Biologie Jahrgangsstufe 12 im LehrplanPLUS

II Evolution

1 Evolutionsforschung

Thomas Nickl, August 2023; überarbeitet Dezember 2024, ergänzt April 2025, März 2026, Oktober 2026

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

Inhalt:

Allgemeine Vorbemerkungen zum Lernbereich 3 „Evolution“

Zeitplan

Empfohlene Materialien

II Evolution

0 Umfrage / Wiederholung von Grundwissen
1 Evolutionsforschung
- 1.1 Molekularbiologische Homologien
  - 1.1.1 Homologie
  - 1.1.2 Vergleich von Basen-Sequenzen
  - 1.1.3 Vergleich von Aminosäure-Sequenzen
- 1.2 Stammesgeschichte und Natürliches System
- *1.3 Evolution des Menschen (nur eA)*
  - *1.3.1 Ursprung des Menschen*
  - *1.3.2 Fossilgeschichte*
  - *1.3.3 Stammbäume*
  - *1.3.4 Verbreitung des heutigen Menschen*
- 1.4 Verwandtschafts-Beziehungen

Allgemeine Vorbemerkungen zum Lernbereich 3 „Evolution“

Evolutions-Theorie versus Kreationismus:

Die Evolutions-Theorie ist eine der am besten untermauerten naturwissenschaftlichen Theorien, nicht nur aufgrund der ungeheuren Fülle an Einzelarbeiten, sondern auch aufgrund der enormen Vielfalt an unterschiedlichsten Wissenschaftsgebieten, die ihre Erkenntnisse beisteuern. Trotzdem gibt es Menschen, die diese äußerst umfangreiche wissenschaftliche Arbeit negieren: die Kreationisten, die seit etlichen Jahren auch in Europa an Einfluss gewinnen. Sie fordern in scheinbarer Toleranz z. B., dass in Schulen neben der Evolutions-Theorie auch die Schöpfungsgeschichte als gleichwertige „Meinung“ gelehrt werden sollte. Sie stützen ihre Kritik in erster Linie darauf, dass die Evolutions-Theorie noch nicht alle Wissenslücken geschlossen hat (ein Schicksal, das diese mit praktisch allen anderen wissenschaftlichen Disziplinen teilt). Etliche Kreationisten gehen stark suggestiv und sogar ausgesprochen aggressiv vor und scheinen eine gewaltige Finanzmacht hinter sich zu haben. Selbst Papst Benedikt XVI. (Ratzinger) wetterte 2008 vehement gegen die Wissenschaft (vgl. Informationsblatt zu Gegnern der Evolutionstheorie, Seite 2 [docx] [pdf]).

Im Sinne einer wissenschaftlichen Bildung ist dies nicht hinnehmbar, denn die Evolutions-Theorie ist kein Glaubensbekenntnis. Ebenso gut könnte man fordern, auch die „Meinung“, die Erde sei ein flacher Pfannkuchen, um den sich die Sonne dreht und die auf dem Rücken einer riesigen Schildkröte ruht, sei in der Schule zu lehren. Ebenso könnte man verlangen, die Existenz von Elfen, Einhörnern, Drachen und vielleicht sogar Engeln in der biologischen Systematik zu berücksichtigen. Dies wird im Lernbereich „Mechanismen der Evolution“ thematisiert (Abschnitt 2.1.4 in meinem Skript).

Der Begriff „Theorie“:

In der Alltagssprache hat der Begriff „Theorie“ eine einschränkende und abwertende Bedeutung: „Das funktioniert aber auch nur in der Theorie, die Praxis sieht ganz anders aus.“ In den Naturwissenschaften hat dieser Begriff dagegen eine völlig andere Bedeutung: Eine Theorie in diesem Sinne setzt sich aus einer Vielzahl von Hypothesen zusammen, die anhand einer noch größeren Menge an Beweisführungen untermauert sind, wobei keine Gegenbeweise vorliegen.

Die Biologielehrkraft hat hier die verantwortungsvolle Aufgabe, ihren Schülern klar zu machen, was die wesentlichen Aussagen der Evolutions-Theorie sind und dass wissenschaftliche Hypothesen sich dadurch auszeichnen, dass sie überprüfbar und damit verifizierbar bzw. falsifizierbar sind (im Gegensatz zu kreationistischen Aussagen, denn die postulierte Existenz eines Gottes bzw. die postulierte Tatsache eines Schöpfungsaktes sind weder beweis- noch widerlegbar und entziehen sich damit der notwendigen Überprüfung). Selbstverständlich dürfen kreationistisch eingestellte Schüler nicht bloßgestellt werden. Aber auch ganz hartnäckige „Evolutions-Leugner“ (Formulierung: Richard Dawkins) müssen sich in der Schule mit den Aussagen der Evolutions-Theorie auseinander setzen, weil der Lehrplan das so vorschreibt. Er zwingt allerdings niemand dazu, seine Glaubensüberzeugung aufzugeben bzw. zum Prediger der Evolutions-Theorie zu werden.

Religion und Evolutions-Theorie sind keine Widersprüche:

Religiöse Überzeugung und naturwissenschaftliche Theorie müssen keinen Widerspruch darstellen; z. B. ist Gerhard Haszprunar, bis Ende 2021 Direktor der Zoologischen Staatssammlung in München, höchst engagiert im Aufklärungskampf gegen „Intelligent Design“, wie der Kreationismus seit einiger Zeit seine Ansichten verschleiernd und pseudo-wissenschaftlich benennt, und gleichzeitig praktizierender Katholik. (Wenn Sie Gelegenheit haben, einen Vortrag Haszprunars zu besuchen, machen Sie das; er ist ein brillanter Redner.)

Engagement und Empathie der Lehrkraft sind wesentlich:

Nehmen Sie die Bedrohung durch Kreationismus, religiösen Fundamentalismus bzw. Intelligent Design ernst und setzen Sie die Erkenntnisse der Evolutions-Theorie in klarer Darstellung dagegen! Denken Sie dabei an den Aphorismus von Hans-Jürgen Quadbeck-Seeger:

„Irrtum wuchert, Wahrheit rankt."

Seien Sie dabei leidenschaftlich, aber nicht fanatisch. Seien Sie empathisch gegenüber Andersdenkenden, nehmen Sie sie ernst und lassen Sie sie ihr Gesicht wahren, aber verlangen Sie (und das müssen Sie, weil der Lehrplan es so vorschreibt), dass auch der eingefleischteste Kreationist die Argumentation der Evolutions-Theorie kennt und sie darstellen kann. Soweit mein Hinweis zum Umgang mit kreationistisch eingestellten Schülern.

Wie man als studierter Biologie die Schöpfungsgeschichte als naturwissenschaftliches Modell missverstehen und sie der Evolutions-Theorie vorziehen kann, ist mir schleierhaft, kommt aber vor. Eine Biologielehrkraft, die so denkt, darf weder in der Mittelstufe noch in der Oberstufe beim Thema Evolution eingesetzt werden. Und eigentlich auch im übrigen Biologieunterricht nicht, weil sich die Elemente der Evolutions-Theorie bei jedem einzelnen Thema wie von selbst aufdrängen: Wandel von Erbgut, Variabilität, Angepasstheiten, Überproduktion von Nachkommen, Konkurrenz, Selektion.

Richtige Fachsprache:

Es ist bisweilen eine große Herausforderung, kreationistische Formulierungen zu vermeiden. Wie leicht rutscht einem heraus: „Die Eisbären entwickelten ein dickes Fell und kleine Ohren, um mit der arktischen Kälte besser zurecht zu kommen." Das ist finalistisch formuliert, als würde so eine anatomische Veränderung zweckorientiert und gezielt erfolgen. Richtig wäre vielmehr: „Eisbären mit einem dicken Fell und kleinen Ohren kamen mit der arktischen Kälte besser zurecht und konnten sich deshalb erfolgreicher fortpflanzen." Vermeiden Sie in Bezug auf Evolution das Verb „sich anpassen"; „angepasst sein" ist dagegen immer korrekt. Sprechen Sie immer von ***Angepasstheit*** *(bzw. von Anpassungsprozess) und nicht von „Anpassung" (denn letzteres kann sowohl einen Prozess wie auch sein Ergebnis bedeuten).*

Und unterscheiden Sie klar: ***Evolution*** *ist das Geschehen auf der Erde, das zur Vielfalt der Lebewesen geführt hat. „Sie ist eine empirisch wissenschaftliche Tatsache", für die „es nach 150 Jahren Forschung eine [...] überwältigende Vielzahl an Belegen" gibt, so dass sie nicht in Zweifel gezogen werden kann. Die* ***Evolutions-Theorie*** *erklärt diese Tatsache; sie ist hinterfragbar – wie jede naturwissenschaftliche Aussage.* [D. Graf, E. Hamdorf in U. Kattmann: Schüler besser verstehen; S. 29]

Einordnung des Begriffs „Evolution":

- *kosmische Evolution ist „die Entwicklung von Raum, Zeit und Materie, also die Entwicklung des Universums"*
- *chemische Evolution ist „die Entwicklung organischer Moleküle (z. B. Proteine, Fette, Nukleinsäuren) aus anorganischen Stoffen"*
- *biologische Evolution „ist der Vorgang, durch den sich die Gesamtheit der Lebewesen nach ihrer Entstehung im Laufe der Zeit entwickelt hat und noch heute entwickelt". Die (biologische) Evolutions-Theorie erklärt nicht die Entstehung des Lebens (das ist Gegenstand der chemischen Evolutions-Theorie), sondern sie "setzt erst ein, nachdem die erste Zelle, also das erste Lebewesen, bereits entstanden ist."*

  [D. Graf, E. Hamdorf in U. Kattmann: Schüler besser verstehen; S. 30f]

Die Evolutions-Theorie ist nicht einfach zu verstehen:

Glauben Sie nicht, dass die Grundprinzipien der Evolutions-Theorie ***einfach*** *zu verstehen seien. Das erscheint nur denen im Nachhinein so, die sich intensiv damit auseinandergesetzt haben. Der Mensch ist ein planendes Lebewesen, das zuerst das Problem wahrnimmt und sich im zweiten Schritt zielorientiert eine Lösung dazu überlegt. Die Evolution funktioniert genau anders herum: Am Anfang steht die zufällig entstandene „Lösung" (die* ***Präadaptation****), erst danach darf das Problem dazu auftreten. Das einzig zielgerichtete in der Evolution ist die Selektion. Das widerspricht unserer Alltagserfahrung diametral. Der französische Molekulargenetiker Jacques Monod meinte dazu einmal: „Das Problem mit der natürlichen Selektion besteht darin, dass jeder glaubt, er würde sie verstehen."* [zitiert in R. Dawkins: Die Poesie der Naturwissenschaften, Ullstein 2016, S. 235]

Zeitplan

Der LehrplanPLUS sieht für den Lernbereich 3.1 „Evolutionsforschung" im grundlegenden Anforderungsniveau (gA) ca. 7 und im erweiterten Anforderungsniveau (eA) ca. 9 Unterrichtsstunden vor (alle Formulierungen für das gA gelten auch für das eA). Die folgende Tabelle zeigt einen Vorschlag für einen Zeitplan (darin ist relativ viel Zeit für schülerzentrierte Arbeitsformen enthalten):

Nummer	Abschnitte	Stunden gA	Stunden eA
0	Umfrage / Wiederholung von Grundwissen	–	–
1.1	Molekularbiologische Homologien	2	2
1.2	Stammesgeschichte und Natürliches System	2	2
1.3	Evolution des Menschen	–	2
1.4	Verwandtschafts-Beziehungen	3	3
	Summe	**7**	**9**

Empfohlene Materialien

Ulrich Kattmann: „**Schüler besser verstehen: Alltagsvorstellungen im Biologieunterricht**", Aulis Verlag 2015. Der „Kattmann" ist ein unentbehrlicher Helfer bei der Suche nach Fehlvorstellungen; auch das eigene Verständnis und die eigenen Formulierungen lassen sich damit höchst kritisch überprüfen. Der Abschnitt auf S. 25-39 von Dittmar Graf und Elena Hamdorf widmet sich der Evolution.
Ebenfalls empfehlenswert ist der Basisartikel zum Themenheft Unterricht Biologie 260, Dezember 2000 von Ulrich Kattmann: „Evolutionsgenetik" (Seite 4-7).

Hervorragende Artikel und gute Materialien finden Sie in Unterricht Biologie Kompakt: „**Evolution und Schöpfung**", Nr. 333, April 2008

Friedemann Schrenk: **„Die Frühzeit des Menschen"**. Verlag C. H. Beck

Eine großartige Parodie auf die Möglichkeiten der Adaptiven Radiation bietet das Büchlein „**Bau und Leben der Rhinogradentia**" von Harald Stümpke, Gustav Fischer Verlag, 1972. Die vielen Abbildungen sind sehr humorvoll gestaltet. Leider ist die aktuelle Auflage des Spektrumverlags (blauer Umschlag) mit einer sehr fehlerträchtigen Lese-Software erstellt worden; ich bevorzuge deshalb die alte Originalausgabe (gelber Umschlag), die nicht koloriert ist.

0 Umfrage / Wiederholung von Grundwissen

Vor Beginn dieses Lernbereichs sollten Sie einen anonymen Umfragebogen austeilen, der Ihnen Auskunft über Vorwissen, Fehlvorstellungen und eventuelle kreationistische Einstellungen der Kursteilnehmer gibt. **Umfrage zum Vorwissen** [docx] [pdf] *Sie können die anonymen Bögen einsammeln und auswerten, die Bögen wieder zurückgeben (die Kursteilnehmer finden den ihren anhand des Codes) und die Ergebnisse ggf. auszugsweise besprechen.*

Das konkrete Vorwissen zur Evolutionstheorie aus Unter- und Mittelstufe sollte vor Beginn dieses Lernbereichs wiederholt werden. Dafür eignen sich Teile aus dem (anonymen) Arbeitsblatt zum Vorwissen für die 9. Klasse: [docx] [pdf] *sowie die Aufgaben 1 und 2 des Arbeitsblatts „Evolution Aufgaben 1" für die 12. Jahrgangsstufe.*

Arbeitsblatt *Evolution Aufgaben 1* [docx] [pdf]

1 Evolutionsforschung

Der Lernbereich Evolutionsforschung im LehrplanPLUS für die Kursphase unterscheidet sich in einigen Punkten von den Formulierungen des Vorgänger-Lehrplans im G8:

- *Es werden ausschließlich molekularbiologische Beispiele für Homologie verlangt. Widerstehen Sie der Versuchung, Ihre schönen Medien mit anatomischen und embryologischen Belegen in den Unterricht einzubauen (wenn Ihnen das zu schwer fällt, dann bieten Sie diese Ende Juli als Ausblick an, nachdem alle vom LehrplanPLUS verlangten Lerninhalte vollständig abgearbeitet sind)!*
- *Auch der an sich plastische Vergleich zwischen Homologie und Analogie ist dem Rotstift zum Opfer gefallen. Sie können Analogie bzw. konvergente Entwicklung zwar nebenbei als Kontrast erwähnen, aber dies stellt keinen Lerninhalt dar. Das neue Gegensatzpaar heißt: ursprüngliche / abgeleitete Merkmale.*
- *Dagegen sind die Formulierungen zur Erstellung eines Stammbaums völlig neu und verlangen demgemäß auch neue Unterrichtskonzepte und -materialien.*
- *Der Artbegriff soll jetzt in zwei voneinander getrennten Phasen durchleuchtet werden: zunächst als morphologischer, danach als populationsgenetischer (früher: biologischer) Artbegriff.*

ISB-Handreichung (LIS): Artbegriffe (2 Seiten)
[Link]
Erläuterungen zum morphologischem und populationsgenetischem Artbegriff mit Fotos, die im Unterricht eingesetzt werden können.

ISB-Handreichung (LIS): Fitis oder Zilpzalp? – Artbegriffe im Wandel (5 Seiten)
[Link]
Enthält eine Lern- bzw. Übungsaufgabe, bei der Vorwissen zur Synthetischen Evolutionstheorie aus der Mittelstufe eingebracht wird. Über QR-Codes können die Kursteilnehmer den Gesang der beiden Laubsänger-Arten vergleichen und werden über das Dawn-Chorus-Projekt informiert. Inhaltlich werden die Unterschiede von morphologischem und populationsgenetischem Artbegriff erarbeitet.
Etwas zeitaufwendig, aber sinnvoll.

1.1 Molekularbiologische Homologien

(ca. 2 Stunden)

Inhalte zu den Kompetenzen	***Kompetenzerwartungen:* Die Sch. …**
molekularbiologische Homologien als Belege für die Evolution: Basensequenzvergleich, Aminosäure-sequenzvergleich	–
Vorwissen: ***Jgst. 12 Biologie**, Lernbereich 2.1: Speicherung und Realisierung genetischer Information (Basen- und Aminosäure-Sequenz bei Proteinbiosynthese)* ***Jgst. 9 Biologie**, Lernbereich 4: Evolution (Stammesgeschichte der Lebewesen als fortlaufendes Evolutionsgeschehen [steht nur bei Kompetenzerwartungen])*	

In der 9. Klasse (Lernbereich 4) haben die Schüler fossile Abstammungsreihen und Brückentiere als Belege für die Evolution kennengelernt. Aus Unter- und Mittelstufe sollten ihnen die beiden unterschiedlichen Arten von Ähnlichkeit (z. B. im Extremitäten-Skelett verschiedener Wirbeltiere) bekannt sein: Ähnlichkeit aufgrund ähnlicher Anforderungen bzw. aufgrund gemeinsamer Vorfahren. Jetzt kommt als neuer Belegtyp der Vergleich molekularbiologischer Merkmale dazu, mit dem unabhängig von morphologischen Merkmalen der Grad der Verwandtschaft sehr genau bestimmt werden kann. Weil keine anderen Arten von Homologien thematisiert werden, entfällt auch die Behandlung der Homologie-Kriterien.
Kernbasen- und Aminosäure-Sequenzen sind den Schülern aus der Genetik (Jahrgangsstufe 12) bereits vertraut. Die Formulierung im LehrplanPLUS bezieht sich ausschließlich auf den Vergleich dieser Sequenzen. Dies schließt die Thematisierung anderer Methoden wie der Präzipitin-Reaktion aus. (Lassen Sie sich durch entsprechende Darstellungen in den Lehrbüchern nicht verführen, sie im Unterricht zu thematisieren (diese Methode wird schon lange nicht mehr angewendet),auch wenn sie in einem Lehrbuch auftaucht (z. B. biologie heute, Westermann-verlag 2024, Seite 189, wo sie als Exkurs gekennzeichnet ist.)

1.1.1 Homologie

Hintergrundinformation für die Lehrkraft (kein Unterrichtsstoff):
Der Begriff „Homologie“ wurde 1843 von Richard Owen eingeführt, also noch deutlich vor der Veröffentlichung von Darwins Evolutionstheorie. Owen ging von einer göttlichen Schöpfung verschiedener Grundtypen aus, die in „gewollten“ Variationen erschaffen worden seien. Sobald allgemein akzeptiert wurde, dass Arten veränderlich sind, wurde Owens Homologie-Konzept neu gedeutet als frei variierbare „Baupläne“. Erst die Genetik konnte im 20. Jahrhundert die Ursachen für die Homologie klären. Charles Darwin verwendete den Begriff Homologie bereits im modernen Sinn.

Zunächst wird im Unterricht der Begriff Homologie eingeführt (der taucht in der Mittelstufe noch nicht auf).

Definition der Homologie:
Die Ähnlichkeit homologer Strukturen beruht darauf, dass sie gleichen Ursprung haben:

„Strukturen, die rein äußerlich nach ihrem Bau und ihrer Funktion ähnlich oder verschieden sein können, sich aber auf den selben Grundtyp (Grundbauplan) zurückführen lassen, nennt man homolog oder ursprungsgleich.“

Dies gilt für morphologische Strukturen ebenso wie für Basen- oder Aminosäure-Sequenzen.

Hinweis: Bei unvorsichtiger Formulierung kann den Schülern suggeriert werden, dass homologe Organe äußerlich immer grundverschieden aussähen. Deshalb sind meine Definitions-Vorschläge ein wenig anders formuliert als in manchen Lehrbüchern.

1.1.2 Vergleich von Basen-Sequenzen

Die Schüler werten Materialien aus, in denen homologe Ausschnitte von Basen-Sequenzen (codogener Strang der DNA bzw. mRNA) mehrerer unterschiedlicher Lebewesen dargestellt sind. (Ich gehe davon aus, dass Beispiele dafür in den Lehrbüchern bzw. den sie begleitenden Materialien angeboten werden.)

Ergebnisse:

- Weitestgehende Übereinstimmung der Basensequenzen belegt Homologie.
- Alte Mutationen bleiben erhalten, neue kommen hinzu.
- Anzahl der nicht übereinstimmenden Basen bestimmt den Grad der Verwandtschaft.

Erklärung:
Die großen Übereinstimmungen in den Basen-Sequenzen von aktuell lebenden (rezenten) Arten beruhen auf gemeinsamen Vorfahren in der Vergangenheit.

1.1.3 Vergleich von Aminosäure-Sequenzen

Die Schüler werten Materialien aus, in denen homologe Ausschnitte der Aminosäure-Sequenzen von Proteinen mehrerer unterschiedlicher Lebewesen dargestellt sind.
Die Auswertung entspricht 1.1.2, aber es sollte diskutiert werden, dass auch stumme Punktmutationen auftreten können, die zwar in der Basen-Sequenz sichtbar werden, nicht aber in der Aminosäure-Sequenz. Der Vergleich der Basen-Sequenz erfasst also mehr Mutationen und ergibt ein genaueres Bild der Verwandtschaft.

In Aufgabe 3 (Teilaufgaben 3.1 und 3.2) auf dem Arbeitsblatt „Evolution Aufgaben 1“ sind fünf (fiktive) mRNA-Basen-Sequenzen dargestellt, die für die gleiche Aminosäure-Sequenz codieren, aber untereinander mehr oder weniger Unterschiede aufweisen. Daran können die Schüler erkennen, dass die Untersuchung der Basen-Sequenzen erheblich genauer ist als die der Aminosäure-Sequenzen.

Arbeitsblatt *Evolution Aufgaben 1* [docx] [pdf]



In der obigen Abbildung sind homologe Ausschnitte aus der Aminosäure-Sequenz des Cytochrom c bei verschiedenen Lebewesen angegeben (in der 1-Buchstaben-Nomenklatur). Rot sind die Unterschiede zur Sequenz beim Menschen angegeben. Cytochrom c ist ein uraltes, extrem

wichtiges Protein im abbauenden Stoffwechsel und unterliegt deshalb einem sehr starken Selektionsdruck. Dies erklärt die erstaunlichen Ähnlichkeiten.

Abbildung *Cytochrom c im Vergleich* [jpg]

1.2 Stammesgeschichte und Natürliches System

(ca. 2 Stunden)

Inhalte zu den Kompetenzen	***Kompetenzerwartungen:* Die Sch. …**
Rekonstruktion der Stammesgeschichte von Organismen; natürliches System als Einteilung der Lebewesen aufgrund ihrer Verwandtschaft; Stammbäume	erstellen für ausgewählte Gruppen von Lebewesen einen Stammbaum (auch Kladogramm), indem sie molekulare Merkmale vergleichen.
Vorwissen: ***Jgst. 9 Biologie**, Lernbereich 4: Evolution (Stammesgeschichte der Lebewesen als fortlaufendes Evolutionsgeschehen [steht nur bei Kompetenzen])* ***Jgst. 10 Biologie**, Lernbereich 4: Vergangenheit und Zukunft des Menschen (Einteilung der Lebewesen einschließlich des Menschen in systematische Gruppen des natürlichen Systems; Hypothesen zur Entwicklung des modernen Menschen)*	

Informationsblatt *Geologische Uhr* (Reinzeichnung: Nickl) [jpg]

Ich schreibe im Gegensatz zum LehrplanPLUS „Natürliches System“, also beide Wörter mit Majuskeln, weil es sich um einen feststehenden Fachbegriff handelt.
Anhand der Ergebnisse aus 1.1 erstellen die Schüler Graphiken, welche die Verwandschafts-Verhältnisse darstellen. Diese Darstellungen können mit Stammbäumen verglichen werden, die neben diesen Lebewesen noch weitere enthalten. Die Formulierung bei den Kompetenzerwartungen schließt andere als molekulare Merkmale (an dieser Stelle) aus.

Es gibt gewisse Überschneidungen mit Abschnitt 1.4!

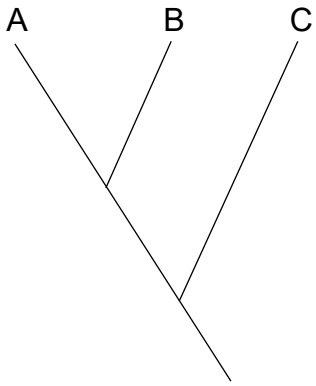
Zunächst werden den Schülern einfache Stammbäume vorgestellt. Im Anschluss erstellen sie anhand vorgegebener Materialien selbst den einen oder anderen Stammbaum.

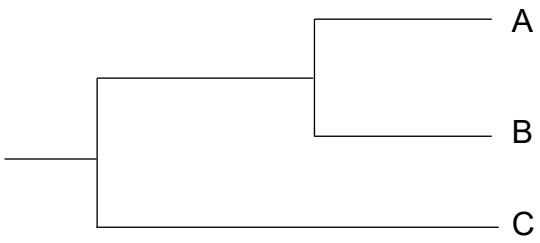
ISB-Handreichung (LIS): Stammbäume und Kladogramme (2 Seiten)
[Link]
Allgemeine Erläuterungen zu den Begriffen Stammbaum und Kladogramm anhand eines Beispiels. Die hier verwendeten Begriffe plesiomorph (ursprünglich) und apomorph (abgeleitet) stellen keine Lerninhalte dar!

Stammbäume wie Kladogramme stellen eine verzweigte Entwicklung aufgrund abgestufter Ähnlichkeit dar. Nicht allen Kursteilnehmern ist klar, dass die stammesgeschichtliche Entwicklung der Lebewesen verzweigt und nicht linear („Höherentwicklung“) verläuft.

Ein Stammbaum enthält die systematischen Kategorien wie Familie, Gattung, Art usw., d. h. hier wurden sehr viele Entscheidungen getroffen, ob z. B. zwei Populationsgruppen zwei verschiedene Arten der selben Gattung darstellen oder lediglich zwei Unterarten der selben Art usw. Kladogramme verzichten auf solche Entscheidungen. Der Begriff Stammbaum wird in den Medien nicht selten falsch gebraucht (z. B. statt Kladogramm).

Auf Grundlage der Homologien kann der Verwandtschaftsgrad von Lebewesen bestimmt werden. Daraus können die Verzweigungen ihrer Stammesgeschichte rekonstruiert werden. Die Darstellung dieser Verwandtschaftsverhältnisse geschieht in Form sogenannter Kladogramme, die unterschiedliche Formen haben können (gegabelt oder rechtwinklig). Die folgenden einfachen Beispiele sind in ihrer Form verschieden, in ihrer Aussage aber gleich:



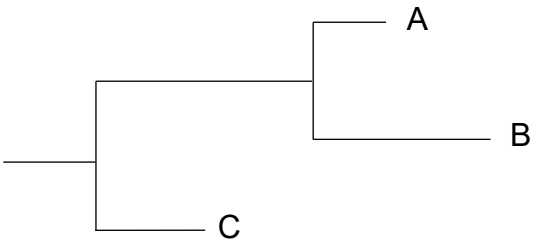


- Jede Verzweigung besteht aus genau zwei Ästen (dichotome Verzweigung), die am Knotenpunkt zusammentreffen. *(Die meisten Bestimmungsschlüssel arbeiten ebenfalls mit dichotomen Verzweigungen, die aber nichts mit denen in einem Verwandtschafts-Kladogramm zu tun haben.)*
- Am Ende jedes Astes steht eine rezente Art; in der Regel sind die Vorläuferarten nicht eingetragen.
- Das Ausmaß der Unterschiede zwischen den Arten wird hier nicht dargestellt. (Sie können aber durch den Abstand der Artsymbole veranschaulicht werden.)
- Ein Kladogramm kann aufgrund der Unterschiede bei einem einzigen Merkmal aufgestellt werden (z. B. Basen-Sequenz des Enzyms Cytochrom-Oxidase) oder aufgrund mehrerer Merkmale.
- Die Entwicklungsachse (keine Zeitachse!) kann vertikal stehen (wie beim linken Kladogramm) oder horizontal (wie beim rechten).

Der Fachbegriff Kladogramm taucht nur bei den Kompetenzerwartungen auf, stellt also keinen zwingenden Lerninhalt für die Schüler dar. Dennoch würde ich den Begriff einführen.

Daneben gibt es die Darstellung im Phylogramm, in dem das Ausmaß der Unterschiede zwischen den Arten durch den Längenabstand zwischen den Arten dargestellt wird. Deshalb enden die Linien auch nicht auf gleicher Höhe.

Das rechts abgebildete Phylogramm zeigt, dass sich die Art A weniger weit als die Art B vom letzten gemeinsamen Vorfahren weg entwickelt hat



Der Begriff Phylogramm taucht im LehrplanPLUS überhaupt nicht auf. Es kann im Unterricht erwähnt werden bzw. bei einer Übung als Arbeitsmittel eingesetzt werden, stellt aber keinen Lerninhalt dar. Ich würde auf ihn verzichten.

Vgl. Aufgabe 3.3 auf dem Arbeitsblatt „Evolution Aufgaben 1“:

Arbeitsblatt *Evolution Aufgaben 1* [docx] [pdf]

Schöne Aufgaben zu Stammbäumen finden Sie in bioskop 12, Westermann 2024, Seite 173. Auf Seite 204 sind anschauliche Kladogramme zu Amnioten dargestellt. (Die Begriffe apomorph und plesiomorph gehen nach meinen Dafürhalten allerdings über den Anspruch des LehrplanPLUS hinaus.)

Stammbäume beurteilen und konstruieren: klare Darstellung (mit Abbildung) auf Seite 160 in Biosphäre 12, Cornelsen-Verlag.

Genaue Informationen zu Stammbäumen und Kladogrammen sind im Buchnerbuch, Seite 218-221, zu finden.

Die Aufgabe 4 auf Seite 220 im Buchnerbuch Q12 bezieht sich auf Unterschiede in der Aminosäuresequenz bei vier Säugetierarten. Hierbei sind mehrere Lösungen möglich. Daraus kann nur ein Schluss gezogen werden: Die in M4 vorgegebene Datenmenge ist zu klein, um eine eindeutige Lösung zu erarbeiten. Auch dies ist eine echte wissenschaftliche Aussage.

Beim Vergleich homologer Merkmale muss unterschieden werden, ob sie ursprünglich sind oder abgeleitet, also später entstanden (meist sind sie dann völlig unterschiedlich; bisweilen können sich aber auch unabhängig voneinander sehr ähnliche Merkmale herausbilden, dann sind sie nicht homolog). Die ursprünglichen Merkmale ziehen sich durch das Kladogramm hindurch (können aber auch einmal verloren gehen). *Der von früheren Lehrplänen verlangte Begriff Analogie taucht im LehrplanPLUS nicht mehr auf. Auf ihn sollte deshalb verzichtet werden zugunsten der Begriffe ursprüngliche bzw. abgeleitete Merkmale.*

Hinweis: In manchen Fällen können aufgrund der vorgegebenen Daten auch zwei oder mehr Kladogramme erstellt werden. Dies bedeutet, dass die Datenlage für eine eindeutige Aussage zu dünn ist. (Ein Beispiel dafür ist die Aufgabe 3.3 im Buchner-Buch auf Seite 220/221.) Auch dies stellt eine wissenschaftliche Aussage dar.

In ein Kladogramm können die Merkmale eingetragen werden, die seinem Entwurf zugrunde liegen. Dies kann am Beispiel der Wirbeltiere gezeigt werden.

[A] Wirbelsäule

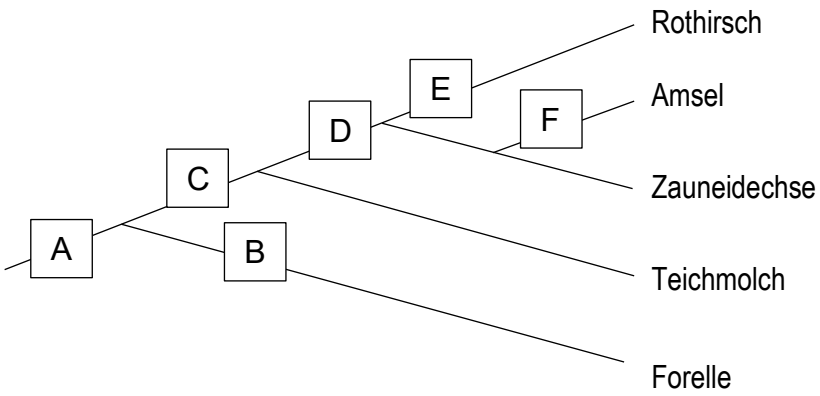
[B] Knochenschuppen

[C] Vierbeinigkeit

[D] große Eier mit widerstandsfähiger Schale [geht bei frühen Säugetieren verloren]

[E] Gebärmutter

[F] Federn



ALP Blatt 08_4_V01: Das SKOFGA-Spiel: Systematik. Auf diesem Blatt wird ein Beispiel für eine Spielkarte gezeigt, auf der eine Tierart mit Bild, deutschem und Nomenklatur-Namen vorgestellt wird. Darunter werden in 5 Abschnitten Eigenschaften dieser Art gezeigt. Mehrere solcher Spielkarten können leicht zu einer Art Kladogramm angeordnet werden. Die genannten Eigenschaften sind jeweils typisch für die systematischen Kategorien (Wirbeltier-, z. B. Säugetier-Merkmale usw.), so dass daraus auch ein Stammbaum entwickelt werden kann. Sämtliche Spielkarten befinden sich als pdf-Dateien auf dem Datenträger, der dem Praktikumsordner Bio? Logisch! beiliegt.

Regeln zum Erstellen eines Stammbaums:

- Ähnliche Merkmale (Aminosäure- bzw. Basensequenz) bei mehreren Arten werden daraufhin untersucht, ob sie homolog sind. Auffallende Ähnlichkeiten sind ein starker Hinweis auf Verwandtschaft. (Bei Aminosäuresequenzen wird bereits bei einer Übereinstimmung von über 10 % ein gemeinsamer Ursprung vermutet.)
- Außengruppenvergleich: Eine Art, die zwar Ähnlichkeiten mit der zu untersuchenden Artengruppe hat, aber deutlich weiter außen steht, dient dazu, einen letzten gemein-

samen Vorfahren zu ermitteln. (Beispielsweise die Forelle gegenüber den vierfüßigen Arten.)
- Feststellung, welche Merkmale ursprünglich und welche abgeleitet sind (diese Angabe ist immer bezogen auf ein Betrachtungssystem, denn die Lunge ist innerhalb der Vierfüßer ein ursprüngliches Merkmal, innerhalb der Wirbeltiere dagegen ein abgeleitetes.)
- Prinzip der sparsamsten Erklärung: Die Interpretation, die am wenigsten Neuentwicklungen voraussetzt, gilt als die wahrscheinlichste.

Das Natürliche System (Linné: „systema naturae“) kann mithilfe von Kladogrammen erstellt bzw. überprüft werden. Es stellt (heute) die Verwandtschaft der Lebewesen dar.

Es ist sinnvoll, an dieser Stelle die Hauptkategorien des Natürlichen Systems zu wiederholen bzw. zu besprechen, in denen sich die abgestufte Ähnlichkeit spiegelt. Dies sollte mit konkreten Art-Beispielen dargestellt werden, die den Schülern möglichst bekannt sind. Die Benennung dieser Kategorien wird zwar vom LehrplanPLUS nicht gefordert, macht die abgestufte Ähnlichkeit aber besonders anschaulich und *greif*bar (durch Be*griffe*).

Stamm > Klasse > Ordnung > Familie > Gattung > Art

Die Reihenfolge dieser Kategorien kann man sich mit dem Akronym SKOFGA gut merken.

Auch wenn die Arbeitsblätter zur Verwandtschaft der Carnivoren für die Unterstufe konzipiert wurden, können sie in der Oberstufe eingesetzt werden. Dazu gehört Aufgabe 4 auf dem

Arbeitsblatt *Evolution Aufgaben 1* [docx] [pdf]
Arbeitsblatt *Systematik Katzenartige* (Art bis Familie) [docx] [pdf]
Arbeitsblatt *Systematik Carnivoren* (Art bis Ordnung) [docx] [pdf]

Sehr schöne Fotos dazu finden Sie in biologie heute, Westermannverlag 2024, auf den Seiten 202f.

Die Einordnung des Menschen in das Natürliche System ist zwar Lerninhalt im Lernbereich 4 der Jahrgangsstufe 10, sollte aber an dieser Stelle kurz wiederholt werden. Die Darstellung bis zur Familie kann ggf. um die Ordnung Herrentiere *(Primaten)*, die Klasse Säugetiere *(Mammalia)* und den Stamm Wirbeltiere *(Vertebraten)* erweitert werden.
Vgl. Aufgabe 5 auf dem Arbeitsblatt „Evolution Aufgaben 1“

Ein Stammbaum veranschaulicht, wie im Laufe der Erdgeschichte die rezenten Arten aus Vorgänger-Arten entstanden sind, die in der Regel bereits ausgestorben sind. Soweit es Funde dieser Vorgänger-Arten gibt, tragen auch sie einen zweiteiligen Namen (z. B. *Archaeopteryx lithographicus* oder *Tyrannosaurus rex*). Ein anderer Weg, um Aussagen über Vorgänger-Arten zu erhalten, ist die Rekonstruktion von Abschnitten ihrer DNA aus der DNA ihrer rezenten Nachfolger-Arten.
Zu diesem Thema gehört auch ein verbreitetes Missverständnis, das sich z. B. in folgender Formulierung niederschlägt: „Der Mensch stammt vom Affen ab.“ Erstens ist der Mensch – biologisch gesehen – selbst ein Affe (und zwar ein Menschenaffe) und zweitens assoziieren viele Menschen mit „Affe“ den Schimpansen. Der Mensch stammt aber nicht vom Schimpansen ab, sondern diese beiden Arten haben einen gemeinsamen Vorfahren (darauf hat schon Charles Darwin energisch hingewiesen).

Einen Stammbaum der Katzenartigen über die letzten 11 Millionen Jahre finden Sie in biologie heute, Westermannverlag 2024, Seite 213, Material 2.

Die Systematik ist ein Zweig der Biologie, in dem ständig neue Fakten dazu kommen und in dem deshalb ständig wissenschaftlich gestritten wird. Ein Hauptproblem dabei besteht darin, dass die Kladogramme bzw. Stammbäume, die aufgrund anatomischer Merkmale erstellt werden, nicht immer mit denen übereinstimmen, die sich aus molekulargenetischen Merkmalen ergeben. Ein anderes Hauptproblem besteht in der Festlegegung der Grenzen zwischen den systematischen Kategorien, also ob zwei unterschiedliche Formen als Unterarten der selben Art oder als zwei separate Arten gelten usw. Auch wenn Schüler am liebsten „die Wahrheit" erfahren wollen, ist es ganz wesentlich, ihnen nahezubringen, dass sich Naturwissenschaft auf Hypothesen aufbaut, die hinterfragbar (verifizierbar bzw. falsifizierbar) sind. Und das macht die Sache letztendlich spannend und interessant. (Diesen Aspekt muss die Schule vermitteln, denn im heutigen Universitätsbetrieb bleibt dafür keine Zeit.)

Bei der Erfassung und Interpretation von Basen-Sequenzen können Fehler auftreten – wie bei jeder Forschungsarbeit. Der folgende Artikel befasst sich ausführlich mit Methoden und Fehlerquellen bei der Erstellung von Verwandtschaftsbeziehungen anhand von Basen-Sequenzen:
W. Wägele, P. Kück, L. Podsiadlowski: Molekulare Phylogenetik. In: Biologie in unserer Zeit, Heft 1/2024 (554), S. 70-76

1.3 Evolution des Menschen (nur eA)

(ca. 2 Stunden)

Inhalte zu den Kompetenzen	***Kompetenzerwartungen:* Die Sch. …**
Evolution des Menschen: Ursprung, Fossilgeschichte, Stammbäume, Verbreitung des heutigen Menschen	–
Vorwissen: ***Jgst. 10 Biologie****, Lernbereich 4: Vergangenheit und Zukunft des Menschen (Einteilung der Lebewesen einschließlich des Menschen in systematische Gruppen des natürlichen Systems; Hypothesen zur Entwicklung des modernen Menschen)*	

Die Lerninhalte des Abschnitts „Evolution des Menschen" im LehrplanPLUS unterscheiden sich deutlich von denen im Lehrplan des G8:

- *Die Formulierung „Einordnung des* Homo sapiens *im System" u. a. anhand anatomischer und chromosomaler Merkmale erscheint überhaupt nicht mehr. Insbesondere entfallen die anatomischen Vergleiche zwischen Menschen und ihren nächsten lebenden Verwandten.*
- *Dagegen werden Fossilgeschichte und Stammbäume vom LehrplanPLUS als eigene Formulierungen herausgestellt, was im G8-Lehrplan nicht explizit verlangt wurde. Vermutlich soll dadurch betont werden, dass der Weg der Forschung (Erkenntnisgewinnung) von besonderer Bedeutung ist. Letztlich geschieht darüber die Einordnung des Menschen bei den Primaten. Sicher sollen auch fossile Befunde miteinander verglichen werden, z. B. bezüglich der Veränderungen des Schädels bzw. der Entwicklung des aufrechten Gangs.*
- *Der Begriff „Ursprung" lässt unterschiedliche Interpretationen zu.*
- *Die Verbreitung des heutigen Menschen kam im Lehrplan des G8 nicht vor.*

Weitere Aspekte zur Evolution des Menschen bilden Abschnitte im nachfolgenden Lernbereich „Mechanismen der Evolution".

Die Evolutions des Menschen wurde bereits in der 10. Klasse thematisiert. Nach dem Spiralprinzip wird es in der Kursphase nocheinmal aufgegriffen und vertieft.

Obwohl der Abschnitt 1.3 aus vier Teilen besteht, sind dafür nur etwa 2 Unterrichtsstunden eingeplant! *Ich biete hier also viel mehr Information an, als im Unterricht aufscheinen können. Aber vielleicht finden Sie an anderer Stelle ein, zwei Stunden, die Sie einsparen können.*

ISB-Handreichung (LIS): Hominidenevolution (1 Seite)
[Link]
kurze Auflistung möglicher (sic!) Lernziele

Erklärvideo: „Evolution des Menschen“ (5:26)
https://studyflix.de/biologie/evolution-des-menschen-2892
Einsatz: kann zum Einstieg in den Abschnitt „Evolution des Menschen“ dienen, die Auswahl der Arten passt recht gut zu meinem Vorschlag
Inhalt: Übersicht über die wesentlichen Stationen: Trennung von der Schimpansenlinie vor 7 Millionen Jahren, Australopithecinen, frühe Homo-Arten, Homo erectus, Homo neanderthalensis, Homo sapiens. Es wird die Veränderung einiger anatomischen Merkmale samt Selektionsvorteil vorgestellt.

1.3.1 Ursprung des Menschen

Artentwicklung: *Die hier aufgeführten Details können teilweise bei der Besprechung der Artentwicklung bei Primaten Verwendung finden (Abschnitt 2.3.6 im Lernbereich „Mechanismen der Evolution“.*

Unsicherheiten*: Die Formulierung „Ursprung“ wurde wörtlich aus den KMK-Bildungsstandards von 2020 in den LehrplanPLUS übernommen. Es gibt keine Hinweise darauf, was konkret mit „Ursprung“ gemeint ist: die Savannenlandschaft Ostafrikas mit ihren Umweltfaktoren und der Klimawandel, der vor mehreren 100.000 Jahren zur starken Erweiterung der Savannenlandschaft geführt hat; die sukzessive Entwicklung der menschentypischen Merkmale samt deren Chancen und Problemseiten? Die Abstammung des Menschen ist hier wohl nicht gemeint, denn dafür gibt es den Abschnitt „Stammbäume“. Zudem ist nicht eindeutig, was dabei unter „Mensch“ zu verstehen ist: nur* Homo sapiens *selbst oder auch seine Vorgänger-Arten?*
Mit den Jahren wird sich, unterstützt von den entsprechenden Abiturprüfungs-Aufgaben, herauskristallisieren, was konkret unter diesem Aspekt zu unterrichten ist.
Im Folgenden biete ich meinen ganz persönlichen Vorschlag zur Umsetzung an.

Überschneidung*: Im Lernbereich 3.2 „Mechanismen der Evolution“ wird bei den Kompetenzen verlangt, „die Entstehung von Arten u. a. in der Ordnung der Primaten als Zusammenspiel der Evolutionsfaktoren“ zu erklären. Dies überschneidet sich mit den Angaben für diesen Abschnitt („Ursprung des Menschen“). Teile der hier aufgeführten Lerninhalte können also auch dort (in meinem Skript: 2.2 Synthetische Evolutionstheorie) behandelt werden.*

Die Gliederung innerhalb des Kapitels Evolution wird im Buchner-Buch etwas anders vorgenommen als im LehrplanPLUS (und bei mir). Vielleicht gibt Ihnen auch das gute Anregungen für die Gestaltung Ihres Unterrichts.

Dieser Abschnitt kann schülerzentriert erarbeitet werden, wenn dafür gut verständliches Material mit klar umrissenen Aufgabenstellungen eingesetzt wird.

Für einen humorvollen Einstieg eignet sich das Gedicht „Die Entwicklung der Menschheit“ von Erich Kästner: „Einst haben die Kerls auf den Bäumen gehockt ...“ (Obwohl inzwischen feststeht, dass unsere Vorfahren Bodenbewohner mit geraden Fingerknochen waren, während Hangler wie Schimpansen gebogene Fingerknochen besitzen – aber genau dies lässt sich dann im Unterricht hübsch heraus arbeiten).
Text [Link]; gesprochen, unterlegt mit Bildern, Dauer 1:31 [Link]

Umweltveränderungen:
Im Zeitraum vor 7 bis 5 Millionen Jahren fand eine bedeutende Klimaänderung statt, die in Afrika zu einem Rückgang des tropischen Regenwalds und einer Ausbreitung der Savannen führte. Die afrikanischen Savannen bilden seitdem einen riesigen zusammenhängenden Gürtel im Halbrund um den Regenwald herum. Man geht davon aus, dass die gemeinsamen Vorfahren der heutigen Menschenaffen (einschließlich des Menschen) den Regenwald bewohnten. Während Schimpanse und Gorilla dort blieben, wanderten die Vorfahren der Menschen in die Savannen Ostafrikas aus (Konkurrenz-Vermeidung). Weil sich deren Flächen ständig vergrößerten, wuchsen die Populationen von Weidegängern wie Gazellen, Antilopen usw. deutlich an und boten damit den frühen Menschen eine umfangreiche und sichere Nahrungsgrundlage. Noch nicht abschließend geklärt ist, ob die frühen Savannen-Menschen vorwiegend aktive Jäger oder Aasfresser waren.

Ein großartiges und an manchen Stellen etwas provokatives Werk zu diesem Thema ist „Das Rätsel der Menschwerdung: Die Entstehung des Menschen im Wechselspiel mit der Natur“ von Josef H. Reichholf und Fritz Wendler.

Anatomisch-morphologische Veränderungen
*Vormenschen und Menschen zeigen Angepasstheiten an das Leben in der Savanne. Manche davon sind bereits sehr früh aufgetreten, als noch der Regenwald bewohnt wurde. Die Schüler betrachten exemplarisch Selektionsvorteile von verschiedenen anatomisch-morphologischen Veränderungen und ggf. die zeitliche Abfolge ihres Auftretens. Es kommt hierbei nicht auf Vollständigkeit oder auf das Auswendiglernen von Einzelfakten an, sondern vielmehr auf die Anwendung von Vorwissen. Auf keinen Fall die alten Arbeitsblätter aus dem Unterricht nach dem alten G9-Lehrplan mit den anatomischen Vergleichen der Merkmale von „*Hominiden*“ und „*Pongiden*“ verwenden! (Diese systematischen Kategorien gibt es schon länger nicht mehr!)*

Am Anfang steht z. B. ein kurzer Vergleich der Selektionsfaktoren in Regenwald und Savanne.

Regenwald:
- Die Fortbewegung auf dem Boden erfolgt nur mühselig, weil der Weg von herabgefallenen Ästen, Brettwurzeln usw. versperrt ist.
- Die Kommunikation erfolgt vor allem akustisch, weil die Sicht nicht weit reicht.
- Aufgrund der Dunkelheit ist der Pflanzenwuchs in Bodennähe sehr spärlich, Nahrung findet sich vor allem in den Baumkronen.

Savanne = Grasland mit vereinzelten Baumgruppen:
- Fortbewegung am Boden problemlos möglich, auch mit höheren Geschwindigkeiten.
- Hohes Gras behindert aber die Sicht; wer sich aufrichten kann, kann optisch über große Entfernungen wahrnehmen und kommunizieren.
- Nahrung findet sich auf und im Boden bzw. in Bodennähe.

Bei der Diskussion der Selektionsvorteile bestimmter Körpereigenschaften sorgfältig auf korrekte Formulierungen achten: Es handelt sich immer um Präadaptationen, also um Eigenschaften, die bei manchen Individuen in der Population schon da waren, bevor sich die Umwelt geändert hat bzw. bevor ein neuer Lebensraum erschlossen wurde.

- aufrechter Gang (Veränderungen im Fußgewölbe, beim Becken, bei der Lage des Hinterhauptslochs, Doppel-S-Form der Wirbelsäule) ermöglicht Fernsicht: Kommunikation über weite Strecken, Sichtung von Fressfeinden wie Löwen, Sichtung von Beute bzw. Geiern, die verraten, wo Aas liegt; bei der Fortbewegung sind die Hände frei zum Tragen des Nachwuchses bzw. von Waffen. Aufgrund der heutigen Fossilfunde ist bekannt, dass der aufrechte Gang erheblich älter ist als die Eroberung der Savanne durch

unsere Vorfahren. Der ursprüngliche Selektionsvorteil des aufrechten Ganges dürfte die Nahrungssuche im flachen Wasser in Ufernähe gewesen sein (Uferhypothese). Heutige Schimpansen und Gorillas gehen aufrecht, wenn sie im Flachwasser nach Nahrung suchen [vgl. Friedemann Schrenk: Die Frühzeit des Menschen. Verlag C. H. Beck]. Auch im Geäst kann es nützlich sein, sich aufzurichten. Inzwischen ist nachgewiesen, dass der aufrechte Gang im Zeitraum von vor 8-5 Millionen Jahren mehrmals unabhängig voneinander entstanden ist. Dies unterstreicht seine hohe Bedeutung.

- Reduktion der Eckzähne: ermöglicht durch intensive die Nutzung von Werkzeugen (Schimpansen töten ihre Beute mit den Zähnen, Menschen nicht). Nach Friedemann Schrenk liegt die Hauptbedeutung der großen Eckzähne bei den Schimpansen weniger in der Jagd, sondern vor allem im Imponiergehabe. Dass bei frühen Affenmenschen dieses Droh-Organ fehlt, deutet vielleicht darauf hin, dass sie mehr kooperiert haben dürften und bezüglich der Fortpflanzung Aggressivität durch Attraktivität ersetzt wurde – aber das ist ziemlich spekulativ.
- enorme Vergrößerung des Großhirns: enorme kognitive Fähigkeiten wie Planung in die Zukunft, große Speicherkapazitäten für Erfahrungen, Entwicklung einer differenzierten Wortsprache usw. Diese Entwicklung setzt relativ spät ein.
- Greifhand mit opponierbarem Daumen: ermöglicht den Präzisionsgriff, der sehr vielfältig einsetzbar ist, u. a. zur Herstellung vielfältiger Werkzeuge, Behausungen, Kleidung (dadurch Eroberung völlig neuer Regionen). Diese Greifhand ist Voraussetzung für eine differenzierte kulturelle Evolution *(Dieses Thema kommt im nächsten Abschnitt dran)*.

Vertiefung: Im Lauf der Entwicklung zum Menschen gingen einige Enhancer verloren (in deren Genbereich fand jeweils eine Deletion statt, also eine Entfernung von Nukleotiden). Einer dieser Enhancer aktiviert bei anderen Menschenaffen ein Gen, dessen Produkt im sich entwickelnden Gehirn überschüssige, zuvor gebildete Neuronen wieder vernichtet. Es wird vermutet, dass das Fehlen dieses Enhancers für die ungewöhnliche Größe des menschlichen Gehirn verantwortlich ist (Alex Pollen). Ein anderer Enhancer steuert ein Gen, dessen Produkt das Skelettwachstum begünstigt. Sein Fehlen könnte dafür verantwortlich sein, dass die Zehen beim Menschen (v. a. die zweite bis fünfte) so kurz sind. [P. Reno: Per DNA-Verlust zum Menschen? In Spektrum der Wissenschaft, Heft 2.2018, Seite 30-35]

1.3.2 Fossilgeschichte

Es werden laufend neue Fossilien von Vormenschen gefunden, so dass es keinen Sinn hat, eine differenzierte Darstellung darüber lehren zu wollen. Die Schüler sollen sich vielmehr ein Grundgerüst erarbeiten, in das sie weitere Funde, auch künftige, einordnen können. Dabei kann der eine oder andere Fund beispielhaft näher betrachtet werden. Einzelne Merkmale wie dicke Überaugenwülste, Schnauze oder Knochenkamm können erwähnt werden. Im Abschnitt 1.3.3 werden diese Funde in Stammbäume eingeordnet.

*Das Projekt „**Hominids for School**“ bietet für 600 € einen Koffer mit evaluierten Unterrichts-Materialien an, durch dessen Kauf eine afrikanische Schule mit den gleichen Materialien ausgestattet wird.* https://www.hominidsforschools.de/

Erklärvideo: „Menschenaffe“ (4:37)
https://studyflix.de/biologie/menschenaffe-3015
Einsatz: Der erste Teil eignet sich zum Einstieg in den Abschnitt „Fossilgeschichte“; der zweite Teil mit den Vergleichen passt nicht zu den Inhalten im LehrplanPLUS.
Inhalt: Gemäß der Nomenklatur werden Mitglieder der Familie Menschenaffen (*Hominidae*) mit einigen charakteristischen Merkmalen vorgestellt: Gorilla, Orang-Utan, Schimpanse, Hinweis auf den Menschen.

Vergleich Mensch und übrige Menschenaffen: Skelett, Gehirn, Zähne; Erbgut. (Im leichten Widerspruch zu „Evolution des Menschen“ wird die Trennung von der Schimpansenlinie auf 6 Millionen Jahre datiert.)

In diesem Abschnitt könnte der eine oder andere Fund beispielhaft durch kurze (!) Schülerreferate vorgestellt werden. Dabei müssen klare Vorgaben dafür sorgen, dass sich die Schüler nicht in einer Flut von Einzelfakten verlieren! In diesem Rahmen sollten auch die Forscher und Forscherinnen benannt und ihre teilweise seltsamen Geschichten erzählt werden. Ich verweise hier auf meine persönlichen Lieblinge, aber es gibt auch andere spannende Forschungsgeschichten:

Australopithecus afarensis: Donald Johanson und sein Team fanden am 24. November 1974 im Afar-Dreieck (Äthiopien) das erste Skelett dieser Art und nannten es scherzhaft „Lucy“, weil bei der Feier anlässlich seiner Entdeckung wiederholt *Lucy in the Sky with Diamonds* von den Beatles auf dem Cassetten-Recorder gespielt wurde. (Australopithecus bedeutet: Südaffe.)

Die Geschichte dazu wird in einem Buch in sehr spannender Weise erzählt: Donald C. Johanson, Maitland A. Edey: Lucy. Sieh auch: Ann Gibbons: Lucys Welt. In Spektrum der Wissenschaft, 12.2024, Seite 12-21 sowie den Artikel der beiden Entdecker von Lucy, Donald C. Johanson, Yohannes Haile-Selassie: Lucys Entdeckung. In Spektrum der Wissenschaft 1.2025, Seite 36-45.

Paranthropus boisei (früher: *Australopithecus boisei*): Der hohe Knochenkamm, die kräftigen Kieferknochen und die mächtigen Backenzähne lassen auf eine Ernährung auch durch harte Pflanzenteile schließen (das waren unter anderem Steppengräser, aber keine Nüsse, so dass die Bezeichnung „Nussknacker-Mensch“ irreführend ist). Fund: Olduvai-Schlucht (Tansania) durch Mary Leakey (die Frau von Louis Leakey), 1959. Ein sehr interessanter, reich bebilderter Artikel beschreibt das heutige Wissen zum Alltag von *P. boisei*: Bernard Wood, Alexis Williams: Unser exotischer Vetter Paranthropus. In Spektrum der Wissenschaft 7.2021, S. 30-37.

Pithecanthropus erectus, Java-Mensch: Während Charles Darwin vermutete, dass sich der Mensch in Ostafrika entwickelt hatte, weil dort heute noch Gorillas und Schimpansen leben, vermutete Ernst Haeckel den Ursprung des Menschen eher im südlichen Asien, weil ihm bestimmte Merkmale der dortigen Bevölkerung als ursprünglich erschienen. Davon war der holländische Militärarzt Eugène Dubois so fasziniert, dass er sich nach Sumatra versetzen ließ, um im malaiischen Archipel nach menschlichen Fossilien zu suchen. Bestärkt wurde er durch die Tatsache, dass dort Orang-Utans vorkommen, ebenfalls nahe Verwandte von *Homo sapiens*. Obwohl sich die Argumentationen für die Ostasien-Hypothese später als falsch heraus stellten, hatte Dubois Glück und fand 1891 durch reinen Zufall Fossilien des Java-Menschen, dessen Vorfahren aus Ostafrika ausgewandert waren.

Homo neanderthalensis, Neandertaler: 1856 fanden Steinbruch-Arbeiter im Neandertal östlich von Düsseldorf Knochenfragmente, darunter auch ein Schädeldach mit dicken Überaugenwülsten. Der Naturforscher Johann Carl Fuhlrott ordnete die Fossilien als Knochen eines Vormenschen ein, wurde aber lange nicht ernst genommen. Das lag wohl auch daran, dass der renommierte Wissenschaftler Rudolf Virchow die Fossilien als ein pathologisch verändertes Exemplar von *Homo sapiens* interpretierte; eine Einschätzung, die erst 1903 durch radiologische Untersuchungen widerlegt wurde. Heute gibt es Neandertaler-Funde aus vielen Regionen in Europa und dem westlichen Asien, besonders reichhaltig in Atapuerca (Rioja, Nordspanien). Der Neandertaler scheint während der Kaltzeiten erfolgreicher gewesen zu sein als der moderne Mensch (mächtige Lufträume in den Plattenknochen des Schädels könnten als Isolierung gegen die Kälte gewirkt haben). Als *Homo sapiens* vor 45.000 Jahren aus Afrika nach Europa einwanderte, kam es gelegentlich zu Paarungen mit dem Neandertaler; das Genom heutiger Europäer enthält ca. 2,5 % Neandertaler-Gene. Der Neandertaler starb vor etwa 30.000 Jahren aus, also noch vor dem Höhepunkt der letzten Kaltzeit (Würm-Eiszeit). Achten Sie darauf, dass andere Menschenarten nicht abschätzig betrachtet werden. Die Neandertaler waren geschickte und

vermutlich sogar spirituelle Leute (sie legten Grabstätten an). Kurzer Artikel: Roland Knauer: Das Familienleben der Neandertaler. In Spektrum der Wissenschaft 3.2023, S. 22-24.

Denisova-Mensch (noch ohne einen wissenschaftlichen Namen): In der Denissowa-Höhle (Altaigebirge, Sibirien) wurden 2000 ein Backenzahn und 2008 ein Fingerglied entdeckt, deren mitochondriale DNA 2010 unter Leitung von Svante Pääbo (Begründer der Untersuchung fossiler DNA) sequenziert wurde. Dabei stellte sich heraus, dass der Denisova-Mensch sich von *Homo neanderthalensis* wie auch von *Homo sapiens* unterscheidet. Der Denisova-Mensch lebte in Asien. Als *Homo sapiens* vor 200.000-150.000 Jahren aus Afrika nach Asien einwanderte, vermischte er sich mit dem Denisova-Menschen; das Genom heutiger Asiaten enthält ca. 5 % Denisova-Gene. (Der älteste Fund hat ein Alter von über 200.000, der jüngste eines von etwa 50.000 Jahren.)

Folgende Aspekte sollten ebenfalls angesprochen werden:

- Fundorte: Die Überreste der ältesten Vormenschen wurden ausschließlich in Ost- und Südafrika ausgegraben. In Asien und Europa gefundene Vormenschen-Arten sind erheblich jünger.
- Untersuchungsmethoden: anatomische Vergleiche, Sequenzierung fossiler DNA und Vergleich untereinander sowie mit heute lebenden Menschen, elektronenmikroskopische Untersuchung z. B. der Kauflächen auf den Zähnen (Hinweise auf die Ernährung)

1.3.3 Stammbäume

Der LehrplanPLUS wählt hier die Pluralform. Das kann nur bedeuten, dass unterschiedliche Hypothesen für einen Stammbaum vorgestellt werden sollen. Welche davon die tatsächlichen Verhältnisse darstellt, ist derzeit kaum zu entscheiden, weil es dafür immer noch zu wenige Fossilien gibt. Dies sehe ich nicht als Nachteil, sondern vielmehr als eine Chance, den Weg der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung aufzuzeigen – und dazu gehört auch, dass Hypothesen kontrovers diskutiert werden bzw. neue Untersuchungs-Ergebnisse ein Umdenken erfordern. Die Schüler sollten Stammbäume aus dem Internet bzw. dem Lehrbuch beschreiben und zwischen gesicherten Ergebnissen und Mutmaßungen unterscheiden.

Vier verschiedene Vorschläge für einen Stammbaum des Menschen sind in bioskop 12, Westermann-Verlag 2024, auf Seite 222 dargestellt. Eine alternative Abbildung finden Sie auf Seite 111 in Biosphäre 12, Cornelsen-Verlag 2024, bzw. in B3, Seite 229 im Buchner-Buch.

Vom Vormenschen zum heutigen Menschen

Weil die Funde von Vorfahren des heutigen Menschen aus ganz unterschiedlichen Zeiten stammen, ist man leicht dazu verführt, daraus eine direkte Abstammungsreihe zu erstellen. Aber die Wahrscheinlichkeit, dass bei den vergleichsweise wenigen Funden tatsächlich ein Vorfahre und sein direkter Nachfahre dabei sind, ist ziemlich gering (als wahrscheinlich gilt nur die Abstammung von *H. sapiens*, *H. neanderthalensis* und dem Denisova-Menschen vom *H. erectus*). In der Regel werden die Funde etlichen Seitenzweigen zugeordnet.

Erklärvideo „Homo habilis“ (3:43)
https://studyflix.de/biologie/homo-habilis-6560
(Ich kenne die Betonung auf der ersten Silbe: „hábilis“). Werkzeuge, Lebensweise, Aussehen, Schädelvergleiche zwischen *H. rudolfensis*, *H. habilis* und *H. erectus*. (Versprecher beim *H. erectus*: Hirnvolumen in Quadrat- statt Kubikzentimeter)

Erklärvideo „Homo erectus“ (4:05)
https://studyflix.de/biologie/homo-erectus-2891
hübscher Einblick in Aussehen, Bedeutung, Lebensweise sowie Vergleich mit dem modernen Menschen; gut einsetzbar beim Abschnitt „Fossilgeschichte“

- Am Anfang stehen Vormenschen wie *Australopithecus* oder *Paranthropus* (3,5-1,8 Millionen Jahre vor heute).
- Als Urmenschen bezeichnet man aktuell die frühen Arten der Gattung *Homo* wie *H. habilis* oder *H. rudolfensis*. Sie lebten etwa vor 2,1-1,5 Millionen Jahren, also über eine lange Zeitspanne gleichzeitig mit den Vormenschen.
- Als Frühmenschen bezeichnet man die späteren Arten der Gattung *Homo*, außer *H. sapiens*. Der *Homo erectus* lebte etwa 2 Millionen bis 100.000 Jahren vor heute; aber die Zuordnung von Funden zu dieser Art ist sehr schwierig und entsprechend umstritten. Die Abgrenzung zu *H. ergaster* oder *H. heidelbergensis* fällt je nach Autor unterschiedlich aus.

Die Begriffe Vor-, Ur- und Frühmensch stehen nicht im LehrplanPLUS und stellen somit keinen Lerninhalt dar.

Meiner Meinung nach sollten die Schüler folgende Abfolge kennen, die eine zeitliche Reihung darstellt und nicht unbedingt eine Ahnenreihe:

> *Australopithecus*-Arten > *Homo habilis* > *Homo erectus* > *Homo sapiens*
> (ggf.: auch unsere Schwesterart *H. neanderthalensis*)

Multiregionaler Ursprung des *Homo sapiens* versus **„Out-of-Africa“-Hypothese**

Multiregionaler Ursprung:
Es gibt Untersuchungsergebnisse, die darauf hindeuten, dass *Homo sapiens* eine Mischform darstellt, die mehrere Ursprungsregionen hat: Frühe Formen von *H. sapiens* wurden in Nord-, Ost- und Südafrika gefunden; auch genetische Befunde wurden 2023 in dieser Richtung interpretiert. Dabei wird auch angenommen, dass sich der frühe *H. sapiens* in größerem Umfang mit den gleichzeitig lebenden Arten *H. erectus* oder *H. neanderthalensis* vermischt hat. Demnach lägen die Ursprünge des modernen Menschen in Afrika, Asien und Europa.

„Out-of-Africa“-Hypothese:
(Man sollte sie als Hypothese bezeichnen und nicht als Theorie, weil sie noch nicht genügend gut belegt ist. Bezogen auf *H. sapiens* heißt sie auch „Out-of-Africa-II“-Hypothese, weil sich die „Out-of-Africa-I“-Hypothese auf *H. erectus* bezieht, der sich ebenfalls in Afrika entwickelt hat und von dort aus nach Asien gewandert ist.) Es gibt keine Belege dafür, dass sich *H. sapiens* mit dem späten *H. erectus* vermischt hätte. Eine Vermischung mit *H. neanderthalensis* fand in Europa in geringem Umfang statt (das Genom heutiger Europäer enthält ca. 2,5 % Neandertaler-Gene); das gleiche gilt für den Denisova-Menschen in Asien (das Genom heutiger Asiaten enthält ca. 5 % Denisova-Gene). Beide Einflüsse waren für die Ausprägung von *H. sapiens* aber nicht wesentlich, so dass man nicht von mehreren Ursprüngen spricht. Neue Ergebnisse von Sequenzierungen des Y-Chromosoms sowie der mitochondrialen DNA stützen die „Out-of-Africa-II“-Hypothese (mit dem Y-Chromosom wird die rein väterliche Abstammungslinie untersucht, denn Frauen besitzen kein Y-Chromosom; mit der mtDNA wird die rein mütterliche Abstammungslinie untersucht, denn Spermien geben keine Mitochondrien weiter: Der „Adam des Y-Chromosoms“ wie auch die „Mitochondriale Eva“ waren in Afrika beheimatet).

Die Methoden zur Altersbestimmung sind eigentlich kein Thema, das der LehrplanPLUS vorsieht, aber zur Information der Lehrkraft seien sie hier angesprochen:

Die Zeitpunkte für die Aufspaltung von Entwicklungslinien werden v. a. durch zwei unterschiedliche Methoden bestimmt:
Einerseits lässt sich in der Regel mit radioaktiven Zerfallsreihen das (absolute) Alter der Fossilien bestimmen (^{14}C-Analyse bis etwa 60.000 Jahre; Kalium-Argon- bzw. ^{39}Ar-^{40}Ar-Datierung für längere Zeiträume bis mehrere Milliarden Jahre). Der Zeitpunkt der Aufspaltung muss dabei indirekt erschlossen werden, weil die Fossilien zeitlich nicht auf, sondern zwischen den Aufspaltungspunkten der Arten liegen.
Die andere Methode ist die molekulare Uhr: Dafür wird die DNA rezenter Lebewesen sequenziert und verglichen. Ausgehend von einer durchschnittlichen Mutationsrate von etwa 50 Änderungen pro Generation und Genom (bzw. etwas weniger) wird der Zeitpunkt der Aufspaltung zurückgerechnet. Weil beide Methoden nicht sehr genau sind, kommt es meist zu Abweichungen. So ergibt die molekulare Uhr für die Trennung von Schimpansen und Vormenschen einen Zeitraum zwischen 6 bis 5 Millionen Jahren vor heute, während die Altersbestimmung der Fossilien einen Zeitpunkt um 7,5 Millionen Jahren vor heute ergibt.

1.3.4 Verbreitung des heutigen Menschen

Die ältesten Formen des *Homo sapiens* entstanden in der Zeit zwischen 300.000 und 200.000 Jahren vor heute. Die Funde stammen aus verschiedenen Regionen, die über Afrika verstreut liegen. Vor 70.000 Jahren begann *Homo sapiens*, ausgedehnte Wanderungen zu unternehmen, zunächst durch Afrika, dann in den Nahen Osten. Vor 45.000 Jahren besiedelte er bereits ganz Asien und Europa, wenn auch in sehr geringer Individuenzahl. Bereits vor etwa 60.000 Jahren erreichte er Australien. Zuletzt wanderte er von Sibirien aus über die in der Eiszeit zur Landbrücke gewordenen Behringstraße nach Nordamerika ein (vor mehr als 10.000 Jahren (Clovis-Kultur); neue Erkenntnisse deuten sogar auf eine noch frühere Einwanderung vor vielleicht 20.000 Jahren hin) und von dort aus nach Südamerika*. Damit ist *Homo sapiens* die einzige Menschenart, die Australien und Amerika besiedelt hat.
*) vgl. Jennifer Raff: Übers Eis nach Amerika. In Spektrum der Wissenschaft 9.2021, S. 75-83

In Europa und – in deren späten Zeit – auch in West- und Zentralasien traf *Homo sapiens* auf den Neandertaler. In Asien traf er noch auf den Denisova-Menschen.

Die wesentlichen Voraussetzungen für die praktisch weltweite Verbreitung von *Homo sapiens* sind neben dem aufrechten Gang seine außergewöhnlichen geistigen Fähigkeiten sowie sein Präzisionsgriff, die es ihm gestatten, vorausschauend zu planen sowie Werkzeuge und Hilfsmittel auf sehr hohem Niveau herzustellen (z. B. Kleidung in kalten Gegenden, Schiffe zur Besiedlung von Inseln und anderen Kontinenten usw.). Weil er Allesfresser ist, wie sein Gebiss ausweist, kam er mit den unterschiedlichsten Nahrungsangeboten zurecht (einen Extremfall stellen die Inuit dar, die sich früher fast ausschließlich von Säugetieren (Robben, Wale) und Fischen ernährt haben).

Seit Neandertaler und Denisova-Mensch ausgestorben sind, gibt es – wohl zum ersten Mal in der Evolutionsgeschichte – nur eine einzige Menschenart: *Homo sapiens*. Die heutigen Menschen ähneln sich genetisch so stark, dass man davon ausgehen muss, dass eine früher vermutlich existierende größere Variabilität durch einen Flaschenhals-Effekt* eingeschränkt worden ist. Deshalb ist es biologisch falsch, von „Rassen“ beim Menschen zu sprechen. (Außerdem wurde nachgewiesen, dass es bei den unmittelbaren Vorfahren des Menschen (*Homo erectus*) während der Eiszeit vor 900.000 Jahren ebenfalls einen Flaschenhals gegeben haben muss, also weit vor Entstehung von *Homo sapiens*. Während es zuvor wohl um die 100.000 Individuen gewesen sein dürften, schrumpfte die Population auf schätzungsweise etwa 1.300 Individuen. Diese Krise hielt mehr als 100.000 Jahre an, dann erholte sich die Population wieder, vermutlich

aufgrund des Gebrauchs von Feuer, vermuten die Forscher um Wangjie Hu von der Chinesischen Akademie der Wissenschaften in Shanghai in ihrem 2023 in Science veröffentlichen Artikel.

*) Dieser Effekt wird erst im Abschnitt 2.2.4 behandelt. An dieser Stelle kann angedeutet werden, dass große Teile der weltweiten Population keine Nachkommen hatten (ggf. aufgrund einer Katastrophe) und die genetische Vielfalt der relativ kleinen überlebenden Population viel kleiner war als die der ursprünglichen Population.

1.4 Verwandtschafts-Beziehungen

(ca. 3 Stunden)

Inhalte zu den Kompetenzen	***Kompetenzerwartungen:* Die Sch. …**
Bestimmen, Vergleichen, Ordnen und Systematisieren der Lebewesen als fachgemäße Arbeitsweisen an ausgewählten Beispielen; Erstellung eines Stammbaums bzw. Kladogramms durch Vergleich ursprünglicher und abgeleiteter Merkmale; morphologischer Artbegriff	vergleichen unterschiedliche historische und aktuelle Ansätze zur Systematisierung von Lebewesen und beurteilen deren Aussagekraft. bestimmen unterschiedliche Tier- und Pflanzenarten.
Vorwissen: ***Jgst. 9 Biologie****, Lernbereich 4: Evolution (Stammesgeschichte der Lebewesen als fortlaufendes Evolutionsgeschehen [steht nur bei Kompetenzen])*	

An dieser Stelle sieht der LehrplanPLUS Unterrichtszeit zum Einüben von Methoden vor (im Gegensatz zum G8-Lehrplan). Dieser Abschnitt kann auch in den Abschnitt 1.2 eingegliedert werden.

Die Schüler erhalten oder beschaffen sich Informationen zu unterschiedlichen Tier- und Pflanzenarten. Sie bestimmen die Arten (bzw. Gattungen, Familien) z. B. mithilfe (einfacher) dichotomer Bestimmungsschlüssel oder durch kritischen Einsatz von Bestimmungs-Apps im Vergleich mit Bestimmungsbüchern. Durch Vergleich ermitteln sie das Ausmaß an Ähnlichkeiten bzw. Unterschieden und versuchen sich auf dieser Grundlage im Ordnen und Systematisieren (= Einordnen in das Natürliche System).

Aufgrund dieser Erkenntnisse erstellen sie einen Stammbaum bzw. ein Kladogramm. Sie unterscheiden dabei ursprüngliche und abgeleitete Merkmale:

Ursprüngliche (primitive / plesiomorphe) Merkmale sind bereits vor der Abzweigung der betrachteten Gruppe entstanden und blieben mehr oder weniger unverändert erhalten (wenn sie nicht im Laufe der Evolution verschwunden sind). Die Vierfüßigkeit der Landwirbeltiere stellt ein ursprüngliches Merkmal dieser Klassen dar. Die Ausgestaltung der Vorderextremitäten als Flügel stellt ein ursprüngliches Merkmal der Klasse Vögel dar.

Abgeleitete (neu erworbene / apomorphe) Merkmale treten erst bei der betrachteten Gruppe auf wie z. B. das Fehlen von Extremitäten bei Schlangen oder die Ausgestaltung eines Horns aus verklebten Haaren bei der Familie der Nashörner.

Die Anzahl von fünf Fingern bzw. Zehen bei Landwirbeltieren ist ein ursprüngliches Merkmal, die Reduktion der Finger- bzw. Zehenzahl (z. B. auf den Mittelfinger bei Pferden) stellt jeweils ein abgeleitetes Merkmal dar.

Auf die Fachbegriffe Plesiomorphie für ursprüngliche und Apomorphie für abgeleitete Merkmale sollte verzichtet werden. Sie gehen auf den Begründer der Kladistik, Willi Hennig, zurück. Im Buchner-Buch tauchen diese Begriffe auf, sie stellen aber keinen Lerninhalt dar.

Praktisches Arbeiten:

vgl. Aufgabe 6 auf dem Arbeitsblatt „Evolution Aufgaben 1“ (Stammbaum bzw. Kladogramm von fünf Pflanzenarten)

vgl. Aufgabe 7 auf dem Arbeitsblatt „Evolution Aufgaben 1“ (Veränderungen in der Systematik der Paarhufer durch molekularbiologische Ergebnisse)

Arbeitsblatt *Evolution Aufgaben 1* [docx] [pdf]

Der Praktikumsordner „Bio? – Logisch!“ enthält ein Spiel, das veranschaulicht, wie ursprüngliche Merkmale beibehalten werden und von Stufe zu Stufe abgeleitete Merkmale neu dazu kommen (die dann für die nachfolgenden Gruppen bzw. Arten zu ursprünglichen Merkmalen werden können). Dazu dienen 32 Bildkarten von Tierarten, auf denen wesentliche Merkmale genannt werden, die jeweils im Vergleich von den Schülern als ursprünglich bzw. abgeleitet eingeordnet werden können. Am Ende werden die Arten zu Gattungen, diese zu Familien usw. zusammengefasst. Die Dateien für diese Bildkarten sowie die ausführliche Spielanleitung befinden sich auf dem elektronischen Speichermedium, das mit dem gedruckten Ordner ausgeliefert wird.
ALP Blatt 08_4_v01: Das Skofga-Spiel

Weitere Aufgaben: vgl. Lehrbücher.