowie darin enthaltene Darstellungsformen im Zusammenhang mit der Intention der Autorin/des Autors. Sie prüfen die Übereinstimmung verschiedener Quellen im Hinblick auf deren Aussagen. ○ strukturieren und interpretieren ausgewählte Informationen und leiten Schlussfolgerungen ab. Dazu nutzen sie geeignete Darstellungsformen und überführen diese ineinander. ○ verarbeiten sach-, adressaten- und situationsgerecht Informationen zu biologischen Sachverhalten. ○ präsentieren biologische Sachverhalte sowie Lern- und Arbeitsergebnisse unter Einsatz sach-, adressaten- und situationsgerechter Darstellungsformen mithilfe analoger und digitaler Medien. ○ prüfen die Urheberschaft, belegen verwendete Quellen und kennzeichnen Zitate. ○ tauschen sich mit anderen konstruktiv über biologische Sachverhalte aus. Sie argumentieren dabei wissenschaftlich kriterien- und evidenzbasiert sowie situationsgerecht. Sie vertreten, reflektieren und korrigieren gegebenenfalls den eigenen Standpunkt.

Drei Unterrichtsstunden sind genug Zeit, damit die Schüler selbständig recherchieren, ordnen, auswerten und präsentieren können. Sie beschreiben dabei, wie der Mensch z. B. durch Rodung, Ackerbau, Viehzucht usw. die Umwelt zugunsten seiner Bedürfnisse umgestaltet, und vergleichen diese kulturellen Tätigkeiten mit den Mechanismen zur Entstehung von Angepasstheiten durch die natürliche Selektion:

Die natürliche Selektion verändert die Allelfrequenz in relativ langen Zeiträumen; bei Veränderung der Umweltbedingungen erfolgt eine erneute Veränderung der Allelfrequenz ebenso langsam. Die Information wird in den Genen weitergegeben, nur in geringem Ausmaß durch Lernvorgänge.

Die aktive Veränderung der Umwelt durch den Menschen ist rein kulturell, also nicht genetisch bedingt. Sie findet jeweils in vergleichsweise kurzen Zeiträumen statt; bei Veränderung der Umweltbedingungen erfolgt eine erneute Veränderung ebenfalls in kurzen Zeiträumen. Die Information wird ausschließlich im Rahmen von Lernvorgängen weitergegeben, v. a. durch Sprache und Modelle (dazu zählen auch Konstruktionszeichnungen usw.), aber auch durch Nachahmung. Von besonderem Vorteil sind dabei die enorme Flexibilität, mit der auf Ver-

änderungen der äußeren Bedingungen reagiert werden kann, der Erfindungsgeist und die hoch differenzierte Kommunikation.

2.7 Eingriffe in Evolutionsprozesse

(ca. 3 Stunden)

Inhalte zu den Kompetenzen	Kompetenzerwartungen: Die Sch. ...
Grenzen und Gefahren des Eingriffs in natürliche Evolutionsprozesse: z. B. Überzüchtung, Veränderung des Genpools, Sozialdarwinismus	zeigen Grenzen und Gefahren eines menschlichen Eingriffs in natürliche Evolutionsprozesse auf.
Vorwissen: –	

Auch bei diesem Abschnitt sieht der LehrplanPLUS viel Zeit für Kompetenz-Training vor. Die Schüler können problemlos selbständig recherchieren, ordnen, auswerten und präsentieren. Die unter „Inhalte“ aufgeführten Themen sind unverbindlich. Es ist also möglich, dass die Schüler hierbei ihre Themen selbst aussuchen. Ich würde allerdings den Sozialdarwinismus nicht unter den Tisch fallen lassen, denn er stellt einen Missbrauch wissenschaftlicher Aussagen dar (auch wenn die Auswüchse des Sozialdarwinismus keinen echten Eingriff in natürliche Evolutionsprozesse darstellen...).

Auf einem Informationsblatt habe ich einige Texte zusammengestellt, aus denen ersichtlich wird, wie Darwins Evolutionstheorie missverstanden und missbraucht wurde. Der letzte Eintrag enthält einen Ausschnitt aus dem Rassengesetz des Dritten Reichs, in dem Aussagen der klassischen Genetik für einen naturalistischen Fehlschluss missbraucht werden.

Informationsblatt: Ablehnung, Missverständnis, Missbrauch [\[docx\]](#) [\[pdf\]](#)

Zu Eingriffen in natürliche Evolutionsprozesse vgl. z. B. Buchner-Buch, Seite 256 ff

Ein weiteres spannendes Thema sind die sogenannten **Zoonosen**, also Erkrankungen, die von Erregern verursacht werden, welche von Wildtieren auf den Menschen überspringen. Ein Beispiel dafür ist mit großer Wahrscheinlichkeit die Übertragung des Corona-Virus SARS-CoV-2, das Ende 2019 eine folgenschwere Pandemie auslöste (ausgehend von einem Wildtiermarkt in der chinesischen Stadt Wuhan). Der Eingriff in natürliche Evolutionsprozesse besteht bei Zoonosen darin, dass die stark wachsende menschliche Bevölkerung immer näher an die Lebensräume von Wildtieren heranrückt und zwar durch Wohngebiete als auch durch Fang und Verkauf von Wildtieren, womit die Kontakt-Möglichkeiten stark erhöht werden. Das selbe Virus kann beispielsweise in einer Makakenart oder einer Flattertierart vorkommen, ohne diesen Wirtsorganismus spürbar zu schädigen, während es im Menschen verheerend wirken kann. Weitere Beispiele für Zoonosen sind Ebola (höchstwahrscheinlich von Flattertieren), HIV-1 (von Schimpansen), Herpes B (von Makaken) [nach David Quammen: Spillover – Der tierische Ursprung weltweiter Seuchen. Pantheon Verlag 2013, S. 319 ff].