

MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

Evolution verstehen: Digitale Ressourcen zum “Tree Thinking” im internationalen Vergleich

verfasst von | submitted by

Mag.phil. Dr.phil. Birgit Bühler BSc BEd MSc

angestrebter akademischer Grad | in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Education (MEd)

Wien | Vienna, 2026

Studienkennzahl lt. Studienblatt |
Degree programme code as it appears on the
student record sheet:

UA 199 502 511 02

Studienrichtung lt. Studienblatt | Degree
programme as it appears on the student
record sheet:

Masterstudium Lehramt Sek (AB) Unterrichtsfach
Biologie und Umweltbildung Unterrichtsfach
Geschichte und Politische Bildung

Betreut von | Supervisor:

ao. Univ.-Prof. i.R. Dr. Michael Kiehn

Mitbetreut von | Co-Supervisor:

Mag. Dr. Erich Eder

Danksagungen

Mein besonderer Dank gilt meinem Betreuer, Herrn Ao. Univ.-Prof. Dr. Michael Kiehn, für die Anregung zur Beschäftigung mit dem Thema “Tree Thinking“ und für vielfältige, geduldige Unterstützung bei der Fertigstellung dieser Masterarbeit. Auch meinem Co-Betreuer, Herrn Mag. Dr. Erich Eder möchte ich für wichtige Anregungen und die motivierende Betreuung ganz herzlich danken.

Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei allen Studienkolleg*innen, die gemeinsam mit mir die fachdidaktische Übung „Evolution und Ethik“ und das Seminar für Masterstudierende besucht haben: Der Austausch im Rahmen dieser Lehrveranstaltungen hat mir, gerade in der Anfangsphase meiner Masterarbeit, wichtige Impulse für deren Erstellung gegeben.

Zudem möchte ich mich bei meiner Familie und meinen Freund*innen bedanken, für Verständnis und Motivation während der herausfordernden Zeit nebenberuflicher Fortbildungsmaßnahmen.

Abstract (Deutsch)

Der Erwerb von “Tree Thinking“- Kompetenzen kann entscheidend zum Verständnis wichtiger Grundkonzepte der Evolutionstheorie beitragen und somit die Basis für eine fundierte biologische und naturwissenschaftliche Grundbildung legen. Online-Lehr-Lern-Ressourcen spielen nicht nur im Kontext der informellen und der non-formalen Bildung, sondern auch im Bereich der formalen Bildung (Schule, Universität) eine wichtige Rolle. Im Zentrum meiner Masterarbeit stand eine „Bestandsaufnahme“ und Bewertung von Online-Lehr-Lern-Ressourcen zum Thema “Tree Thinking“, unter besonderer Berücksichtigung einer vergleichenden Betrachtung im internationalen Kontext. Die quantitative Bewertung erfolgte aufgrund von zwei fachwissenschaftlichen, sechs fachdidaktischen, vier mediendidaktischen und drei medientechnischen Kriterien. Die Stichprobe umfasste jeweils 10 englischsprachige und 10 deutschsprachige digitale Lehr-Lern-Ressourcen zum “Tree Thinking“. Die Ergebnisse zeigten grundlegende Unterschiede zwischen dem englischen und dem deutschen Sprachraum auf: Bei den im Rahmen dieser Arbeit bewerteten Onlinere Ressourcen lag die durchschnittliche Punkteanzahl aller englischsprachigen Beispiele deutlich höher als die durchschnittliche Punkteanzahl für die Gesamtheit der deutschsprachigen Beispiele. Auffallend ist, dass die beiden Ressourcen mit der insgesamt höchsten Punktezahl (Nr. 1 – The Tree Room und Nr. 2 – PBS/ Nova Evolution Lab) beide aus dem englischsprachigen Raum stammen: Es handelt sich um umfangreiche sowie informativ, motivierend und multimedial gestaltete Websites aus den U.S.A. Im deutschsprachigen Raum fehlen bisher Online-Lehr-Lern-Ressourcen vergleichbarer Qualität, sowohl in fachlicher als auch in fachdidaktischer Hinsicht. Daher wurde abschließend, unter Berücksichtigung der fachdidaktischen Grundlagen, des Forschungsstandes und der eigenen Forschungsergebnisse, ein Entwurf für eine deutschsprachige Onlinere Ressource zum Thema “Tree Thinking“ erarbeitet. Der erste Schritt bei der Neugestaltung einer digitalen Ressource zur Förderung des “Tree Thinking“ sollte die Erstellung einer kompakten, klar und einfach formulierten Einführung sein. Im Anschluss an diesen Einführungsteil sollte anhand ausgewählter Fallbeispiele die praktische Bedeutung phylogenetischer Stammbäume in den Lebenswissenschaften und im Alltag verdeutlicht werden. Dies wurde hier exemplarisch, am Beispiel des Rahmenthemas Evolution der Wale und Delfine (Ordnung: Cetacea), unter besonderer Berücksichtigung von *Orcinus orca* (Familie: Delphinidae), demonstriert.

Abstract (English)

The acquisition of “Tree Thinking” skills can be crucial for understanding key basic concepts of evolutionary theory and thus lay the foundation for a solid biological and scientific education. Online teaching and learning resources play an important role not only in the context of informal and non-formal education but also in the field of formal education (school, university). The main aim of my master's thesis was an inventory and evaluation of online teaching and learning resources on “Tree Thinking“, focusing on a comparative consideration in an international context. The quantitative evaluation was based on two subject-specific, six subject-didactic, four media-didactic, and three media-technical criteria. The sample comprised 10 English-language and 10 German-language digital teaching and learning resources on “Tree Thinking“. The results revealed fundamental differences between the English-speaking and German-speaking world: For the online resources evaluated in this study, the average score of all English-language examples was much higher than the average score for all German-language examples. It should be noted that the two resources with the highest overall scores (No. 1 – The Tree Room and No. 2 – PBS/ Nova Evolution Lab) are both from the English-speaking world: They are extensive websites from the U.S.A and are both informative, motivating, and multimedia-based. In the German-speaking world, online teaching and learning resources of comparable quality are still lacking, both in terms of content and didactics. Hence, taking into consideration the subject-didactic foundations, the state of research, and the author's own research findings, a draft for a German-language online resource on the topic of “Tree Thinking” was developed. The first step in redesigning a digital resource to promote “Tree Thinking” in the context of secondary school education should be the creation of a concise, clearly, and simply formulated introduction. Following the introduction, the practical significance of phylogenetic tree diagrams in the life sciences and everyday life should be illustrated using selected case studies: This was exemplarily demonstrated here using the framework topic of the evolution of whales and dolphins (order: Cetacea), with special consideration given to *Orcinus orca* (family: Delphinidae).

Inhaltsverzeichnis

Abstract (Deutsch)	3
Abstract (English)	4
1 Einleitung	7
2 Forschungsstand	8
2.1 Forschungsstand zum “Tree Thinking“	8
2.2 Forschungsstand zu Alltagsvorstellungen im Biologieunterricht	16
2.2.1 Grundsätzliches	16
2.2.2 Alltagsvorstellungen zur Evolution	17
2.3 Forschungsstand zu Lehr-Lern-Theorien	19
2.3.1 Allgemeines	19
2.3.1.1 Überblick zu konstruktivistischen Lehr-Lern-Theorien in der Biologiedidaktik	19
2.3.1.2 Theorien zum Vorstellungswandel im Unterricht: “Conceptual Change“ und “Conceptual Reconstruction“	20
2.3.1.3 Das Modell der didaktischen Rekonstruktion	21
2.3.2 Forschungsstand zum Multimedia-Lernen und zu digitalen Lehr-Lern-Ressourcen	23
3 Forschungsfragen	28
4 Methodik	28
4.1 Auswahl der Stichprobe	28
4.2 Erarbeitung von Kriterien für die Stammbaumanalyse	29
4.3 Erarbeitung von Kriterien für die Bewertung digitaler Ressourcen zum “Tree Thinking“	31
5 Ergebnisse	37
5.1 Stammbaumanalyse – ausgewählte Beispiele aus internationalen digitalen Ressourcen	37
5.2 Ergebnisse der Bewertung ausgewählter, internationaler digitaler Ressourcen zum “Tree Thinking“	42
5.2.1 Ergebnisse der quantitativen Bewertung ausgewählter Onlinersressourcen zum “Tree Thinking“	42
5.2.1.1 Ergebnisse der quantitativen Bewertung: Englischsprachige Online-Lehr-Lernressourcen zum “Tree Thinking“	42

5.2.1.2 Ergebnisse der quantitativen Bewertung: Deutschsprachige Online-Lehr-Lernressourcen zum “Tree Thinking“	43
5.2.2 Ergebnisse der qualitativen Beurteilung ausgewählter Onlineressourcen zum “Tree Thinking“	44
6 Diskussion	55
7 Erste Überlegungen zur Neugestaltung von digitalen Ressourcen zum “Tree Thinking“ für den deutschsprachigen Raum	69
7.1 Allgemeines	69
7.2 Zentrales Fallbeispiel: Evolution der Wale und Delphine (Ordnung: Cetacea), unter besonderer Berücksichtigung von <i>Orcinus orca</i> (Familie: Delphinidae)	75
7.2.1 Fachlicher & fachdidaktischer Hintergrund	75
7.2.2 Vorschläge zur Erstellung von Onlineressourcen	85
8 Zusammenfassung	87
Literaturverzeichnis	91
Anhang	98
A Verzeichnis verwendeter digitaler Ressourcen zum “Tree Thinking“	98
B Onlinequellen zum Thema Wale und Delfine (Ordnung Cetacea)	102
C Kriterienkatalog für die Bewertung digitaler Ressourcen zum “Tree Thinking“	106
D Ergebnistabellen	107
E Empfehlungen zum Einsatz von Onlineressourcen zur Förderung des “Tree Thinking“ im schulischen Kontext (Sekundarstufe)	109

1 Einleitung

Die Fähigkeit, phylogenetische Stammbäume zu lesen, korrekt zu interpretieren und zu verwenden (“Tree Thinking“) stellt in den Lebenswissenschaften eine zentrale Kompetenz dar. Die Bedeutung dieser Fähigkeit für die biologische Grundbildung wurde in der fachdidaktischen Forschung bisweilen mit der Bedeutung des Lesens von Landkarten im Unterrichtsfach Geographie verglichen. Dies ist insofern zutreffend, als es sich in beiden Fällen um fachspezifische Diagramme handelt, also um die graphische Umsetzung von wissenschaftlichen Hypothesen oder Erkenntnissen des betreffenden Fachs. Allerdings spielen im Zusammenhang mit dem “Tree Thinking“ nicht nur fachspezifische „Diagramm-Lese-Kompetenzen“ eine wichtige Rolle, sondern darüber hinaus auch das Verständnis von Grundprinzipien des zentralen Paradigmas in der Biologie – der Evolutionstheorie. Im Kontext des “Tree Thinking“ ist das Vorwissen der Lernenden von besonderer Bedeutung, da es die Interaktion mit den angebotenen Lehr-Lern-Ressourcen entscheidend beeinflusst. Insofern gehen die Kompetenzen, die bei der Arbeit mit phylogenetischen Stammbäumen erworben werden, über die reine Fähigkeit, eine fachspezifische Graphik korrekt lesen und interpretieren zu können, weit hinaus. Zu beachten ist daher, dass die Arbeit mit phylogenetischen Stammbäumen zwar einerseits zur Übernahme der fachlich korrekten, evolutionsbiologischen Basiskonzepte beitragen kann, dass andererseits aber auch die Gefahr besteht, inkorrekte Alltagsvorstellungen zur Evolution zu verstärken und zu fördern. Bemerkenswert ist, dies zeigt der Forschungsstand zum Thema “Tree Thinking“ ganz deutlich, dass sich bezüglich der inkorrekten Interpretation von Stammbäumen eindeutige Zusammenhänge zwischen konkreten Merkmalen dieser Diagramme und bestimmten Fehlinterpretationen und Alltagsvorstellungen zeigen (vgl. z. B.: Catley et al. 2010; Kummer et al. 2016; Schramm & Schmiemann 2019). Wichtig ist in diesem Zusammenhang auch, dass der Hypothesencharakter phylogenetischer Stammbäume für die Lernenden klar erkennbar sein sollte.

Der Themenkomplex des Lehrens und Lernens mithilfe digitaler Medien hat in den letzten Jahren stark an Bedeutung zugenommen, nicht zuletzt infolge der Sars-CoV2-Pandemie, vor allem in den stark von Fernunterricht betroffenen Jahren 2020-2022. Ein wichtiger Aspekt ist in diesem Zusammenhang die Erstellung von digitalen Lehr-Lern-Ressourcen für unterschiedliche Fachgebiete, Themenbereiche und Zielgruppen. Diese Websites sollen das Lernen im individuellen Tempo und entsprechend den individuellen Bedürfnissen der

Lernenden, mittels verschiedener Lehr-Lern-Materialien und Methoden, ermöglichen. Insofern bietet der, durch die Pandemie initiierte, aktuelle „Digitalisierungsschub“ Chancen für den Bildungssektor, die insbesondere für die Zielgruppe Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe (in weiterer Folge = SuS) genutzt werden sollten (vgl. z. B. Daniel & Maaz 2023).

Der Schwerpunkt dieser Masterarbeit liegt einerseits auf der Zusammenstellung, Diskussion und kritischen Bewertung ausgewählter Websites zum Thema “Tree Thinking“, also zur fachlich korrekten Interpretation phylogenetischer Stammbaumdiagramme: Von besonderem Interesse ist in diesem Zusammenhang eine vergleichende Betrachtung von, im Internet frei verfügbaren, Lehr-Lern-Ressourcen des englisch- und deutschsprachigen Sprachraumes. Andererseits soll als weitere Zielsetzung, unter Berücksichtigung der fachdidaktischen Grundlagen und der Ergebnisse der eigenen, qualitativen Forschungen zu relevanten, digitalen Lehr-Lern-Ressourcen, ein Entwurf für eine deutschsprachige Website zum “Tree Thinking“ erarbeitet werden.

2 Forschungsstand

2.1 Forschungsstand zum “Tree Thinking“

Grundsätzlich handelt es sich beim Diagrammtyp des phylogenetischen Stammbaums um die Visualisierung einer evolutionsbiologischen Hypothese zu Verwandtschaftsbeziehungen zwischen Taxa. Ulrich Kattmann bietet für den biologischen Diagrammtyp „Stammbaum“ folgende Definition an: *„Die Linien eines Stammbaums symbolisieren genetisch gegeneinander isolierte Stammeslinien. Stammbäume enthalten stets eine Zeitachse. Sie sind theoretisch (hypothetisch) begründete Modelle über den Verlauf der Stammesgeschichte. Die Zeitachse verläuft in der üblichen Darstellung von unten nach oben. Alle heute lebenden Organismen stehen entsprechend oben auf gleicher Höhe im Stammbaum. Sie dürfen nicht an Gabelungen in den Stammbaum eingezeichnet werden, da dies suggerieren würde, dass heute lebende Organismen voneinander abstammen. Die Anordnung auf gleicher Höhe demonstriert außerdem, dass alle rezenten Lebewesen gleich hoch entwickelt sind“* (Kattmann 2020a, 369). Allerdings werden umgangssprachlich auch Diagramme familiärer Abstammung, wie sie beispielsweise im Kontext der Humangenetik zur Darstellung von Verwandtschaftsbeziehungen und den damit verbundenen Erbgängen von Merkmalen eingesetzt werden, häufig als „Stammbäume“ bezeichnet. Dies kann für die Lernenden irreführend sein (Kattmann 2020a). Jedoch ist eine vergleichende Betrachtung der

Darstellungsweise von Diagrammen zur familiären Verwandtschaft und phylogenetischen Stammbäumen in diesem Zusammenhang ebenfalls von Interesse, da solche „Familienstammbäume“ im Biologieunterricht fallweise als Analogie für phylogenetische Stammbäume verwendet werden, z. B. um evolutionsbiologische wichtige Konzepte wie jenes des „letzten gemeinsamen Vorfahrens“ und jenes der „Schwestergruppe“ zu verdeutlichen (vgl. Abb. 1 und s.u., Kap. 6).

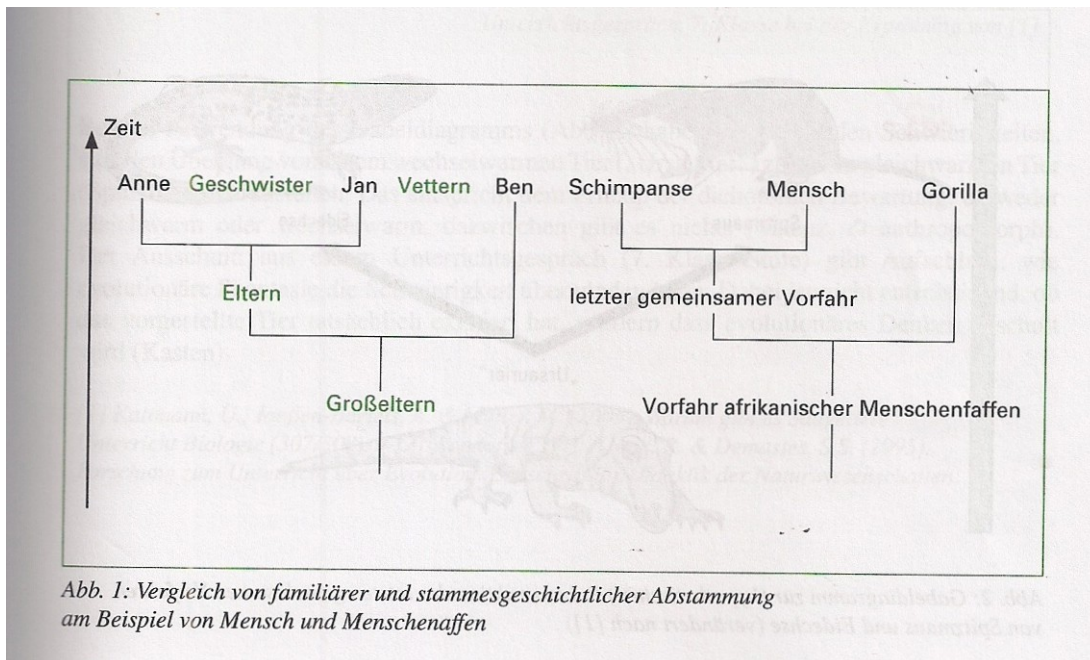


Abb. 1: „Familienstammbaum“ und phylogenetischer Stammbaum in Vergleich (nach Kattmann 2016, 27, Abb. 1)

Zu beachten ist jedoch, dass die Fähigkeit, einen phylogenetischen Stammbaum korrekt zu lesen, nur eine Teilkompetenz des “Tree Thinking“ darstellt, also sozusagen den formalen Teil dieser Fähigkeit, denn ohne das Verständnis der evolutionsbiologischen Konzepte sowie der Grundprinzipien naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen (“Nature of Science“) ergibt ein solches Diagramm für die Lernenden nur wenig Sinn. Vielmehr ist die Interpretation von phylogenetischen Stammbäumen durch das komplexe Zusammenspiel unterschiedlicher Kompetenzen der Lernenden geprägt: Das Vorwissen und insbesondere das Verständnis evolutionsbiologischer Grundkonzepte spielen, neben der Kompetenz „phylogenetisches Diagramm lesen“, eine wichtige Rolle. Teresa Mac Donald fasst diese Beobachtungen folgendermaßen zusammen: *“How people interpret and understand evolutionary trees is a complex interaction between their prior knowledge, conceptions of underlying evolutionary concepts such as similarity, ancestry and relatedness, and their ability to read the relationships depicted in a schematic tree diagram”* (Mac Donald 2010, 26).

In diesem Zusammenhang ist es zudem erforderlich, zwischen drei eng verwandten Begriffen zu differenzieren: Als “Tree Thinking“ wird allgemein die Fähigkeit, phylogenetische Stammbäume fachlich korrekt zu interpretieren und zu verwenden, bezeichnet: Jedoch liegt bei dem Begriff “Tree Reading“ der Fokus auf den „passiven“ Aspekten dieser Kompetenz. Im Gegensatz dazu liegt beim “Tree Building“ der Schwerpunkt auf den „aktiven“ Aspekten des “Tree Thinking“, also auf der Konstruktion von phylogenetischen Stammbäumen aus Daten zur Verwandtschaft der betreffenden Taxa. Aufgrund der Ergebnisse einer empirischen Studie mit Studierenden im Grundstudium der Biologie betonen Eddy et al. (2013), dass Aktivitäten zum Erstellen von Stammbäumen durch die Lernenden (“Tree Building“) den Erwerb der als “Tree Thinking“ bezeichneten Fähigkeiten deutlich mehr fördern als die Analyse phylogenetischer Stammbäume.

Die fachdidaktische Forschung zum “Tree Thinking“ (vgl. z. B. Schramm et al. 2019, Meisel et al. 2010, Catley & Novick 2008, Catley et al. 2010, Catley et al. 2013, Mac Donald & Wiley 2010) konnte belegen, dass bestimmte Merkmale phylogenetischer Diagramme die Lesbarkeit für Lernende, sowie die Entstehung und Festigung von Vorstellungen zur Evolution, entscheidend beeinflussen können. Dies dürfte für Lernende aller Altersstufen, sowohl im formellen (z. B. Schule, Universität) als auch im informellen Lehr-Lern-Kontext (z. B. Museum) gelten. Im Allgemeinen kann der aktuelle Forschungsstand zu Vorstellungen von Lernenden zum Thema Evolution nicht nur auf internationaler Ebene, sondern auch im deutschsprachigen Sprachraum, als gut bezeichnet werden. Allerdings liegt der Schwerpunkt der Publikationen zum “Tree Thinking“ eindeutig im englischsprachigen Raum, insbesondere in den U.S.A., zunächst ausgehend von den Forschungsaktivitäten der fachdidaktisch-evolutionsbiologischen “Tree-Thinking-Forschungsgruppe“ um David A. Baum (vgl. Baum et al. 2005).

Schramm et al. (2021) berichten, dass es mittlerweile bereits rund 50 fachdidaktische Arbeiten zum Thema “Tree Thinking“ gibt. Bei vielen dieser Publikationen dürfte der Fokus auf Lernenden in einer frühen Phase des Biologiestudiums an post-sekundären Bildungseinrichtungen (“undergraduates“) liegen. Die Ergebnisse dieser Arbeit deuten zudem darauf hin, dass die in deutschen und U.S.-amerikanischen Biologielehrbüchern (für post-sekundäre Bildungseinrichtungen) dargestellten phylogenetischen Stammbaumdiagramme weitgehend vergleichbar sind. Diese Übereinstimmung ist insofern relevant, als sich daraus

auch eine grundsätzliche Vergleichbarkeit fachdidaktischer Studien zum “Tree Thinking“ im deutsch- und englischsprachigen Raum ergibt. Trotz grundlegender Vergleichbarkeit der Ergebnisse der beiden Stichproben konnten Schramm et al. (2021) jedoch bezüglich mehrerer Merkmale kleinere Unterschiede zwischen phylogenetischen Stammbaumdarstellungen in universitären Biologielehrbüchern aus Deutschland und den U.S.A. feststellen: Es überwiegen sowohl in deutschen als auch in amerikanischen Biologielehrbüchern phylogenetische Stammbäume vom „rechteckigen“ Grundtyp im Vergleich zu „diagonalen“ (=„gabelförmigen“) und „anderen“ Stammbaumtypen: Allerdings enthalten aktuelle U. S. amerikanische Biologielehrbücher weniger Stammbäume der Kategorien „diagonale“ (=„gabelförmige“) und „andere“ Stammbäume als deutsche Biologielehrbücher. Auch im Hinblick auf die vorwiegende Orientierung von Stammbäumen konnten Schramm et al. (2021) einen wesentlichen Unterschied zwischen Biologielehrbüchern aus Deutschland und den U.S.A feststellen. Obwohl in beiden Stichproben zwei unterschiedliche Stammbaumtypen relativ gebräuchlich waren – horizontale Stammbäume mit Wurzel links und vertikale Stammbäume mit Wurzel unten – kommt der horizontale Typ in deutschen Biologielehrbüchern deutlich häufiger vor als in amerikanischen, während es beim vertikalen Typ genau umgekehrt war. In deutschen Lehrbüchern fanden sich außerdem signifikant mehr Stammbäume mit den Merkmalen „terminale Nodien auf unterschiedlichen Ebenen“ sowie „Linien unterschiedlicher Stärke“ als in amerikanischen Werken. Beides sind Merkmale, die bezüglich ihres Informationsgehalts nicht präzise wirken und daher die korrekte Lesbarkeit der Diagramme für Lernende erschweren können.

Zudem zeigten Schramm et al. (2021) im Vergleich zu Catley & Novick (2008), dass sich die Qualität der Stammbaumdarstellungen in U.S. amerikanischen Biologielehrbüchern (für post-sekundäre Bildungseinrichtungen) im Zeitraum von rund einem Jahrzehnt aus fachdidaktischer Sicht merklich verbessert haben dürfte. Grundsätzlich erbrachten die von Schramm et al. (2021) an Biologielehrbüchern aus den U.S.A durchgeführten Stammbaumanalysen eine – im Vergleich zu den Ergebnissen der älteren Untersuchung von Catley & Novick (2008) – geringere Häufigkeit von Merkmalen, die die Lesbarkeit von Stammbäumen für Lernende erschweren oder Fehlvorstellungen zur Evolutionsbiologie (z. B. teleologische oder anagenetische Vorstellungen) fördern könnten (s.u.). Insofern dürften – im Hinblick auf die Verwendung von phylogenetischen Stammbaumdiagrammen, die für Lernende geeignet sind – die Herausgeber von universitären Biologielehrbüchern in den U.S.A jenen in Deutschland

voraus sein. Angesichts der Tatsache, dass die fachdidaktischen Forschungen zum “Tree Thinking“ in den U.S.A ihren Ursprung hatten (s.o.), ist dies wenig überraschend.

Ulrich Kattmann (2016) hingegen empfiehlt die Verwendung des „gabelförmigen“ Stammbaumtyps (=„diagonaler“ Stammbaumtyp nach Schramm et al. 2021) zur Verdeutlichung phylogenetischer Zusammenhänge im Biologieunterricht: *„Die gabelförmige Darstellung symbolisiert den Prozess der Abänderung und damit der Evolution besser als die absatzförmige. Das kleinste Element eines solchen Stammbaums ist das Gabeldiagramm“* (Kattmann 2016, 221). Nach Ulrich Kattmann eignet sich das einfache Gabeldiagramm beispielsweise zur Verdeutlichung des Konzeptes des letzten gemeinsamen Vorfahrens, das für das Verständnis von phylogenetischen Stammbäumen unverzichtbar ist: *„Der Vergleich zweier Gruppen im Gabeldiagramm kann verhindern, dass der evolutionäre Wandel als auf einen höheren Zustand gerichtet verstanden wird, wie es bei Betrachtung der Stammeslinie nur einer heute lebenden Gruppe oder Art leicht der Fall ist (zum Beispiel bei der Stammesgeschichte der Pferde und des Menschen [...])“* (Kattmann 2016, 28). Von besonderem Interesse ist in diesem Zusammenhang ein von Tanja Riemeier (2007) angeführtes Beispiel aus der fachdidaktischen Forschungspraxis: Die Erhebung von Schülervorstellungen zur Evolution des Menschen (konkret: Verwandtschaft von Mensch und Schimpanse) in einer 11. Klasse erbrachte ein Verständnis von Verwandtschaft, das auf der Übereinstimmung äußerlicher Merkmale beruht, vermutlich basierend auf lebensweltlichen Vorstellungen von Verwandtschaft im Kontext menschlicher Familien. Zudem postulierten die befragten Schülerinnen eine direkte, stammesgeschichtliche Entwicklung des modernen Menschen ausgehend vom Schimpanse, der ja, wie die SuS durchaus zutreffend feststellten, der nächste Verwandte des Menschen sei. Insbesondere die Zeichnungen der SuS zeigten ihre nicht-wissenschaftlichen Alltagsvorstellungen, im Sinne einer direkten Entwicklung vom Affen zum Menschen, deutlich auf. In weiterer Folge wurden die betreffenden SuS aufgefordert, eine Abbildung des phylogenetischen Stammbaums von Pferd, Esel und Zebra, die ihnen nun vorgelegt wurde, mit ihren Zeichnungen zur Evolution des Menschen zu vergleichen. Die SuS erkannten den Unterschied und entwickelten mithilfe des analogen Stammbaums die Vorstellung, dass Mensch und Schimpanse im Stammbaumdiagramm auf einer Ebene stehen sollten und dass die beiden Arten einen gemeinsamen Vorfahren aufweisen: In weiterer Folge wurde der so angeregte Vorstellungswandel noch mit Input über den *Dryopithecus* vertieft und gefestigt. Die hier beschriebenen Interventionen führten bei den SuS zu einem neuen, stärker

fachwissenschaftlich orientierten Verständnis von Verwandtschaft, das auf der Existenz eines gemeinsamen Vorfahrens beruht.

Aus dem eben beschriebenen Praxisbeispiel könnte man schließen, dass sich einfache Stammbaumdiagramme mit wenigen Arten grundsätzlich gut dazu eignen, wichtige evolutionsbiologische Konzepte zu erläutern und gleichzeitig das Lesen phylogenetischer Stammbäume zu trainieren: Voraussetzung hierfür ist allerdings eine vorhergehende Erhebung der Vorstellungen der Lernenden und die Bereitstellung gezielt darauf abgestimmter Lernangebote, um – beispielweise entsprechend der “conceptual reconstruction theory“ (s.u.) – eine Veränderung der Vorstellungen der Lernenden herbeizuführen. Neben dem bereits erwähnten „Gabeldiagramm“ kommen hierfür grundsätzlich auch einfache phylogenetische Stammbäume (d. h. mit wenigen Arten) vom rechteckigen Typ in Frage. Eine Variante wäre auch, beide Stammbaum-Formate nebeneinander zu stellen, um zu verdeutlichen, dass es sich nur um formal unterschiedliche Darstellungen desselben Inhaltes handelt (nämlich um eine Hypothese zur Phylogenie der hier dargestellten Taxa).

Nach Ulrich Kattmann (2020a) eignen sich die einfachsten Varianten von Stammbaumdiagrammen gut, um unterschiedliche Hypothesen zum letzten gemeinsamen Vorfahren zweier Taxa zu diskutieren: Ein geeignetes Beispiel ist hierfür z. B. die Frage, ob der letzte gemeinsame Vorfahre von Schimpansen und Menschen im Hinblick auf Lebensweise und Körperbau eher als „schimpansenähnlich“ oder als „menschenähnlich“ betrachtet werden kann. In diesem Zusammenhang ist es durchaus bedeutsam, ob das, zur Darstellung des letzten gemeinsamen Vorfahrens von Schimpansen und Menschen verwendete Symbolbild optisch eher einem Schimpansen oder einem Menschen gleicht. Hier zeigt sich zudem das bemerkenswerte Zusammenspiel von inhaltlichen und gestalterischen Aspekten eines phylogenetischen Stammbaumdiagramms, das später ausführlicher diskutiert werden soll (s.u., Kap. 5 und 6).

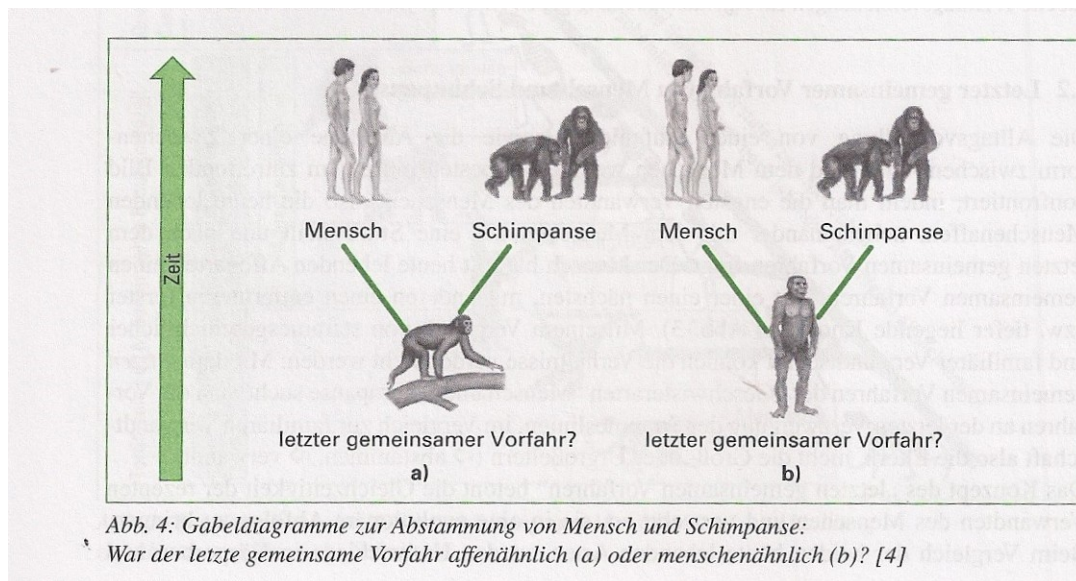


Abb. 2: Beispiel eines Gabeldiagramms (nach: Kattmann 2016, 34, Abb. 4)

In einer aktuellen Studie zur Didaktik der Evolutionsbiologie betonen Sven Gemballa und Ulrich Kattmann (2024a) die Bedeutung des Lehrens und Lernens mithilfe von phylogenetischen Stammbäumen im Biologieunterricht, da dies entscheidend zum Verständnis zentraler Konzepte der Evolutionsbiologie beitragen kann: „*Stammbaumdarstellungen sind eine abstrakte fachliche Darstellungsweise für divergente Prozesse. Sie stellen nicht nur Divergenz, sondern auch Verwandtschaft infolge einer Serie zeitlich aufeinander folgender Aufspaltungsereignisse entlang eines Zeitstrahls dar. Stammbäume haben immer vorläufigen und hypothetischen Charakter. Sie stellen ein historisches Rekonstrukt von Vorgängen aus der Vergangenheit dar, das mit einer objektivierbaren Methodologie (Außengruppenvergleich, gemeinsame abgeleitete Merkmale, Sparsamkeitsprinzip) gewonnen wird. Mithilfe dieser Methodologie erfolgt auch eine Prüfung konkurrierender Stammbaumhypothesen. Diese Arbeitsweise zeigt, dass auch die Deszendenztheorie als historisch arbeitende Disziplin über hypothesengeleitete und objektivierbare Prozesse zu Erkenntnissen gelangt. Unterrichtlich haben Stammbäume daher eine doppelte Wertigkeit, da sie die defizitäre Vorstellung von Linearität und Höherentwicklung kontrastieren und methodologisch den Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung (Erstellen und Testen konkurrierender Stammbaumhypothesen) ansteuern. Alltagskonzepte von Lernenden zur Verwandtschaft von Arten basieren hingegen auf dem Ähnlichkeitsprinzip, das wegen der fehlenden Unterscheidung ursprünglicher und abgeleiteter Merkmale zu abweichenden Ergebnissen führt*“ (Gembala & Kattmann 2024a, 10-11). Insofern bietet die Arbeit mit phylogenetischen Stammbäumen zahlreiche Möglichkeiten, entsprechend dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion (s.u.) an Alltagsvorstellungen der

Lernenden zur Evolution anzuknüpfen, diese gegebenenfalls zu erweitern, oder mittels Kontrastierung mit wissenschaftlichen Konzepten den erwünschten Wandel hin zu fachlich korrekten Vorstellungen zu fördern. Hinzu kommt die Bedeutung der Arbeit mit Stammbäumen im Biologieunterricht im Hinblick auf ein grundlegendes Verständnis des naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozesses bei den Lernenden.

Basierend auf den Ergebnissen eines in England durchgeführten fachdidaktischen Forschungsprojektes plädieren Russell & Mc Guigan (2019) dafür, dass die Evolutionstheorie möglichst früh fester Bestandteil des Lehrplans im Biologieunterricht der Sekundarstufe sein sollte, da sie eine tragfähige Grundlage, ein wichtiges Erklärungsmodell für alle weiteren Lernprozesse im betreffenden Unterrichtsfach darstellt und auch für jüngere Lernende ab Beginn der Sekundarstufe (ab ca. 10 Jahren) passend aufbereitet werden kann. In diesem Zusammenhang betonen Russell & Mc Guigan auch die Bedeutung des “Tree Thinking“, um bei Lernenden das Verständnis makroevolutionärer Zusammenhänge und der zeitlichen Dimension von Evolutionsprozessen zu fördern: *“Currently, cladograms are not introduced until late in secondary biology education, if at all, yet research suggests that tree thinking in general and cladograms in particular are invaluable in developing the macroevolutionary perspective and addressing critical areas of current neglect. Firstly, they offer explicit means to support younger and older pupils’ appreciation of deep time. Secondly, a pervasive view of linear transformation akin to the Lamarckian transmission of acquired characteristics is explicitly challenged. Thirdly, if cladograms were to be introduced from around the age of 10 years onwards, as our research deems viable, the familiar hiatus around the transfer between primary and secondary educations would be ameliorated”* (Russell & Mc Guigan 2019, 78). Insofern wäre es anzuraten, im Biologieunterricht möglichst früh mit der Verwendung einfacher, phylogenetischer Stammbaumdiagramme zu beginnen, was im Rahmen unterschiedlichster Themenschwerpunkte möglich ist, z. B. bei der Beschäftigung mit unterschiedlichen taxonomischen Gruppen von Organismen, in den ersten Jahren des Biologieunterrichts in der Sekundarstufe.

Bemerkenswert sind aus forschungsgeschichtlicher Sicht auch die erst vor wenigen Jahren publizierten Überlegungen von János Podani (2019), der aus mehreren Gründen Kritik an der traditionellen und weitverbreiteten Verwendung der „Baummetapher“ im evolutionsbiologischen Kontext äußert. Als mögliche Alternative für die Gestaltung phylogenetischer Diagramme, vor allem für die Darstellung der Gesamtheit des Lebens auf der

Erde („Tree of Life“) greift Podani die, bereits in den Notizen von Charles Darwin belegte, „Korallenmetapher“ auf („Coral of Life“): *“Trees have several limitations even as metaphors of evolution or phylogeny, rendering them useless for scientific communication, in practice. These include that: (1) a tree is a living entity from the root tips to the topmost leaves, (2) it has a root system comparable in size and complexity to the crown, (3) the trunk and the branches continuously decrease upwards in diameter and, last but not least, (4) the branches normally do not form anastomoses. There is only one fundamental feature of trees that remains meaningful metaphorically, namely ramification. This property alone explains why in the history of science trees have become metaphors of hierarchical classification (starting with Peter Simon Pallas and Augustin Augier) or phylogeny (pioneered by Haeckel) – while the inconsistency of the other botanical characteristics of a tree with evolutionary thinking was largely ignored. We have to consult another important person in the history of biology, Darwin, to find a solution at the level of both metaphors and mathematical objects. He suggested that corals or coral-like branching creatures (such as certain algae) of the sea could be a better metaphor of evolution than a tree. A branching coral is free from problems 1-3 mentioned above, and a fan-coral may have horizontally connected branches as well. Furthermore, an entire coral as a continuous object may also represent, sensibly the spatio-temporal continuum of populations, species or their groups. This way, drawing a coral is not burdened with the necessity of specifying every detail in the diagram, unlike for trees and directed networks. Although the idea of a coral has long been neglected, many types of figures used in biology in the past 100 years are actually comparable to the concept Darwin had in mind“* (Podani 2019, 138).

2.2 Forschungsstand zu Alltagsvorstellungen im Biologieunterricht

2.2.1 Grundsätzliches

Innerhalb der letzten Jahrzehnte hat die biologiedidaktische Forschung eine differenzierte Sicht auf lebensweltliche Vorstellungen („Alltagsvorstellungen“) und ihre Rolle im Lernprozess entwickelt: *„Alltagsvorstellungen liegen lebensweltliche Erfahrungen zugrunde, durch die bestimmte Informationen leichter angenommen werden als andere. So hat sich bei vielen Menschen beispielsweise seit frühen Kindheitstagen die Vorstellung eingeprägt, dass das Erreichen eines Ziels mit individueller Anstrengung verbunden ist. Auch evolutionäre „Anpassung“ wird daher lebensweltlich als das Erreichen eines individuell erstrebenswerten Zustands verstanden. Alle lebensweltlich geprägten Vorstellungen sind in körperlich-*

psychischen, sozialen und umweltlichen Erfahrungen tief verankert. In diesem Sinne sind sie „verkörperte Vorstellungen“. Deren allgemeine Verfügbarkeit und Intersubjektivität entspringt den allgemeinen Erfahrungen, die Menschen mit ihrem Körper und ihrer Umwelt machen“ (Kattmann et al. 2007, 2). Ein entscheidender Aspekt ist in diesem Zusammenhang, dass die lebensweltlichen Vorstellungen der Lernenden eingangs erfasst und reflektiert werden müssen, um in weiterer Folge, mithilfe entsprechender Lehr-Lernangebote, möglichst bei allen Lernenden den Vorstellungswandel zu fachlich korrekten Konzepten optimal fördern zu können (s. u., Kap. 2.3.1).

2.2.2 Alltagsvorstellungen zur Evolution

Die Ergebnisse empirischer Studien deuten darauf hin, dass das Verstehen der Evolutionstheorie mit deren Akzeptanz korreliert (Shtulman & Calabi 2012). Nach Kattmann (2016) kann man jedoch aus dieser Korrelation zwischen Verstehen und Akzeptanz der Evolutionstheorie keinesfalls einen Kausalzusammenhang ableiten, da eine Korrelation nicht automatisch als Ursache gedeutet werden darf: *„Möglicherweise fördert Verstehen der Evolution die Akzeptanz der Evolutionstheorie, das Umgekehrte ist fraglich. Für die Vermittlung der Evolution ist demnach nicht entscheidend, ob die Evolutionstheorie akzeptiert wird, sondern ob und wie Evolution verstanden wird“* (Kattmann 2016, 134). Allerdings, so Kattmann, haben die Ergebnisse empirischer Studien gezeigt, dass die Einstellung von Lernenden zum Wissen sowie zur Aneignung von Wissen durchaus einen Einfluss auf das Verstehen evolutionstheoretischer Inhalte besitzt. Für den Biologieunterricht in der Sekundarstufe, so Kattmann, ist daher zu beachten: *„Je undogmatischer und reflektierter Evolution und Evolutionstheorie vermittelt werden, desto besser werden sie verstanden. Deshalb ist der hohe Anteil szientistischer (dogmatischer Einstellungen) unter den Lernenden besonders zu beachten“* (Kattmann 2016, 134).

In einer aktuellen Zusammenfassung des Forschungsstandes nennen Sven Gemballa und Ulrich Kattmann (2024a) zahlreiche Alltagsvorstellungen, die bei Lernenden im Kontext des Biologieunterrichts häufig zu Lernschwierigkeiten in Bezug auf die Evolutionstheorie führen (Gemballa & Kattmann 2024a): So kann beispielsweise „typologisches Denken“ der Lernenden die Ansicht bedingen, dass alle Individuen einer Art gleich sind – dies steht im Gegensatz zur fachlich korrekten Vorstellung einer individuellen Variabilität, im Zusammenhang mit Mutation und Rekombination (Gemballa & Kattmann 2024a). Auch „lamarckistisches Denken“, das von einer Weitergabe erworbener Merkmale ausgeht, prägt die

Alltagsvorstellungen mancher Lernender (Gemballa & Kattmann 2024a, 8). Ein wichtiges Lernhindernis ist auch die lebensweltliche Vorstellung, dass man Ähnlichkeit als Indikator für Verwandtschaft heranziehen könne (Gemballa & Kattmann 2024a). Weit verbreitet sind zudem fachlich inkorrekte Alltagsvorstellungen von einer „Höherentwicklung“ der Organismen im Laufe der Evolution, vor allem im Sinne einer linearen Entwicklung von einfachen zu komplexen Lebewesen, wobei der Mensch traditionell vorwiegend an die Spitze der Evolution gestellt wird (Gemballa & Kattmann 2024a).

Da „teleologisches Denken“ im Alltag eine wichtige Rolle spielt, ist es auch ein zentraler Bestandteil von weit verbreiteten Alltagsvorstellungen zur Evolution, und erschwert somit den Aufbau von fachlich korrekten, evolutionstheoretischen Konzepten. Ein konkretes Beispiel aus dem Bereich der Selektionstheorie (Gemballa & Kattmann 2024a) ist die Alltagsvorstellung von „zielgerichteten“ Mutationen, hinter denen bestimmte Absichten bezüglich Anpassung von Organismen an spezifische Umweltbedingungen stehen; im Gegensatz zum wissenschaftlichen Konzept, demzufolge Mutationen stets ungerichtet und zufällig sind. Zudem gehen viele Lernende zunächst davon aus, dass Lebewesen adaptiv handeln, um bestimmten Anforderungen der Umwelt gerecht zu werden (Gemballa & Kattmann 2024a): *„Die Selektionstheorie ist für Lernende kognitiv herausfordernd, weil Mutation, Variation und Selektion mit abstrakten Konzepten wie Zufall und Wahrscheinlichkeit verknüpft sind oder mit schwer vorstellbaren Zeiträumen und Systemebenen zusammenhängen. Zufall und Wahrscheinlichkeit sind Schwellenkonzepte, die ähnlich einer „Flaschenhalssituation“, durchschritten werden müssen, um die Tür zu zuvor unzugänglichen Wegen des evolutionsbiologischen Denkens zu eröffnen“* (Gemballa & Kattmann 2024a, 7). Insgesamt, so Gemballa & Kattmann (2024a), ist es aufgrund teleologischer und finalistischer Alltagsvorstellungen für viele Lernende schwierig, der hypothetisch-deduktiven Argumentation in der Evolutionsbiologie zu folgen. Hieraus ergeben sich beispielsweise Probleme beim Verständnis der Selektionstheorie: *„Die Selektionstheorie ist eine kausale Theorie, die Ursachen (Selektionsfaktoren) und Wirkungen (Angepasstheiten) erfasst. Zwar könnte man Angepasstheiten als „zweckmäßig“ beschreiben, sie sind jedoch so nicht zu erklären, denn ein Zweck wird von der „Natur“ nicht angestrebt. Die Selektionstheorie ist keine teleologische oder finalistische Theorie. Werden die Angepasstheiten als auslösende Ursache aufgefasst, werden Ursache und Wirkung verwechselt“* (Gemballa & Kattmann 2024a, 6).

Nach Thilo Schramm & Philip Schmiemann (2019) kann teleologisches Denken im Kontext des “Tree Thinking“ in mehrfacher Hinsicht ein Lernhindernis darstellen: Dies betrifft sowohl spezifische Eigenschaften der phylogenetischen Stammbäume selbst, als auch die zugrundeliegenden, evolutionsbiologischen und erkenntnistheoretischen Aspekte der betreffenden Diagramme. Allerdings kann, so Schramm & Schmiemann (2019), durch bewussten, reflektierten Umgang mit dieser Problematik dennoch die Erarbeitung fachlich korrekter, evolutionsbiologischer Konzepte durch die Lernenden gefördert werden: *„By making learners aware of the conceptual difficulties of teleology, especially in the context of evolution, they can be sensitized to problematic wording or representations, especially in a non-scientific or pop-cultural context. Misconceptions directly linked to teleological reasoning, such as misinterpreting the age of groups or the position of focal taxa might be reduced if students are familiar with the conceptual difficulties of teleological misinterpretations. Educators can choose many practices to counter teleological reasoning in their learning environments (...). By critically reflecting and possibly altering the representations used, typical pitfalls and misconceptions will be less common. Furthermore, different instructional practices can affect teleological tendencies, ranging from the way the unit about phylogenetics commences, to concrete practices with evolutionary trees, or general aspects relating to language use“* (Schramm & Schmiemann 2019, 11).

2.3 Forschungsstand zu Lehr-Lern-Theorien

2.3.1 Allgemeines

2.3.1.1 Überblick zu konstruktivistischen Lehr-Lern-Theorien in der Biologiedidaktik

Im Hinblick auf die Bewertung von Lehr-Lern-Websites zum “Tree Thinking“ ist das theoretische Fundament zum Lehren und Lernen, insbesondere unter Verwendung multimedialer Lehr-Lern-Angebote (s.u.; Kap. 2.3.2), von besonderer Bedeutung. Jedoch soll hier zunächst der Forschungsstand zum Lehren und Lernen aus Sicht der biologiedidaktischen Forschung zusammengefasst werden. Auffallend ist in diesem Zusammenhang, dass die überwiegende Mehrzahl der aktuellen, fachdidaktischen Arbeiten im Unterrichtsfach Biologie und Umweltkunde auf einer konstruktivistischen Lernauffassung („moderater Konstruktivismus“; vgl. z. B. Riemeier 2007) basiert. Im Gegensatz dazu dominierten bis vor wenigen Jahrzehnten in der Lehr-Lern-Forschung noch kognitivistische Ansätze: Damals ging man von der Annahme aus, dass es möglich sei, Wissen zu „vermitteln“, also direkt vom Lehrenden an den Lernenden weiterzugeben. Diese Sicht des Lehrens und Lernens änderte sich

ab den 1970ern, infolge des Einflusses einer interdisziplinären Erkenntnistheorie, des Konstruktivismus: „Konstruktivismus gilt als ein interdisziplinäres Paradigma, als eine Erkenntnistheorie, die auf neurobiologischen Befunden, aber auch einer biologischen Systemtheorie beruht“ (Zabel 2020, 99). Allerdings ist es in diesem Zusammenhang wichtig, zwischen der Erkenntnistheorie selbst und der davon abgeleiteten Sicht des Lehrens und Lernens zu differenzieren, wobei fallweise die Erkenntnistheorie alternativ auch als „radikaler Konstruktivismus“ bezeichnet wird, die Lernauffassung hingegen als „moderater Konstruktivismus“ (Zabel 2020; Riemeier 2007). Insgesamt stellt in den Naturwissenschaften der „moderate Konstruktivismus“ die lerntheoretische Grundlage für viele grundlegende Ansätze zum Lehren und Lernen dar (zusammenfassend vgl. z. B. Riemeier 2007). Auch die Theorien zu „Conceptual Change“ bzw. „Conceptual Reconstruction“ (s.u. und vgl. z. B. Krüger 2007) und das Modell der didaktischen Rekonstruktion (s.u. und vgl. z. B. Kattmann 2007) sind im Hinblick auf das hier diskutierte Thema wichtige Aspekte, die im Zusammenhang mit einer konstruktivistischen Sicht des Lehrens und Lernens stehen. Die konstruktivistische Lernauffassung (vgl. z. B. Zabel 2020, 101-102) ist vor allem dadurch gekennzeichnet, dass den Lernenden eine aktive Rolle zugestanden wird: Wissen wird aktiv konstruiert und keineswegs passiv „aufgenommen“. Jeder Lernprozess ist individuell, wobei auch emotionale Aspekte eine Rolle spielen. Lernen ist zudem selbstdeterminiert, kann daher nicht von außen beeinflusst oder gar gesteuert werden. Weiters ist Lernen grundsätzlich ein sozialer Vorgang, da es vorwiegend im Rahmen sozialer Interaktionen stattfindet. Lernprozesse sind zudem stets auch situiert, also mit dem jeweiligen, (inhaltlichen sowie sozialen) Kontext der Lernsituation verbunden.

2.3.1.2 Theorien zum Vorstellungswandel im Unterricht: „Conceptual Change“ und „Conceptual Reconstruction“

„Schüler betreten den Unterricht nicht als unbeschriebenes Blatt. Vielmehr kommen sie mit einer Reihe alltagsnaher, fachorientierter oder gar schon fachwissenschaftlicher Vorstellungen in den Unterricht. Will man nun in der Vermittlungssituation fachwissenschaftliche Vorstellungen entwickeln, wird dies nicht ohne Berücksichtigung dessen funktionieren, was Lernende in den Unterricht mitbringen. Zur Erklärung von Lernprozessen auf der Basis eigener Vorstellungen gibt es eine Reihe von Ansätzen mit unterschiedlichen Schwerpunktsetzungen, die unter dem Terminus „Conceptual Change“ firmieren“ (Krüger 2007, 81). Zunächst ging man in der biomedizinischen Forschung, entsprechend der ursprünglichen „Conceptual Change“ Theorie nach Posner et al. (1982), von einem vollständigen Austausch „fehlerhafter

Alltagsvorstellungen“ („misconceptions“) der Lernenden durch „wissenschaftliche“, fachlich korrekte Vorstellungen aus. In weiterer Folge jedoch wurde die „Conceptual Change“ Theorie von der fachdidaktischen Forschung weiter differenziert und modifiziert, so dass man nunmehr stattdessen von einem schrittweisen Vorstellungswandel – bedingt durch eine individuelle Rekonstruktion der Konzepte durch die Lernenden – ausgeht: *„In der Regel lassen sich die lebensweltlichen Vorstellungen beim Lernen nicht einfach durch fachlich geklärte Konzepte austauschen („Conceptual Change“). Vielmehr sind in Kenntnis, Reflexion und Kritik der alten Vorstellungen neue zu konstruieren. Es handelt sich daher um eine gedankliche Neukonstruktion („Conceptual Reconstruction“). Im Unterricht sollte sowohl gegenüber (ungeklärten) wissenschaftlichen wie auch gegenüber den eigenen Vorstellungen eine kritische Sicht entwickelt werden. Dadurch werden die Lernenden zur Überprüfung und zu einer möglichen Neukonstruktion ihrer Konzepte in Richtung auf fachlich geklärte Vorstellungen angeregt“* (Kattmann et al. 2007, 5). Dies ist vor allem auch im Hinblick auf das Modell der didaktischen Rekonstruktion (s.u.) von Bedeutung.

2.3.1.3 Das Modell der didaktischen Rekonstruktion

Das Modell der didaktischen Rekonstruktion (Kattmann et al. 1997; vgl. auch Kattmann 2007) postuliert, dass folgende Aufgaben eng verbunden sind und in stetiger, rekursiver Wechselwirkung erfüllt werden sollten: Erstens die fachliche Klärung, zweitens die Erfassung der Sichtweisen der Lernenden und drittens die didaktische Strukturierung. Das Modell wurde ursprünglich als theoretischer Rahmen für die biologiedidaktische Lehr-Lernforschung entwickelt. Jedoch eignet es sich, aufgrund seiner praktischen Ausrichtung, ebenso für die Planung und Reflexion von Biologieunterricht. Das Modell der didaktischen Rekonstruktion ist zudem eine „synthetische“ Theorie, in der drei unterschiedliche theoretische Ansätze (Kattmann 2007) zusammengeführt worden sind: Erstens konstruktivistische Zugänge zum Lehren und Lernen (vgl. Riemer 2007), zweitens, die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (vgl. Gropengießer 2007), und drittens, Theorien zur Entstehung und Änderung von Vorstellungen (vgl. Krüger 2007). Im Zusammenspiel der unterschiedlichen Komponenten hat allerdings bis zu einem gewissen Grad auch eine Veränderung der Teil-Theorien stattgefunden: *„Grundlegend für die Didaktische Rekonstruktion ist die Erkenntnis, dass fachlich geklärte Vorstellungen der Wissenschaft und lebensweltliche Vorstellungen von Lernenden als gleichwertige persönliche Konstrukte zu gelten haben und in Beziehung zueinander gleichermaßen als Quellen für die Didaktische Rekonstruktion dienen müssen. Die den Lernenden zur Verfügung stehenden lebensweltlichen Vorstellungen sind daher nicht*

zuvörderst als Lernhindernisse („misconceptions“), sondern als Lernvoraussetzung und Lernmittel zu betrachten. „Lernmittel“ bedeutet, dass diese Vorstellungen nicht gemieden oder einfach ersetzt werden können und sollen, sondern, dass mit ihnen beim fachlichen Lernen gearbeitet werden muss. Hinsichtlich der Vorstellungsänderungen wird daher die Modifizierung einer Teil-Theorie besonders deutlich: *Conceptual Change* basiert wesentlich auf einem Verständnis lebensweltlicher Vorstellungen als *misconceptions* und ist im Lichte der Didaktischen Rekonstruktion und des konstruktivistischen Lernens daher nicht als eine adäquate theoretische Beschreibung des Lernens anzusehen (...). Mit der Rekonstruktion der Vorstellungen werden wissenschaftliches Wissen und lebensweltliche Erfahrungen in Beziehungen gesetzt. Es werden Vorstellungen konstruiert, in denen Erfahrung in das Wissen und Wissen in die Erfahrung hinein genommen wird“ (Kattmann 2007, 98). Abb. 3 soll zeigen, dass das „synthetische“ Modell der didaktischen Rekonstruktion in die konstruktivistische Lernauffassung (s.o.) eingebettet ist: Zudem soll deutlich werden, dass Lernprozesse von einer Vielfalt unterschiedlicher Faktoren beeinflusst werden. Letztere sollten bei der Planung von Unterricht sowie der Gestaltung von Lernumgebungen und Unterrichtsmaterialien unbedingt berücksichtigt werden.

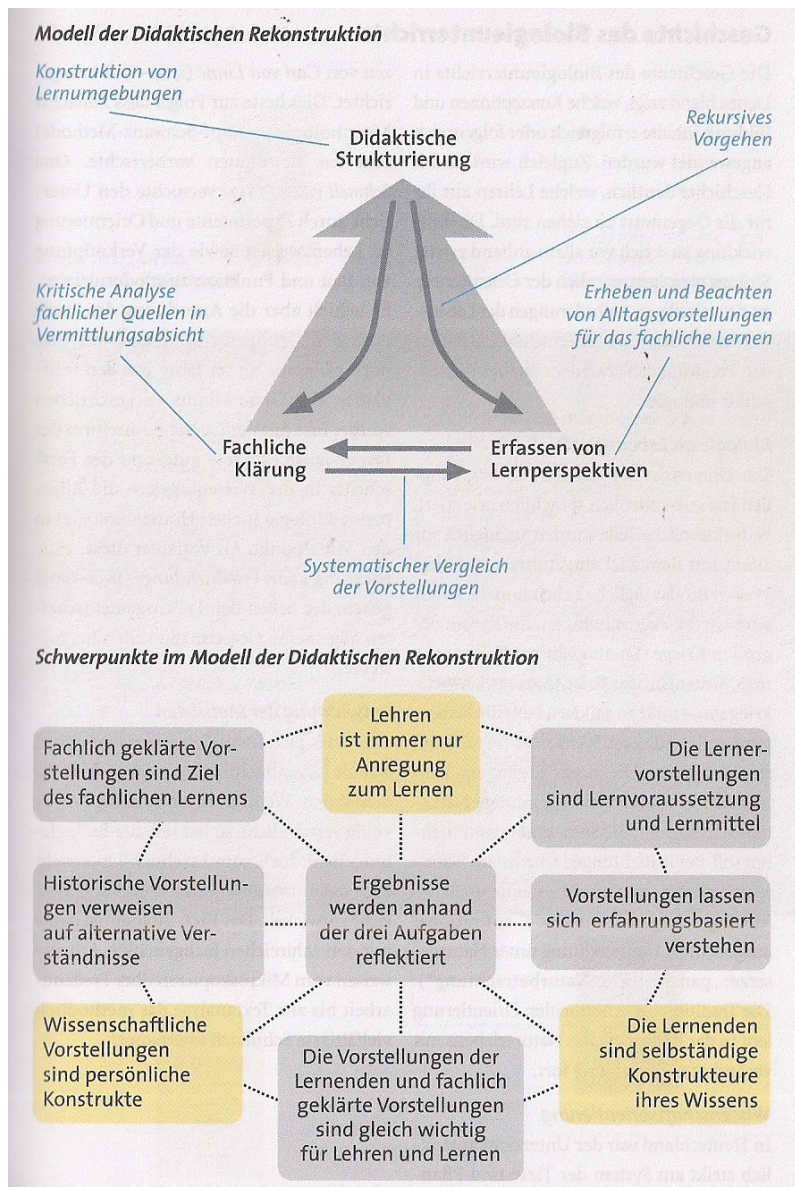


Abb. 3: Das Modell der didaktischen Rekonstruktion (nach: Gropengießer et al. 2010, 13)

2.3.2 Forschungsstand zum Multimedia-Lernen und zu digitalen Lehr-Lern-Ressourcen

Wie bereits eingangs erwähnt, bietet der, durch die Pandemie der letzten Jahre initiierte Digitalisierungsschub vielfältige Chancen für den Bildungssektor, die insbesondere für die Schulbildung im Bereich der Sekundarstufe genutzt werden sollten. Nach Georg Pflügersdorffer (2020) ist die Effektivität des Lernens im Biologieunterricht mithilfe digitaler Medien umso effektiver, je stärker die Lernenden aktiv einbezogen werden: *„Viele neue Medien entfalten ihr Potenzial besonders in einer situierten und konstruktivistischen Lernumgebung. Das Motto für den modernen mediengestützten Biologieunterricht muss daher lauten: Weniger Instruktion (durch den Lehrenden), dafür mehr Konstruktion (durch den*

Lernenden)“ (Pflügersdorffer 2020, 395). Entscheidend, so Pflügersdorffer (2020), für das Lernen mit multimedialen Ressourcen im Biologieunterricht, ist jedoch die Art der Darbietung des Lehr-Lern-Angebots.

Für die Bewertung der, im praktischen Teil dieser Arbeit diskutierten, digitalen Lehr-Lern-Ressourcen (vgl. Kap. 4-8) ist die kognitive Theorie zum Multimedia-Lernen nach Mayer (2001) von besonderer Bedeutung (vgl. zusammenfassend: Unterbruner 2007). Grundlegende Annahmen von Mayer (2001) sind z. B. die Existenz von zwei verschiedenen Verarbeitungskanälen (auditiv und visuell) und von aktiven Verarbeitungsprozessen, eines begrenzten Aufnahmevermögens des Arbeitsgedächtnisses sowie des Phänomens des „Cognitive Loads“. Die Kernaussage des Multimedia-Prinzips ist, dass man mit einer Kombination von Text und Bildern leichter lernt als ausschließlich mit Text: Ein potenzieller Grund für diese Beobachtung könnte sein, dass Lernende bei einem multimedialen Lernangebot die Möglichkeit haben, mentale Modelle sowohl in verbalisierter als auch in bildlicher Form zu formen und diese gegebenenfalls zu verbinden. Allerdings hat nicht jede bildliche Darstellung das Potenzial, den Lerneffekt zu erhöhen: Entscheidend ist, dass es sich um sinnvolle Text-Bild-Verbindungen handelt und dass die Bilder einen Informationsgehalt haben, also z. B. die Textinhalte erklären und vertiefen.

Aufbauend auf den Arbeiten von Mayer (2001) haben sich in der Fachliteratur zu multimedialen Lehr-Lernangeboten mehrere Grundprinzipien etabliert, die bei der Erstellung digitaler Ressourcen zur Anwendung kommen sollten (vgl. zusammenfassend: Unterbruner 2007, 157-158; Pflügersdorffer 2020, 400):

- **Kontinuitätsprinzip:** Textblöcke und Bilder, die inhaltlich zusammengehören, sollten stets in räumlicher und zeitlicher Nähe zueinanderstehen. Im Idealfall sind wichtige Textelemente sogar in die betreffende Abbildung integriert. Mangelhafte Abstimmung von Text und Bild kann zu „Extraneous Load“ führen, da kognitive Ressourcen benötigt werden, um die inhaltlich zusammengehörenden Text- und Bildelemente aufzufinden. Die so entstehende Aufteilung der Aufmerksamkeit des Lernenden auf unterschiedliche Informationsquellen wird als „Split Attention Effect“ bezeichnet.
- **Modalitätsprinzip:** Die Beanspruchung des visuellen und des auditiven Verarbeitungskanals des Lernenden soll möglichst ausgewogen sein. Zum Beispiel begünstigt es den Lernvorgang, wenn eine Animation durch einen Hör- anstelle eines Lesetexts kommentiert wird – somit werden beide Verarbeitungskanäle gefordert,

anstelle einer Doppelbelastung des visuellen Kanals. Von besonderer Bedeutung ist, so Unterbruner (2007, 157), das Modalitätsprinzip bei komplexen Inhalten (hoher “intrinsic load“) oder bei geringem Vorwissen der Lernenden.

- **Redundanzprinzip:** Dieselben Informationen sollten nicht gleichzeitig in gesprochener und schriftlicher Form angeboten werden, da dies “extraneous load“ verursachen würde. Diese Empfehlung entspricht der Ansicht, dass man alternative Lernangebote für unterschiedliche Lerntypen anbieten sollte.
- **Kohärenzprinzip:** Das Lernangebot sollte nur diejenigen Informationen enthalten, die für den Lernprozess unbedingt erforderlich sind.

Im Hinblick auf die Bewertung von Computerprogrammen für den Einsatz im Biologieunterricht sind nach Gropengießer et al. (2010) insgesamt vier Perspektiven relevant: Erstens die fachliche, zweitens die fachdidaktische, drittens die medientechnische und viertens die mediendidaktische Perspektive (s.u., Abb. 4).

Die fachliche Perspektive nach Gropengießer et al. (2010) berücksichtigt folgende Aspekte:

- Fachliche Qualität
- Zielsetzungen

Die fachdidaktische Perspektive nach Gropengießer et al. (2010) beinhaltet folgende Kriterien:

- Verständlichkeit des Textes
- Situiertheit
- Angaben zur Zielgruppe
- Methodische Hinweise
- Rückmeldungen
- Begleitmaterial

Die medientechnische Perspektive nach Gropengießer et al. (2010) bewertet die Navigation der digitalen Lehr-Lern-Ressource und zwar im Hinblick auf folgende Aspekte:

- Ergonomische Gestaltung
- Menüsteuerung
- Korrekturmöglichkeit bei fehlerhaften Eingaben
- Abbruchmöglichkeit
- Speicher- und Druckfunktion

- Sicherheit

Die mediendidaktische Perspektive nach Gropengießer et al. (2010) berücksichtigt folgende Aspekte:

- Interaktivität
- Motivation
- Alleinstellung
- Mediale Gestaltung

Das von Gropengießer et al. (2010) entwickelte System könnte sich, in leicht adaptierter Form, auch für die Bewertung anderer Formen von digitalen Lehr-Lern-Ressourcen eignen, beispielsweise für Lehr-Lern-Websites (s.u.; Kap. 4). In weiterer Folge sind die betreffenden Kriterien auch für die Neugestaltung digitaler Lehr-Lern-Ressourcen relevant und sollen in diesem Zusammenhang ausführlich diskutiert werden (s.u.; Kap. 6 und 7).



Abb. 4: Kriterien zur Bewertung von Computerprogrammen (nach. Gropengießer et al. 2010; 113).

Zudem gibt es bereits einige Studien, die als Beleg für die hervorragende Eignung digitaler Ressourcen zum Lernen allgemein (zum theoretischen Hintergrund vgl. z. B. Mayer & Moreno 2002), sowie insbesondere zur Förderung des “Tree Thinking“, herangezogen werden können. Von besonderem Interesse ist in diesem Zusammenhang beispielsweise das Lernen mithilfe von Animationen: Nach Matuk & Uttal (2012) kann die Verwendung von Animationen dazu beitragen, bei Lernenden die Fähigkeit zum korrekten Lesen von phylogenetischen Stammbaumdiagrammen zu fördern. Durch die Möglichkeit, in einer digitalen Lernumgebung die Topologie von Stammbäumen selbsttätig umgestalten zu können, prägen sich, so Matuk & Uttal (2012), den Lernenden wichtige Grundkonzepte des “Tree Thinking“ ein, z. B. der

hierarchische Aufbau phylogenetischer Stammbäume aus paarweise verschachtelten Kladen („nested clades“).

3 Forschungsfragen

Die vorliegende Masterarbeit soll einen Beitrag zur Beantwortung folgender Forschungsfragen leisten:

- 1. Wie kann man bei Lernenden im Fach Biologie die Fähigkeit, phylogenetische Stammbäume korrekt zu lesen und zu verstehen, fördern?*
- 2. Welchen Beitrag können digitale Ressourcen hierzu leisten?*
- 3. Inwiefern sind solche digitalen Ressourcen derzeit (im deutsch-/ englischsprachigen Raum) vorhanden?*
- 4. Welche Aspekte sind bei der Gestaltung von digitalen Ressourcen zum “Tree Thinking“ im deutschsprachigen Raum von besonderer Bedeutung?*
- 5. Wie könnte eine deutschsprachige Website zum “Tree Thinking“ für SuS der Sekundarstufe aussehen?*

4 Methodik

4.1 Auswahl der Stichprobe

Die Stichprobe wurde mithilfe einer Internet-Recherche zu bestimmten Suchbegriffen ermittelt. Es wurden vorwiegend die Internet-Suchmaschinen Google Chrome und Google Scholar verwendet. Da es sich um eine vergleichende Betrachtung aktuell verfügbarer Online-Ressourcen im deutsch- und englischsprachigen Sprachraum handelt, wurden alle Begriffe sowohl auf Deutsch als auch auf Englisch eingegeben und jeweils leicht variiert, um eine möglichst breite Materialbasis zu schaffen.

Folgende Suchbegriffe bzw. Begriffskombinationen wurden verwendet:

Englisch:

- “Tree Thinking“
- Phylogenetic Tree
- Cladogram

Deutsch:

- Phylogenetische Stammbäume lesen/ verstehen/ interpretieren
- Kladogramme lesen/ verstehen/ interpretieren
- Phylogenetik
- Stammbaum lesen Evolution

4.2 Erarbeitung von Kriterien für die Stammbaumanalyse

Eine wichtige Voraussetzung dafür, dass Lernende im Fach Biologie die Fähigkeit zur korrekten Interpretation phylogenetischer Stammbäume (“Tree Thinking“) erwerben können, ist die Verwendung geeigneter Diagramme im Unterricht und zur Gestaltung von Lehr-Lern-Ressourcen. In diesem Zusammenhang stellt sich jedoch zunächst die Frage: Wie sieht ein, für Lernende optimal geeigneter, phylogenetischer Stammbaum aus? Der aktuelle fachdidaktische Forschungsstand (vgl. Kap. 2.1), erlaubt eine konkrete und detaillierte Beantwortung dieser Frage: Hinsichtlich der Eignung eines phylogenetischen Stammbaumes für Lernende spielen nicht nur inhaltliche und fachdidaktische Faktoren, sondern auch die Gestaltung eine Rolle. Aus fachlicher Sicht ist entscheidend, dass die, im Unterricht oder zur Gestaltung von Lehr-Lern-Ressourcen verwendeten, phylogenetischen Stammbäume wissenschaftlich korrekt sind und möglichst den aktuellen Forschungsstand zur Phylogenie der dargestellten Taxa reflektieren. Aus fachdidaktischer Sicht ist zu beachten, dass dem Entstehen von Fehlkzepten zur Evolutionsbiologie entgegengewirkt werden soll: Aus den Alltagsvorstellungen der Lernenden sollen wissenschaftliche korrekte Vorstellungen werden (vgl. Kap. 2.2).

Der Kriterienkatalog nach Leopold (2020) bildete einen wichtigen Ausgangspunkt für die im Rahmen dieser Arbeit angestellten Überlegungen zu Stammbaumdiagrammen: Ein wesentlicher Aspekt, der in dem Kriterienkatalog nach Leopold (2020) noch nicht enthalten ist, stellt die Geometrie phylogenetischer Stammbäume (diagonales vs. rechteckiges Format) dar. Der aktuelle fachdidaktische Forschungsstand (vgl. Kap. 2.1) zeigt jedoch, dass die inhaltlich korrekte Interpretation von Stammbäumen für Lernende durch Verwendung des „diagonalen“

Formats – vor allem im Vergleich zum „rechteckigen“ Format – deutlich erschwert wird: Bei Verwendung des diagonalen Formats dürfte Lernenden das Erfassen der, vom Stammbaum dargestellten, hierarchischen Struktur der phylogenetischen Informationen deutlich schwerer fallen als bei Gebrauch des rechteckigen Formats. Nach Novick & Catley (2007) hängt dieses Phänomen mit kognitiven Mechanismen zusammen („Gestalt principle of good continuation“): Die Geometrie von diagonalen Stammbäumen erschwert die Erfassung des hierarchisch angeordneten, dichotomen Verzweigungsmusters. Lernende, vor allem jene mit geringen Kompetenzen im Lesen von Stammbäumen, machen mehr Fehler, wenn die betreffenden Informationen als diagonaler Stammbaum vorliegen als bei einem rechteckigen Stammbaum mit identischem Informationsgehalt. Zudem dürfte das diagonale Format von Stammbaumdiagrammen dazu beitragen, teleologische Vorstellungen zur Evolution bei den Lernenden zu fördern. Daher stellt das Kriterium „Geometrie des Stammbaumdiagramms“ eine wichtige Ergänzung des Kriterienkatalogs der Stammbaumanalyse nach Leopold (2020) dar.

Zusammenfassend ist ein, für Lernende optimal geeignetes, phylogenetisches Stammbaumdiagramm durch folgende Eigenschaften gekennzeichnet:

- Gewurzelter Stammbaum
- Zeitachse oder Zeitangaben vorhanden
- Überschaubare Größe
- Basierend auf dichotomen Verzweigungen
- Rechteckiges Format
- Horizontale Orientierung, Wurzel links
- Ausgestorbene Arten werden gekennzeichnet
- Linien gleicher Länge und Stärke
- Apomorphe Merkmale werden angeführt (unterhalb der Nodien)
- Beschriftungen – korrekt, sparsam, nur am Ende, keine Arten als Vorfahren

4.3 Erarbeitung von Kriterien für die Bewertung digitaler Ressourcen zum “Tree Thinking“

Der vorliegende Kriterienkatalog zur Bewertung von digitalen Lehr-Lernressourcen zum “Tree Thinking“ wurde in Anlehnung an das Bewertungsschema für Computerprogramme mit biologischer Thematik von Gropengießer et al. (2010, 113) erstellt (siehe hierzu auch Kap. 2.3.2 mit Abb. 4), wobei kleinere Ergänzungen, Umstrukturierungen und Adaptierungen vorgenommen worden sind. Zudem sollen die Abkürzungen und Nummerierungen der einzelnen Kriterien eine tabellarische Darstellung der Ergebnisse erleichtern. Aufgrund des hier erarbeiteten Kriterienkatalogs ist eine detaillierte, quantitative Bewertung von ausgewählten Websites möglich. Die Gesamtzahl der Kriterien beträgt zwanzig, wobei nur fünfzehn davon Bewertungskriterien im eigentlichen Sinn darstellen und daher mit einem Zahlenwert von 0 bis 10 beurteilt werden: Es handelt sich hierbei um zwei fachwissenschaftliche, sechs fachdidaktische, vier mediendidaktische und drei medientechnische Kriterien. Bei den fünf allgemeinen Kriterien handelt es sich um Angaben und Hintergrundinformationen, die für die Einordnung der Ergebnisse von Bedeutung sind. Neben der quantitativen Bewertung soll der Ergebnisteil (Kap. 5) auch eine ausführliche Beschreibung und Analyse der ausgewählten Online-Ressourcen enthalten. Im Diskussionsteil (Kap. 6) werden fallweise zusätzlich weitere Beispiele in die Auswertung miteinbezogen.

Allgemeine Kriterien (AK):

- AK 1: “Tree Thinking“ oder Evolutionsbiologie als zentrales Thema der Website?
- AK 2: Institutionelle Anbindung – Universität, Museum, Bildungsministerium, Verein?
- AK 3: Welche Sprache(n)? Originalsprache oder übersetzt?
- AK 4: Angaben zur Zielgruppe
- AK 5: Angaben zu Lernzielen (Kompetenzförderung berücksichtigt?)

Fachwissenschaftliche Kriterien (FWK):

- FWK 1: Fachliche Korrektheit & Aktualität der Inhalte
- FWK 2: Angemessenes Niveau (für die betreffende(n) Zielgruppe(n)) & geeignete, weiterführende Literatur/ Onlinequellen

Fachdidaktische Kriterien (FDK):

- FDK 1: Verständlichkeit der Textteile und Übersichtlichkeit der Online-Ressource
- FDK 2: Berücksichtigung von Alltagsvorstellungen und Aktivierung von Vorwissen

- FDK 3: Bezug zur Lebenswelt der Lernenden
- FDK 4: Rückmeldungen für die Lernenden
- FDK 5: Methodische Hinweise (v.a. für die Lehrenden)
- FDK 6: Begleitmaterial (auch analog)

Mediendidaktische Kriterien (MDK):

- MDK 1: Vielfalt der verfügbaren Medien
- MDK 2: Alleinstellung bzgl. der Leistung der betreffenden Ressource
- MDK 3: Interaktivität und Individualisierung
- MDK 4: Motivierend für die Lernenden?

Medientechnische Kriterien (MTK):

- MTK 1: Struktur und Gestaltung der digitalen Lehr-Lern-Ressource
- MTK 2: Korrektur- und Abbruchmöglichkeit von Eingaben und Aktivitäten
- MTK 3: Speicher- und Druckfunktion von Lernmaterialien

	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	Nr. 5	Nr. 6	Nr. 7	Nr. 8	Nr. 9	Nr. 10
AK 1										
AK 2										
AK 3										
AK 4										
AK 5										
FWK 1										
FWK 2										
FDK 1										
FDK 2										
FDK 3										
FDK 4										
FDK 5										
FDK 6										
MDK 1										
MDK 2										
MDK 3										
MDK 4										
MTK 1										
MTK 2										
MTK 3										
Punkteanzahl Gesamt										
Bemerkungen										

Tab. 1: Tabellarische Übersicht für die Bewertung der digitalen Lehr-Lern-Ressourcen

Die Stichprobe für die Bewertung beträgt insgesamt 20 digitale Lehr-Lern-Ressourcen zum “Tree Thinking“, wobei ein ausgewogenes Verhältnis von englisch- und deutschsprachigen

Ressourcen angestrebt wurde, daher wurden 10 englischsprachige und 10 deutschsprachige Beispiele ausgewählt.

Folgende, digitale Lehr-Lern-Ressourcen wurden für die Bewertung ausgewählt und durchnummeriert (1-10 englischsprachig; 11-20 deutschsprachig; die Nummern werden im Ergebnis- und Diskussionsteil weiterverwendet; vgl. Kap. 5 & 6):

Englischsprachig:

1. The Tree Room

<https://evolution.berkeley.edu/the-tree-room/> (abgerufen am 07.08.2025)

2. PBS/ Nova Evolution Lab

<https://www.pbslearningmedia.org/collection/nova-premium-collection/nova-labs-and-interactive/evolution-lab/> (abgerufen am 07.08.2025)

(aktuell verlinkt mit Tree Room Website)

3. TimeTree5: The Timescale of Life

<https://timetree.org/resources#EducationResources> (abgerufen am 08.08.2025)

(aktuell verlinkt mit Tree Room und PBS Evolution Lab Websites)

4. The Biology of Sex and Death

<https://bio1220.biosci.gatech.edu/life-birth-or-formation-of-biological-systems/how-do-we-know-about-the-history-life-on-earth/> (abgerufen am 23.07.2025)

(basiert zum Teil auf Inhalten des Tree Room und nennt diesen auch als Quelle)

5. Phylogeny: How we're all related (Crash Course Biology #17); hhmi BioInteractive

<https://www.youtube.com/watch?v=YM6Ekb5De2o> (abgerufen am 07.08.2025)

6. Intro to Cladograms and Phylogenetic Trees (Amoeba Sisters)

<https://www.youtube.com/watch?v=cIQobFHFwcM> (abgerufen am 07.08.2025)

7. How do you read Evolutionary Trees? (You Too Bio)

<https://www.youtube.com/watch?v=Xd6Tc7tGOec> (abgerufen am 08.08.2025)

8. Clint Explains: Phylogenetic Trees

<https://www.youtube.com/watch?v=SqmblycbOzk> (abgerufen am 08.08.2025)

9. Wikipedia: Phylogenetic tree & Cladogram (including related terminology)

https://en.wikipedia.org/wiki/Phylogenetic_tree (abgerufen am 07.08.2025)

<https://en.wikipedia.org/wiki/Cladogram> (abgerufen am 21.08.2025)

10. Shape of Life: The Story of the Animal Kingdom

<https://www.shapeoflife.org/> (abgerufen am 08.08.2025)

Deutschsprachig:

11. Internet-Evoluzzer (Darwinator)

<https://internet-evoluzzer.de/kladistik-tutorial-2-stammbaeume-richtig-lesen/> (abgerufen am 23.07.2025)

12. Planet Schule

https://www.planet-schule.de/sf/spezial/spezial_evolution.php (abgerufen am 23.07.2025)

https://www.planet-schule.de/mm/stammbaum_des_menschen/ (abgerufen am 07.08.2025)

https://www.planet-schule.de/planet-schule-suche-100.html?swx_ps_q=stammbaum&swx_schoolclassesfrom=1&swx_schoolclassesto=13
(abgerufen am 07.08.2025)

13. EMBL

<https://www.embl.org/ells/teachingbase/the-mysterious-protein-a-bioinformatics-expedition/part-4-phylogenetic-analysis/?lang=de> (abgerufen am 07.08.2025)

<https://www.embl.org/ells/teachingbase/treetops/?lang=de> (abgerufen am 07.08.2025)

<https://itol.embl.de/> (abgerufen am 07.08.2025)

(reine Forschungswebsite des Instituts)

14. Science in School – Bioinformatik mit Stift und Papier

<https://www.scienceinschool.org/de/article/2011/bioinformatics-de/> (abgerufen am 23.07.2025)

15. Lehrerfortbildung BW: Rahmenthema – Evolution & Stammbäume

https://lehrerfortbildung-bw.de/u_matnatech/bio/gym/bp2004/fb4/3_stamm/ (abgerufen am 08.08.2025)

Intro: Was ist ein Stammbaum?

https://lehrerfortbildung-bw.de/u_matnatech/bio/gym/bp2004/fb4/3_stamm/3_car/ (abgerufen am 08.08.2025)

16. Lifescience Learningcenter UZH (CH): Was ist ein Stammbaum?

<https://www.youtube.com/watch?v=JmRkdHswrrQ> (abgerufen am 07.08.2025)

<https://www.lifescience-learningcenter.uzh.ch/de/forschzeitprimar.html> (abgerufen am 07.08.2025)

<https://www.lifescience-learningcenter.uzh.ch/de/forschzeitprimar/forschkisten/evolution.html> (abgerufen am 07.08.2025)

17. Lessons at Home – Zurück zu den Wurzeln, Kladogramm Wirbeltiere

<https://www.youtube.com/watch?v=J3zD0jicNj0> (abgerufen am 07.08.2025)

18. Wikipedia: Phylogenetischer Stammbaum & Kladogramm (einschließlich verwandter Suchbegriffe)

https://de.wikipedia.org/wiki/Phylogenetischer_Baum (abgerufen am 07.08.2025)

<https://de.wikipedia.org/wiki/Kladistik#Kladogramme> (abgerufen am 21.08.2025)

19. Biokolleg

Beispiel: Stammbaum und Kladogramm, Teil 1 – Verwandtschaft richtig verstehen

<https://www.youtube.com/watch?v=YR8LaL5WpZU> (abgerufen am 23.07.2025)

20. Die Merkhilfe

Beispiel: Stammbäume erstellen & verstehen – Prinzipien der Stammbaumentwicklung (Evolution 22)

<https://www.youtube.com/watch?v=O2EoBg6i09g> (abgerufen am 07.08.2025)

5 Ergebnisse

5.1 Stammbaumanalyse – ausgewählte Beispiele aus internationalen digitalen Ressourcen

Beispiel 1:

(<https://evolution.berkeley.edu/teach-resources/tree-of-life-poster-without-images-medium/>; abgerufen am 14.08.2025).

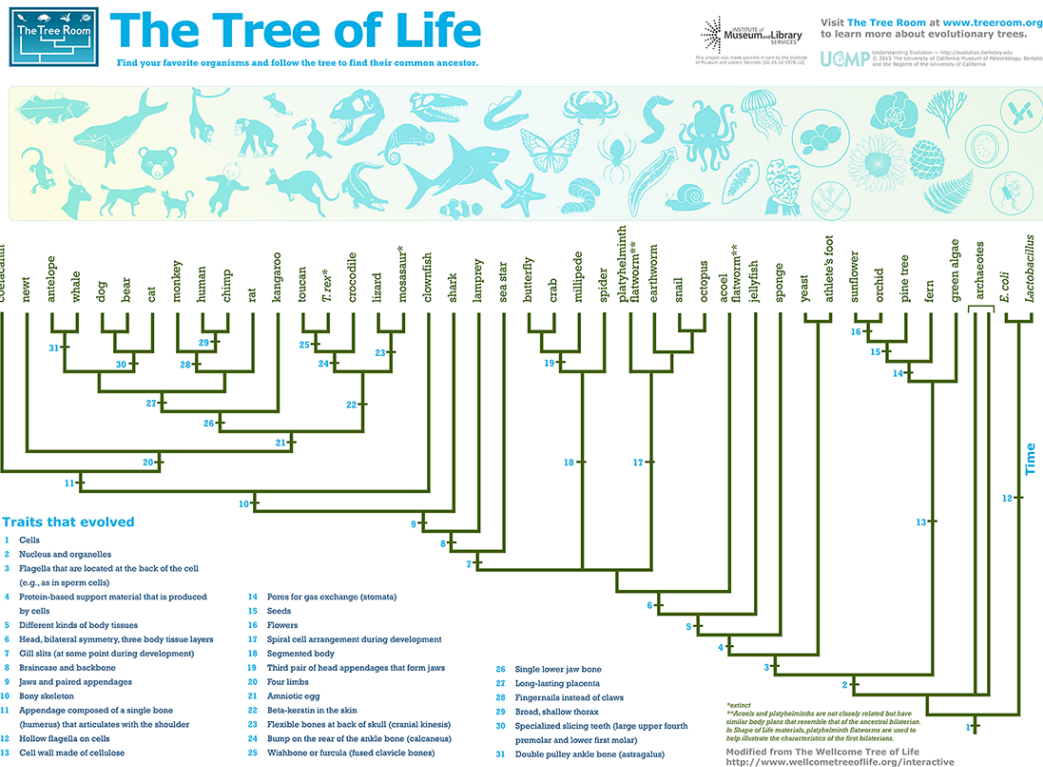


Abb. 5: Phylogenetisches Stammbaumdiagramm zur Evolution des Lebens von der "Understanding Evolution" Website

Beispiel 1 (Abb. 5) ist ein korrektes, phylogenetisches Stammbaumdiagramm, das für Lernende sehr gut geeignet ist (vgl. die in Kap. 4.2 angeführten Merkmale): Es handelt sich um einen gewurzelten Stammbaum in vertikaler Orientierung (von unten nach oben; Wurzel rechts unten), mit Angabe des Zeitverlaufs durch einen Pfeil (ebenfalls von unten nach oben), jedoch ohne konkrete Zeitangaben. Das Vorhandensein einer Wurzel veranschaulicht das Prinzip des letzten gemeinsamen Vorfahrens. Obwohl der Stammbaum von unten nach oben verläuft, entsteht durch geschickte Anordnung der dargestellten Arten nicht der Eindruck einer „gerichteten“ Evolutionsgeschichte von einfachen zu komplexen Lebewesen (z. B. befinden sich die Säugetiere, inkl. Mensch, links oben; Menschen sind aber nicht ganz links außen

plaziert). Es wurde das rechteckige Stammbaumformat, das Lernende am leichtesten korrekt interpretieren können, gewählt. Der Stammbaum basiert fast ausschließlich auf dichotomen Verzweigungen. Die Linien weisen alle dieselbe Stärke auf. Die Beschriftungen sind korrekt und sparsam, mit dem Ziel, Fehlinterpretationen zu vermeiden: Die Namen von Taxa stehen ausschließlich oben, am Ende der Zweige, somit auf einer Ebene. Die Verwendung englischsprachiger (anstelle wissenschaftlicher) Terminologie ist für jüngere Lernende sinnvoll. Ausgestorbene Taxa sind markiert, allerdings könnte dies deutlicher sein. Apomorphe Merkmale werden angeführt (unterhalb der Nodien), sie sind durchnummeriert und separat aufgelistet: Es handelt sich um wichtige „Meilensteine“ in der Evolutionsgeschichte. Obwohl dieses Stammbaumdiagramm die Fülle der Biodiversität auf der Erde darstellen soll, weist es eine überschaubare Größe und Komplexität auf, da es nur 42 ausgewählte Taxa umfasst. Insofern eignet es sich gut für die regelmäßige Verwendung im Unterricht zur Förderung des “Tree Thinking“, spätestens ab Beginn der Sekundarstufe 1, wie auf der “Understanding Evolution“ Website empfohlen (<https://evolution.berkeley.edu/the-tree-room/trees-for-teachers/two-and-ten-minute-trees/>; abgerufen am 14.08.2025).

Beispiel 2a:

(<https://www.friedrich-verlag.de/friedrich-plus/sekundarstufe/biologie/evolution/stammbaumanalyse-aufgaben-fuer-lernende-in-der-sek-i/>; abgerufen am 14.08.2025)

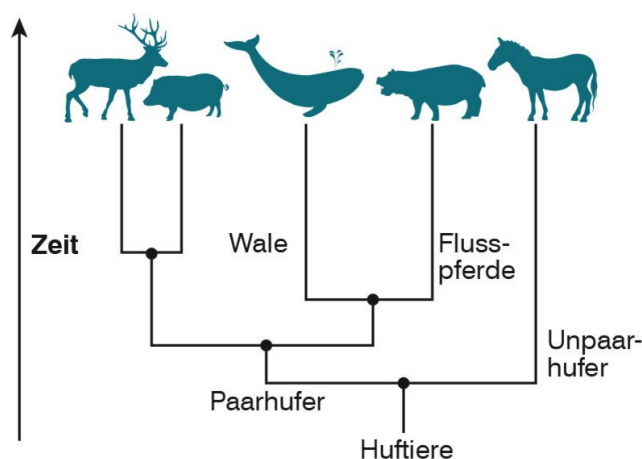


Abb. 6a: Phylogenetisches Stammbaumdiagramm der Huftiere (nur ausgewählte Taxa; Fokus auf Wale und Flusspferde als Schwestergruppen); nach Kattmann (Onlinereource zur Stammbaumanalyse für Sekundarstufe 1, s.o.)

Beispiel 2a (Abb. 6a) ist ein kleiner, stark reduzierter Stammbaum (nur fünf Arten als „Icons“ dargestellt; Fokus auf Wale und Flusspferde als Schwestergruppen) im rechteckigen Format, vertikal orientiert mit Wurzel unten und durchwegs basierend auf dichotomen Verzweigungen. Grundsätzlich eignen sich Diagramme dieses Typs gut zur Einführung in das Lesen phylogenetischer Stammbaumdiagramme für jüngere Lernende (zu Beginn der Sekundarstufe 1). Der Zeitverlauf wird durch einen Pfeil (von unten nach oben, jedoch ohne konkrete Zeitangaben) angezeigt. Das Vorhandensein einer Wurzel veranschaulicht das Prinzip des letzten gemeinsamen Vorfahrens. Außerdem ist an jedem Knoten ein Punkt vorhanden und im Begleittext wird erklärt, dass es sich hierbei um den gemeinsamen Vorfahren handelt. Die Verwendung deutscher Begriffe anstelle wissenschaftlicher Terminologie stellt eine Erleichterung für Lernende zu Beginn der Sekundarstufe 1 dar: Negativ anzumerken, da es zu Fehlinterpretationen führen könnte, ist jedoch die Anbringung der Beschriftung der Taxa innerhalb des Diagramms (besser wäre oberhalb der Zweige) und insbesondere die Beschriftung der Wurzel mit „Huftiere“ (ggf. alternativ: „letzter gemeinsamer Vorfahre der Huftiere“). Allerdings ist der Begleittext gut auf die Abbildung abgestimmt und kann daher zur korrekten Interpretation des Stammbaumdiagramms, auch in der dargestellten Form, beitragen.

Beispiel 2b

(<https://www.friedrich-verlag.de/friedrich-plus/sekundarstufe/biologie/evolution/stammbaumanalyse-aufgaben-fuer-lernende-in-der-sek-i/>; abgerufen am 14.08.2025)

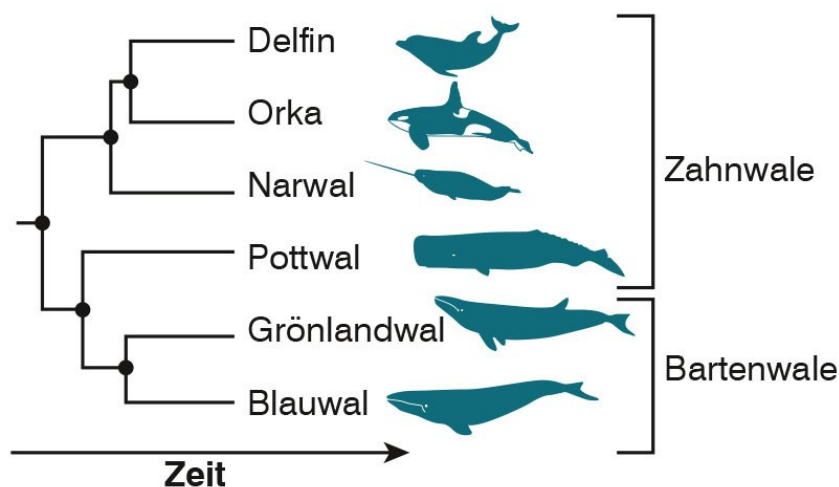


Abb. 6b: Phylogenetisches Stammbaumdiagramm der Wale und Delfine (ausgewählte, rezente Taxa); nach Kattmann (Onlinereource zur Stammbaumanalyse für Sekundarstufe 1, s.o.)

Auch bei Beispiel 2b (Abb. 6b) handelt es sich um einen kleinen, stark vereinfachten Stammbaum im rechteckigen Format, horizontal orientiert mit Wurzel links und durchwegs basierend auf dichotomen Verzweigungen. Es werden nur sechs Arten dargestellt. Die gesamte Ordnung der Wale und Delfine (*Cetacea*), mit den beiden Unterordnungen Zahnwale (*Odontoceti*) und Bartenwale (*Mysticeti*), umfasst jedoch ca. 90 Arten. Es wird jedoch im Begleittext darauf hingewiesen, dass es sich bei den dargestellten Arten nur um eine Auswahl handelt. Das Vorhandensein einer Wurzel veranschaulicht das Prinzip des letzten gemeinsamen Vorfahrens. Zusätzlich ist an jeder Nodie ein Punkt vorhanden, wobei aus dem Begleittext hervorgeht, dass es sich um den gemeinsamen Vorfahren handelt. Die Angabe des Zeitverlaufs erfolgte durch einen Pfeil (von links nach rechts), jedoch ohne konkrete Zeitangaben. Positiv hervorzuheben ist die Beschriftung (deutsche Begriffe anstelle wissenschaftlicher Terminologie; Beschriftung ausschließlich neben dem Diagramm). Allerdings fördert der Gebrauch der deutschen Artnamen in der „Einzahl“ typologisches Denken und erschwert den Lernenden ein Denken in Populationen. Daher wäre anzuraten, anstelle der hier verwendeten „Einzahl“ jeweils die „Mehrzahl“ zu gebrauchen (also z. B. „Blauwale“ statt „Blauwal“). Dieses einfache Stammbaumdiagramm eignet sich, in Verbindung mit dem gut abgestimmten Begleittext, hervorragend zur Förderung des “Tree Thinking“ in der Sekundarstufe 1.

Beispiel 3:

(<https://evolution.berkeley.edu/what-are-evograms/the-evolution-of-whales/>; abgerufen am 14.08.2025)

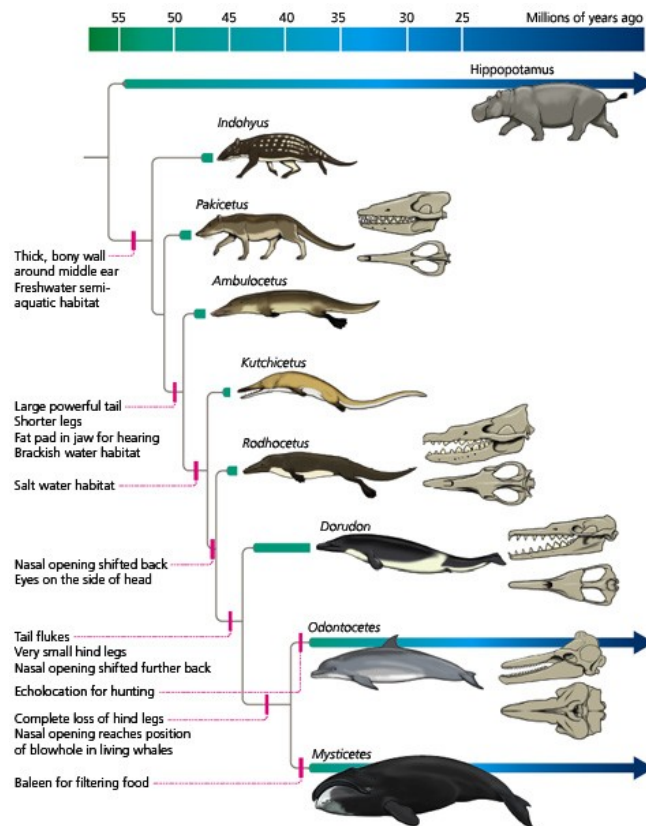


Abb. 7: Phylogenetisches Stammbaumdiagramm zur Evolutionsgeschichte der Wale („Evogram“) von der „Understanding Evolution“ Website

Wie bei der überwiegenden Mehrzahl der phylogenetischen Stammbaumdiagramme auf der „Understanding Evolution“/ „The Tree Room“ Website wurde auch bei Beispiel 3 (Abb. 7) nicht nur auf fachliche Korrektheit geachtet, sondern die Gestaltung des Diagramms sorgfältig an die Bedürfnisse von Lernenden angepasst (vgl. Kap. 4.2): Es handelt sich um ein gewurzeltetes Stammbaumdiagramm im rechteckigen Format, in horizontaler Orientierung (Wurzel links), und basierend auf dichotomen Verzweigungen. Auch eine Zeitleiste ist vorhanden und hilft bei der Unterscheidung zwischen rezenten und fossilen Taxa, da bei den rezenten Taxa der Pfeil bis in die Gegenwart weiterläuft. Positiv anzumerken ist bei Beispiel 3 auch die gute Abstimmung zwischen dem Begleittext und dem Stammbaumdiagramm: Insofern wird hier ein kompakter, informativer Überblick über die Evolutionsgeschichte der Ordnung Cetacea gegeben, in Verbindung mit einer Förderung des „Tree Thinking“, die z. B. eine Anwendung und Festigung von Grundwissen der Lernenden zur Interpretation phylogenetischer Stammbaumdiagramme ermöglicht.

5.2 Ergebnisse der Bewertung ausgewählter, internationaler digitaler Ressourcen zum “Tree Thinking“

5.2.1 Ergebnisse der quantitativen Bewertung ausgewählter Onlinere Ressourcen zum “Tree Thinking“

5.2.1.1 Ergebnisse der quantitativen Bewertung: Englischsprachige Online-Lehr-Lernressourcen zum “Tree Thinking“

In Tabelle 2 werden die Ergebnisse der quantitativen Bewertung der zehn ausgewählten englischsprachigen Online-Lehr-Lernressourcen dargestellt (vgl. Kap. 4.3 mit den Bewertungskriterien und dem Verzeichnis der bewerteten, digitalen Ressourcen).

	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	Nr. 5	Nr. 6	Nr. 7	Nr. 8	Nr. 9	Nr. 10
AK 1	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja
AK 2	Ja Uni Mus.	Ja Stift.	Ja Uni	Ja Uni	Ja Stift.	Nein	Nein You Tube	Nein You Tube	Nein	Stift.
AK 3	E. Orig.	E. Orig.	E. Orig.	E. orig.	E. Orig.	E. Orig.	E. Orig.	E. Orig.	E. Orig.	E. Orig.
AK 4	Ja Alle	Ja Div.	Ja Div.	Ja Uni	Ja Div.	Ja Sek. 2	Ja Sek 2	Ja Sek 2	Nein	Ja
AK 5	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja
FWK 1	10	8	9	7	9	9	9	9	7	7
FWK 2	10	9	8	8	8	9	9	8	6	7
FDK 1	8	7	5	8	9	8	6	8	6	7
FDK 2	9	6	6	5	9	9	8	8	5	6
FDK 3	10	7	7	5	9	9	9	7	5	6
FDK 4	5	8	5	3	0	5	0	6	0	5
FDK 5	10	9	6	2	5	3	3	0	0	6
FDK 6	7	5	7	3	2	4	2	3	4	6
MDK 1	8	8	5	6	3	5	2	3	5	6
MDK 2	9	10	7	4	8	7	8	7	5	6
MDK 3	8	10	5	3	2	5	3	5	0	4
MDK 4	9	9	6	6	10	10	8	8	4	6
MTK 1	8	8	5	7	9	7	8	8	6	6
MTK 2	8	8	8	5	5	3	3	3	5	5
MTK 3	7	7	6	2	5	3	3	3	5	7
Punkteanzahl Gesamt	126	119	95	74	93	96	81	86	63	89
Bemerkungen	www	www	www	www	Video +Forts. +Mat.	Video +Mat. +Links	Video +Links	Video +Forts. +Quiz	www Lexikon	www

Tab. 2: Ergebnisse der quantitativen Bewertung von englischsprachigen Online-Lehr-Lernressourcen zum “Tree Thinking“

Die durchschnittliche Punkteanzahl für die Gesamtheit der englischsprachigen Onlinere Ressourcen (Nr. 1-10) beträgt 92,2 Punkte. Bei den englischsprachigen Ressourcen war die höchste erreichte Punktezahl 126 Punkte (Nr. 1 – The Tree Room), die niedrigste 63

Punkte (Nr. 9 - Wikipedia). Der Durchschnittswert für englischsprachige Onlinere Ressourcen mit zentralem Thema “Tree Thinking“ oder Evolutionsbiologie (AK 1 = ja; Nr. 1-8 & 10) liegt bei 95,4 Punkten.

5.2.1.2 Ergebnisse der quantitativen Bewertung: Deutschsprachige Online-Lehr-Lernressourcen zum “Tree Thinking“

In Tabelle 3 werden die Ergebnisse der quantitativen Bewertung der zehn ausgewählten deutschsprachigen Online-Lehr-Lernressourcen dargestellt (vgl. Kap. 4.3 mit den Bewertungskriterien und dem Verzeichnis der bewerteten, digitalen Ressourcen).

	Nr. 11	Nr. 12	Nr. 13	Nr. 14	Nr. 15	Nr. 16	Nr. 17	Nr. 18	Nr. 19	Nr. 20
AK 1	Ja	Nein	Ja	Nein	Nein	Ja	Ja	Nein	Ja	Nein
AK 2	Ja Verein	Ja TV	Ja Wiss. Inst.	Ja Wiss. Inst.	Ja Bild. Minist.	Uni	Nein You Tube	Nein	Nein You Tube	Nein You Tube
AK 3	D. Orig.	D. Orig.	D. Übers.	D. Übers.	D. Orig.	D. Orig.	D. Orig.	D. Übers.	D. Orig.	D. Orig.
AK 4	Nein Allg., Erw.	Ja Ab Sek. 1	Ja Ab Sek. 2	Ja Ab Sek. 2	Ja Ab Sek. 2	Ja Sek. 1	Ja Sek. 2	Nein	Ja Sek. 2	Ja Sek. 2
AK 5	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja	Nein
FWK 1	8	7	8	8	8	7	6	7	9	5
FWK 2	7	7	9	8	7	9	6	6	9	5
FDK 1	5	8	7	8	8	8	7	6	9	7
FDK 2	5	6	6	7	8	9	6	5	8	6
FDK 3	5	6	6	7	7	8	4	5	7	5
FDK 4	3	4	6	5	7	5	2	0	8	0
FDK 5	4	5	7	5	8	8	4	0	6	0
FDK 6	9	6	8	6	8	9	0	4	8	3
MDK 1	8	6	5	5	6	8	0	5	5	2
MDK 2	6	5	5	5	6	6	5	5	5	4
MDK 3	3	4	6	4	7	6	3	0	6	2
MDK 4	4	5	6	5	6	7	5	4	5	5
MTK 1	5	5	6	7	6	6	5	6	7	6
MTK 2	5	5	6	5	5	5	5	5	5	5
MTK 3	8	6	7	6	7	5	5	5	6	4
Punkteanzahl Gesamt	85	85	98	91	104	108	63	63	103	59
Bemerkungen	www	www	www	www	www	www+ Mat.	Nur Video	www	Video +Mat.	Nur Video

Tab. 3: Ergebnisse der quantitativen Bewertung deutschsprachiger Online-Lehr-Lernressourcen zum “Tree Thinking“

Die durchschnittliche Punkteanzahl für die Gesamtheit der deutschsprachigen Onlinere Ressourcen (Nr. 11-20) beträgt 85,9 Punkte. Bei den deutschsprachigen Ressourcen war die höchste erreichte Punktezahl 108 Punkte (Nr. 16 – Lifescience Learningcenter UZH), die niedrigste 59 Punkte (Nr. 20 – Die Merkhilfe). Der Durchschnittswert für deutschsprachige

Onlineressourcen mit zentralem Thema “Tree Thinking“ oder Evolutionsbiologie (AK 1 = ja; Nr. 11, 13, 16, 17 & 19) liegt bei 91,4 Punkten.

5.2.2 Ergebnisse der qualitativen Beurteilung ausgewählter Onlineressourcen zum “Tree Thinking“

1. The Tree Room

Diese umfangreiche Onlineressource der Universität Berkeley (Kalifornien, U.S.A.) zum Thema “Tree Thinking“ ist, sowohl fachlich als auch fachdidaktisch, von hervorragender Qualität. Zudem ist die Website ansprechend gestaltet, gut strukturiert und in viele kleine Subkapitel gegliedert: Dies ermöglicht es den Lernenden unterschiedlicher Zielgruppen, sich sowohl schrittweise in das Thema einzuarbeiten, als auch gezielt bestimmte Informationen und Angebote aufzufinden. Zudem sind die Texte kompakt, präzise formuliert und somit gut lesbar. Die verfügbaren, medial vielfältigen, Lehr-Lern-Ressourcen werden auch regelmäßig aktualisiert und erweitert. Aktuell sind auf dieser Website Angebote für folgende Zielgruppen verfügbar: Schülerinnen und Schüler ab der Sekundarstufe 1, Unterrichtende im Fach Biologie, allgemein Interessierte, Studierende, Mitarbeitende in Naturkundemuseen. Bei den Lehr-Lern-Ressourcen für den schulischen und universitären Kontext wurde die Zielgruppe jeweils genau angegeben und es gibt auch Empfehlungen für Lehrende, wie “Tree Thinking“ in den Unterricht eingebaut werden kann. Das zentrale, einführende Kapitel dieser Onlineressource zum “Tree Thinking“ vermittelt, in kompakter Form, Basiswissen zur Interpretation phylogenetischer Stammbaumdiagramme, wobei der Zusammenhang mit den Grundlagen der Evolutionstheorie, die zum Verständnis erforderlich sind, klar ersichtlich wird. Zudem gibt es Links zu weiteren Lehr-Lern-Ressourcen, vor allem zu den Grundlagen der Evolutionsbiologie. Die Angebote dieser umfangreichen Onlineressource sind durchwegs interaktiv: Zum Beispiel gibt es in vielen Bereichen dieser Website die Möglichkeit, durch Beantwortung einfacher Fragen zu überprüfen, ob man die Inhalte verstanden hat. Zudem werden hier vorwiegend Stammbaumdiagramme im rechteckigen Format verwendet: Letztere eignen sich für Lernende am besten. Einige der Abschnitte der Einführung beinhalten einfache Animationen und sind interaktiv gestaltet: Mithilfe einer Animation wird beispielsweise die Leserichtung eines Stammbaums im rechteckigen Format angezeigt und damit auch das Muster der Verzweigungen: Die animierte Darstellung wirkt sehr einprägsam. In einem anderen Subkapitel kann man durch Anklicken der entsprechenden, mit einem Fragezeichen gekennzeichneten,

Komponenten eines phylogenetischen Stammbaums den Aufbau dieses fachspezifischen Diagrammtyps und die wichtigsten, relevanten Grundbegriffe der Evolutionstheorie kennenlernen. In einem späteren Abschnitt werden, mithilfe von Animationen, unterschiedliche Stammbaumformate erklärt und ineinander umgewandelt. Weiters sollen zahlreiche Fallbeispiele die praktische Bedeutung des “Tree Thinking“ illustrieren und motivierend auf die Lernenden wirken. Diese Beispiele stammen aus unterschiedlichen Teilbereichen der lebenswissenschaftlichen Forschung und ihrer Anwendungsgebiete – von der Kriminologie, über den Artenschutz bis hin zur Paläontologie: Anhand der Evolution der Wale wird beispielsweise gezeigt, dass phylogenetische Stammbäume stets Hypothesen zur Evolution der dargestellten Taxa sind und dass eine Veränderung des Forschungsstandes zur Evolution der betreffenden Taxa sich insofern immer auch auf das Stammbaumdiagramm auswirkt.

2. PBS/ Nova Evolution Lab

Hierbei handelt es sich um eine kostenlose Online-Lehr-Lernressource zu unterschiedlichsten, natur- und lebenswissenschaftlichen Themen, die von mehreren U.S.-amerikanischen Stiftungen gefördert wird: Eines der Themengebiete, die im Fokus dieser Website stehen, ist die Evolutionsbiologie, unter besonderer Berücksichtigung des “Tree Thinking“. Auffallend ist, dass das PBS/ Nova Evolution Lab medial besonders vielfältig und vor allem sehr interaktiv gestaltet ist, denn eine Besonderheit des PBS Evolution Lab stellt der Einsatz innovativer, digitaler Lernwerkzeuge dar: Bei dem einzigartigen, animierten Simulationsspiel “Build-A-Tree“ (BAT) können die Lernenden, auf spielerische Art und Weise, selber phylogenetische Stammbäume im rechteckigen Format erstellen, indem sie die vorgegebenen Taxa und Merkmale mittels “Drag-and-Drop“ ordnen (s.u., Abb. 8). Hierbei erhalten die Lernenden sofort Rückmeldung, ob die von ihnen erstellten, einfachen Stammbäume (wenige Arten und Merkmale) korrekt sind. Erst dann wird man zur nächsten Stufe zugelassen. Daher ist Individualisierung möglich, die Lernenden können jeweils in ihrem eigenen Tempo arbeiten. Das Simulationsspiel ist modular aufgebaut. Die Schülerinnen und Schüler erlernen nicht nur die Interpretation von Stammbaumdiagrammen, sondern erarbeiten sich parallel dazu auch die zugrundeliegenden evolutionsbiologischen Grundlagen phylogenetischer Systematik.

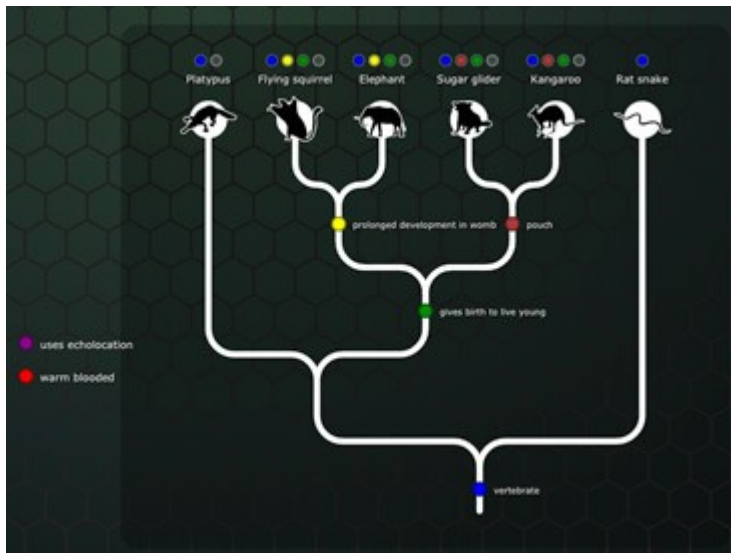


Abb. 8: Animations-Simulationsspiel “Build-A-Tree“ (BAT) – Exemplarischer Screenshot

Diese Onlineresource bietet beispielsweise zusätzlich auch informative, einführende Kurzvideos, mit kompakten Basisinformationen zum Thema Evolutionsbiologie und auch zum Lesen phylogenetischer Stammbäume. Weiters gibt es beim, ebenfalls animierten, “Deep Tree“ die Möglichkeit, die Verwandtschaft bestimmter taxonomischer Gruppen zu eruieren, indem man sich in einen Gesamtstammbaum „hineinzoomt“, was ebenfalls sehr anschaulich und lehrreich ist. Zudem ist ein Link zu “The Tree Room“ (s.o.; Nr. 1) vorhanden, daher sind darüber hinaus weitere, informative Online-Ressourcen höchster Qualität verfügbar.

3. TimeTree5: The Timescale of Life

Diese Onlineresource des Institute for Genomics and Evolutionary Medicine des Center of Biodiversity (U.S.A.) ermöglicht die Erstellung phylogenetischer Stammbaumdiagramme verschiedenster Taxa: Aufgrund ihrer einfachen Handhabung ist diese Onlineresource vielfältig nutzbar und für unterschiedlichste Zielgruppen geeignet – sowohl für Forschende, als auch für Interessierte und Lernende unterschiedlicher Altersgruppen. Die hervorragend gestalteten Lernmaterialien (als Pdf, daher analog verwendbar) für Kinder ermöglichen auch eine Nutzung dieser Ressource für spielerisches Lernen zum Thema “Tree Thinking“: Diese Lernmaterialien enthalten zahlreiche kleine Stammbaumdiagramme, vorwiegend im rechteckigen, für Lernende am besten geeigneten Format. Aufgrund der beiden Links zu “The Tree Room“ (s.o.; Nr. 1) und PBS/ Nova Evolution Lab (s.o.; Nr. 2) wird der Zugang zu weiteren Onlineresourcen höchster Qualität ermöglicht.

4. The Biology of Sex and Death

Diese Onlinereource zum Thema “Tree Thinking“ des Georgia Institute of Technology (U.S.A.) basiert zum Teil auf Inhalten des “Tree Room“ der Universität Berkeley (s.o.; Nr. 1), nennt diesen auch als Quelle und ist mit ihm verlinkt. Ziel dieser Lehr-Lern-Ressource ist es, interaktiven, “flipped classroom“ Unterricht für Studierende zu ermöglichen – die Website ist jedoch auch für Nicht-Studierende nutzbar (jedoch nicht in interaktiver Form). Es soll biologisches Grundwissen vermittelt werden, in Form von drei Modulen (1 Leben – 2 Fortpflanzung – 3 Tod). Obwohl “Tree Thinking“ nur ein Unterkapitel des Moduls 1 ist, kann es als sehr informativ und gut gestaltet bezeichnet werden, vor allem durch die Einbettung der Stammbaum-Lese-Kompetenz in den evolutionsbiologischen Kontext und in die Darstellung des naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozesses: Ein gutes Beispiel hierfür ist das Video zu Belegen für die Evolutionstheorie, am Beispiel der Evolution der Wale. Die Website ist medial relativ vielfältig, basierend auf informativen Video-Tutorials (zum Teil mit Animationen) sowie illustrierten Texten, die grundsätzlich sehr kompakt und verständlich formuliert und gestaltet sind. Es werden Stammbäume sowohl des diagonalen als auch des rechteckigen Formats verwendet, allerdings überwiegt das diagonale Format.

5. Phylogeny: How we’re all related (Crash Course Biology #17); hhmi BioInteractive

“Crash Course Biology“ ist ein kostenloser You-Tube-Kanal, der aufgrund der hohen Anzahl an Abonnenten sehr erfolgreich sein dürfte und viele kurze Lehrvideos für den Biologieunterricht, vorwiegend in der Sekundarstufe 2, anbietet. Die informativ und motivierend gestalteten Kurzvideos verbinden animierte Filmabschnitte mit einem „realen Moderator“; gefördert wird die Reihe durch die Stiftung HHMI und BioInteractive, einen kommerziellen Anbieter von Unterrichtsmaterialien. Der Kurzfilm zum “Tree Thinking“ ist aktuell (aus dem Jahr 2024), fachlich korrekt, einprägsam und sehr motivierend gestaltet. Positiv anzumerken ist auch die durchgehende Verwendung korrekter, einfacher Stammbaumdiagramme, es überwiegt das rechteckige Format und mithilfe von Animationen wird die Leserichtung verdeutlicht. Zwei weitere Folgen schließen thematisch an dieses Video an (Folge 18 und 19).

6. Intro to Cladograms and Phylogenetic Trees (Amoeba Sisters)

Bei der hier bewerteten Onlinereource zum “Tree Thinking“ handelt es sich um ein aktuelles Video (2025) des U.S. amerikanischen You-Tube-Kanals “Amoeba Sisters“, der aufgrund der hohen Anzahl an Abonnenten sehr erfolgreich sein dürfte und kurze, animierte Lehrvideos für

den Biologieunterricht, vorwiegend in der Sekundarstufe 2, anbietet. Das Einführungsvideo zum “Tree Thinking“ ist ca. 9 min. lang, ausschließlich animiert und auffallend lebhaft gestaltet: Es deckt alle wesentlichen Aspekte des Themas ab, wobei der Einstieg über das schrittweise Erstellen eines einfachen Kladogramms mit nur fünf Taxa aus einer Merkmalstabelle erfolgt. Positiv zu erwähnen ist auch das wiederholte Einblenden wichtiger Begriffe und kompakter, korrekter Definitionen. Als Kritikpunkte sind hier lediglich das sehr schnelle Sprechtempo und die häufige Verwendung des diagonalen Formats (für die Kladogramme) zu nennen. Diverse Zusatzmaterialien werden angeboten, allerdings nicht zum Download und nur zum Kauf, beispielsweise ein Biologielehrbuch in Form von Cartoons. Zusätzliche Gratis-Ressourcen zum “Tree Thinking“ sind allerdings über den Link zu “Understanding Evolution“ der Universität Berkeley verfügbar; z. B. auch “The Tree Room“ (s.o.; Nr. 1).

7. How do you read Evolutionary Trees? (YouTooBio; U.S.A.)

In diesem hervorragenden Lehrvideo (Zielgruppe: vorwiegend Sekundarstufe 2) wird in kompakter Form nicht nur die Kompetenz des Lesens phylogenetischer Stammbäume vermittelt: Es werden sinnvollerweise, parallel dazu, auch die wichtigsten Grundkonzepte der Evolutionstheorie eingeführt. Der klar erkennbar praktische Nutzen des “Tree Thinking“ und der „anwendungsorientierte“ Aufbau dieses kurzen Lehrfilms sollte sich positiv auf die Motivation der Lernenden auswirken: Praktische Fragestellung (Kriminalfall um eine HIV-Infektion) – Lernen wie man Stammbäume liest – Auflösung des Kriminalfalls. Die Analogie zwischen einem Familienstammbaum und einem phylogenetischen Stammbaum wird eingesetzt, um das Konzept der gemeinsamen Abstammung und des letzten gemeinsamen Vorfahren zu verdeutlichen (Last Common Ancestor). In diesem Zusammenhang wird ein anschauliches, leicht nachbaubares Modell zum Erklären verwendet: Es handelt sich um ein einfaches Mobile mit Bildern als Stammbaum-Modell, das rotiert werden kann (alternativ als Familienstammbaum oder als phylogenetischer Stammbaum verwendbar). Insofern wird im Kontext der Evolutionstheorie die Verbindung zwischen einzelnen Lebewesen, über individuelle Verwandtschaft, über die Art, zu taxonomischen Gruppen höherer Ordnung hergestellt, was zur Förderung des “Tree Thinking“ beitragen sollte. Positiv hervorzuheben ist auch der thematische Bezug zur Genetik, denn Unterschiede in den Gensequenzen werden, in diesem Lehrfilm, beispielsweise bereits eingangs als Basis für die Erstellung phylogenetischer Stammbäume genannt. Wichtig ist auch der Hinweis, dass in einem phylogenetischen Stammbaum stets nur ausgewählte, für die betreffende Hypothese relevante, Taxa dargestellt

werden. Auch der Verweis auf unterschiedliche Stammbaumformate mit identer Aussage und auf die Möglichkeit, die Position von Taxa ohne Bedeutungswandel zu rotieren, ist von besonderer Bedeutung. Positiv zu vermerken sind bei diesem Video auch die einfache Sprache und die klare Darstellung der Inhalte. Negativ anzumerken ist allerdings das viel zu hohe Sprechtempo der Moderatorin. Es sind zwar keine Begleitmaterialien verfügbar, allerdings ist dieses Video mit der exzellenten, umfangreichen Onlineresource “The Tree Room“ (s.o.; Nr. 1) verlinkt.

8. Clint Explains: Phylogenetic Trees

Es handelt sich um einen kostenlosen, U.S.-amerikanischen You-Tube-Kanal, der aufgrund der hohen Anzahl an Abonnenten sehr erfolgreich sein dürfte und zahlreiche kurze Lehrvideos zu biologischen Themen, vorwiegend für die Sekundarstufe 2, anbietet. Die sehr informativ und motivierend gestalteten Kurzvideos verbinden animierte Filmabschnitte mit einem „realen Moderator“ (junger Wissenschaftler aus den Fachbereichen Zoologie/ Evolutionsbiologie). Bei den Videos zum “Tree Thinking“ (aus dem Jahr 2021) aus dieser Reihe wird die Interpretation phylogenetischer Stammbäume im Zusammenhang mit den zugrundeliegenden Grundkonzepten der Evolutionstheorie dargestellt. Auch hier wird die Analogie zwischen einem Familienstammbaum und einem phylogenetischen Stammbaum eingesetzt, um das Konzept der gemeinsamen Abstammung und des letzten gemeinsamen Vorfahrens zu verdeutlichen (Last Common Ancestor), mithilfe einfacher, animierter Stammbaumdiagramme (im diagonalen Format). Positiv zu erwähnen sind der klare, akzentuierte, motivierende Vortrag sowie das moderate Sprechtempo des Vortragenden. Es sind keine Begleitmaterialien vorhanden, allerdings werden am Ende des Videos Verständnisfragen gestellt, die über die Kommentarfunktion beantwortet und diskutiert werden können.

9. Wikipedia: Phylogenetic tree & Cladogram (und verwandte Begriffe: Phylogenetics; cladistics)

Die betreffenden Seiten dieses Onlinelexikons sind gekennzeichnet als Bestandteil einer Serie zum Thema Evolutionsbiologie: Bei der Eingabe des Suchbegriffs “Tree Thinking“ wird man interessanterweise auf die Seite des Suchbegriffs “Phylogenetics“ weitergeleitet. In fachlicher Hinsicht sind die hier relevanten Seiten von solider Qualität und relativ aktuell (dies zeigen die zitierte Literatur und die Links), allerdings medial nicht vielfältig (nur Text mit einigen Abbildungen) und wenig motivierend gestaltet. Die englischsprachige Originalversion und die deutschsprachige Version (s.u.; Nr. 18) stimmen bis auf wenige Details komplett überein.

10. Shape of Life: The Story of the Animal Kingdom

Die Informationen zu den hier vorgestellten taxonomischen Gruppen sind sowohl fachlich, als auch fachdidaktisch, sowie bezüglich der medialen Gestaltung, von guter Qualität. Im Hinblick auf die Förderung des “Tree Thinking“ sind bei dieser Online-Lehr-Lern-Ressource allerdings einige Defizite erkennbar. Auffallend ist, dass bei dieser Onlineressource kein einziges, phylogenetisches Stammbaumdiagramm im eigentlichen Sinn verwendet wird: Beispielsweise sollen bei einem Lernspiel zahlreiche taxonomische Tiergruppen mithilfe eines Stammbaums geordnet werden. Allerdings wird hierzu, anstelle eines phylogenetischen Stammbaumdiagramms, die Darstellung eines realen Baums verwendet, die taxonomischen Gruppen sind die Blätter. Positiv anzumerken ist, dass es sowohl eine digitale, als auch eine analoge (= Pdf zum Ausdrucken), Version dieses Spiels gibt. Ein Alleinstellungsmerkmal dieser Onlineressource ist die Bemühung, über eine Verbindung kreativer Tätigkeit mit lebenswissenschaftlichen Inhalten, das Interesse der Lernenden an den betreffenden Themen zu fördern. Zudem ist die Website verlinkt mit anderen online Lehr-Lern-Ressourcen, die zur Förderung des “Tree Thinking“ hervorragend geeignet sind.

11. Internet Evoluzzer/ Darwinator (AG Evolutionsbiologie)

Diese deutschsprachige Online-Ressource der Arbeitsgemeinschaft Evolutionsbiologie bietet umfangreiche, fachlich korrekte Informationen zu vielfältigen Aspekten des Themenbereichs Evolution. Das Angebot richtet sich in erster Linie an allgemein Interessierte (Erwachsene), nicht an Lernende im schulischen und universitären Kontext. Auch der Themenbereich Phylogenetik und Kladistik wird detailliert behandelt, einschließlich der Interpretation von Stammbaumdiagrammen: Besonders relevant ist im Zusammenhang mit dem Thema “Tree Thinking“ das Video „Kladistik Tutorial 2: Stammbäume richtig lesen“. In diesem Video werden korrekte, für Lernende geeignete Stammbaumdiagramme verwendet (rechteckiges Format, überschaubare Zahl der im Stammbaum dargestellten Taxa). Insgesamt ist bei dieser Onlineressource positiv anzumerken, dass die Informationen in medial vielfältiger Form dargeboten werden (Text mit Abbildungen, Videos; alle Materialien sind auch analog als Pdf verfügbar, inkl. Transkript für die Videos als Pdf). Allerdings sind, im Hinblick auf die Gestaltung dieser Website, einige Mängel erkennbar: Die Texte sind durchgehend umständlich formuliert, auffallend lang und fast durchwegs schwer lesbar. Die Qualität der Videos wird dadurch gemindert, dass die Stimme des Sprechers monoton und nicht natürlich klingt. Positiv zu nennen ist die Vielzahl der Aspekte, die das Angebot dieser Website

abdeckt. Aufgrund der nicht optimalen Gestaltung ist diese Onlineressource jedoch nur wenig motivierend für Lernende im schulischen Kontext und eher nicht geeignet, um Interesse zu wecken und den Einstieg in das Thema “Tree Thinking“ zu erleichtern.

12. Planet Schule

Bei „Planet Schule“ sind Videos mit dazu passendem, deutschsprachigem Unterrichtsmaterial für verschiedenste Schulfächer und Altersklassen kostenlos verfügbar, so auch zu evolutionsbiologischen Themen. Grundsätzlich handelt es sich um eine medial besonders vielfältige Online-Lehr-Lern-Ressource, die allerdings bezüglich Qualität, Gestaltung und Aktualität sehr uneinheitlich ist: Der Grund hierfür dürfte sein, dass die online verfügbaren Unterrichtsmaterialien zu ganz unterschiedlichen Zeitpunkten entstanden sind und zu unterschiedlichen Lehrfilmen gehörten. Daher variiert auch die Aktualität und insofern auch die fachliche und fachdidaktische Qualität der Lehr-Lernmaterialien. Positiv anzumerken ist, dass auch analoge Lernmaterialien verfügbar sind, die ausgedruckt werden können. Hierbei handelt es sich vorwiegend um Arbeitsblätter, als Begleitmaterialien zu online verfügbaren Lehrfilmen. Beispielsweise handelt es sich bei Arbeitsblatt 5 („Tierische Flugpioniere“) um Lernmaterial solider Qualität, das evolutionsbiologische Inhalte und “Tree Thinking“ gut verbindet, allerdings ist das, bei dieser Übung verwendete Stammbaumformat nicht optimal für Lernende (diagonales Format). Insgesamt zeigen sich bei dem, auf „Planet Schule“ vorhandenen, Unterrichtsmaterial zum Thema Evolution mehrfach Defizite in der Vermittlung des “Tree Thinking“, die durchaus als typisch für Online-Lehr-Lern-Ressourcen im deutschsprachigen Raum bezeichnet werden können (vgl. auch Kap. 6). So ist zum Beispiel bei „Planet Schule“ im Themenbereich Evolution des Menschen ein interaktives Diagramm vorhanden. Es ist sehr informativ und ansprechend gestaltet, allerdings handelt es sich nicht um ein phylogenetisches Stammbaumdiagramm im eigentlichen Sinn. Ebenso wird bei dem, an sich sehr guten, Lehrvideo zum Thema Evolution des Menschen kein phylogenetisches Stammbaumdiagramm gezeigt, sondern lediglich eine naturalistische Stammbaumdarstellung.

13 ELLS/ EMBL

Das Forschungsinstitut European Learning Laboratory for the Life Sciences stellt, über eine eigene Website, Unterrichtsmaterialien guter Qualität zum “Tree Thinking“ für die Sekundarstufe 2 zur Verfügung. Die Originalsprache dieser Materialien ist Englisch, sie sind zum Teil jedoch in unterschiedlichen Sprachen verfügbar. In der deutschen Übersetzung sind einige Rechtschreibfehler vorhanden, aber der Text ist durchwegs relativ gut formuliert.

Grundsätzlich stellt diese Onlineresource eine gute Mischung aus Infotext und Aktivität dar und verbindet die Themenbereiche Genetik und Evolution. Das analog durchführbare, kartenbasierte Spiel zum Erstellen von Stammbäumen (TreeTOPS) ist besonders wertvoll, weil mit einfachen Mitteln gearbeitet werden kann und eine Anbindung an die Methoden der modernen, phylogenetischen Forschung (sowohl klassische, als auch molekulare, phylogenetische Methoden) vorhanden ist. Im Info-Teil wird unter anderem auch erklärt, wie man phylogenetische Stammbaumdiagramme korrekt liest, unter Verwendung des für Lernende optimal geeigneten Stammbaumformates (rechteckig).

14. Science in School – Bioinformatik mit Stift und Papier

Das auf dieser Website zur Verfügung gestellte Unterrichtsmaterial zum “Tree Thinking“ wurde bereits in den Jahren 2010/2011 angefertigt, ist jedoch sowohl fachlich als auch fachdidaktisch von hoher Qualität. Zudem ist ein Link zum Forschungsinstitut EMBL/ELLS vorhanden, wodurch zusätzlich weitere Onlineresourcen zum “Tree Thinking“ zur Verfügung stehen (s.o., Nr. 13). Die Originalsprache des Unterrichtsmaterials ist Englisch: Die deutschsprachige Version weist kleine, sprachliche Fehler auf und ist weniger gut formuliert als die Originalversion. Insgesamt handelt es sich um eine gelungene Mischung aus Infotext und Arbeitsauftrag für die Lernenden, in Form einer Übung zum Erstellen von Stammbäumen (Schwerpunkt Hominidenevolution), die mit einfachen Mitteln durchgeführt werden kann. Positiv hervorzuheben ist auch die Anbindung des Unterrichtsmaterials an die Methoden der phylogenetischen Forschung sowie die thematische Verbindung von Genetik und Evolutionsbiologie. Zudem ist das Material auch analog verfügbar (= Pdf zum Ausdrucken). Etwas problematisch ist allerdings, meiner Ansicht nach, bei diesem Unterrichtsmaterial der sprachwissenschaftliche Vergleich und die Verwendung einer naturalistischen Stammbaumdarstellung.

15. Lehrerfortbildung BW: Rahmenthema – Evolution & Stammbäume

Auf dieser Website (Lehrerfortbildung Baden-Württemberg, Deutschland) ist eine umfangreiche Sammlung von Unterrichtsmaterialien älteren Datums zum Thema Evolution und phylogenetische Stammbäume verfügbar: Zielgruppe ist die Sekundarstufe 2. Die Materialien sind zwar nicht aktuell, aber dennoch fachlich und fachdidaktisch von sehr guter Qualität: Die Unterrichtsmaterialien sind kompetenzorientiert gestaltet und bieten eine gute Kombination von theoretischem Input in kompakter Form und Arbeitsaufträgen für die Lernenden (forschend-entdeckendes Lernen; “Tree Building“ – Erstellen von phylogenetischen

Stammbaumdiagrammen). Besonders hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang die Laborarbeit mit fossilen Schnecken. Negativ anzumerken ist, dass in den Unterrichtsmaterialien durchwegs phylogenetische Stammbäume in dem, für Lernende nicht optimal geeigneten, diagonalen Format verwendet wurden. Positiv anzumerken ist allerdings im Hinblick auf die Eignung für Lernende, dass die Größe der betreffenden Stammbaumdiagramme überschaubar ist (wenige Taxa).

16. Lifescience Learningcenter UZH (CH): Video – „Was ist ein Stammbaum?“

Hierbei handelt es sich um, soweit mir bekannt ist, das einzige deutschsprachige Video zum Thema „Tree Thinking“, das für jüngere Lernende (Sekundarstufe 1) erstellt worden ist: Einfache phylogenetische Stammbaumdiagramme werden in diesem kurzen Lehrfilm geschickt mit dem evolutionsbiologischen Kontext verbunden, wobei auch häufige Probleme bei der Interpretation von Stammbaumdiagrammen kurz thematisiert werden. Aufgrund der ansprechenden, animierten Gestaltung, der einfachen Sprache und inhaltlichen Klarheit dürfte dieses Video nicht nur gut verständlich, sondern auch motivierend für die Lernenden sein. Negativ anzumerken ist, dass in dem Video vorwiegend das diagonale Stammbaumformat, das für Lernende nicht optimal geeignet ist, verwendet wurde. Online sind keine Begleitmaterialien vorhanden, allerdings wird auf der Website auf analoge Lernmaterialien zum Thema Evolution verwiesen: Hierbei handelt es sich um sogenannte „ForschKisten“ mit Unterrichtsmaterialien, die von interessierten Lehrpersonen für den Unterricht ausgeliehen werden können.

17. Lessons at Home – „Zurück zu den Wurzeln, Kladogramm Wirbeltiere“

Dieses Video stammt aus dem Jahre 2023 und gehört zur, nicht kommerziellen, Lehrfilmreihe „Biologie & Chemie...einfach erklärt“, in der ein Biologie- und Chemielehrer unterschiedliche Themen aus diesen beiden Unterrichtsfächern erläutert. Das Lehrvideo „Zurück zu den Wurzeln, Kladogramm Wirbeltiere“ wirkt wie eine Nachhilfeeinheit zum Thema „Kladogramm erstellen“: Zielgruppe ist die Sekundarstufe 2. Es ist kein Begleitmaterial vorhanden. In diesem Fall wird ausschließlich das rechteckige Diagrammformat verwendet. Insgesamt ist das Video anschaulich und lehrreich. Allerdings ist es wenig motivierend gestaltet und weist einige Mängel auf, vor allem bezüglich der teilweise ungenauen Ausdrucksweise, die bei den Lernenden Fehlvorstellungen fördern könnte (Beispiele: „*Wenn Taxa näher beieinander sind, sind sie enger verwandt (...)*“; neu auftretende, apomorphe Merkmale werden als „Erfindungen“ bezeichnet).

18. Wikipedia: Phylogenetische(r) Stammbaum/ Systematik & Kladogramm

Da dieses Online-Lexikon im schulischen Kontext erfahrungsgemäß eine wichtige Rolle spielt, sollte es auch bei der Zusammenstellung von Ressourcen zum “Tree Thinking“ unbedingt berücksichtigt werden: Denn häufig beginnen Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe eine selbstständige Recherche (z. B. im Zuge eines Arbeitsauftrags im Unterricht) bei Wikipedia. Die Wikipedia-Seite zum Suchbegriff „phylogenetische Systematik“ dürfte aus fachlicher Sicht zumindest solide Qualität aufweisen, z. B. auch im Hinblick auf die verwendeten Stammbaumdiagramme: Um die Prinzipien der Kladistik zu erklären, werden auf der Wikipedia-Seite zum Stichwort „Kladogramm“ vorwiegend Diagramme im rechteckigen, für Lernende am besten geeigneten, Format verwendet. Positiv hervorzuheben ist auch, dass es eine Abbildung gibt, bei der explizit darauf hingewiesen wird, dass sich Stammbaumdiagramme im diagonalen und rechteckigen Format bezüglich ihrer Aussage vollständig entsprechen. Die englischsprachige Originalversion (s.o., Nr. 9) und die deutschsprachige Version stimmen bis auf wenige Details komplett überein.

19. Biokolleg

„Biokolleg“ ist der, nicht kommerzielle, You-Tube-Kanal eines deutschen Gymnasiallehrers (Thomas J. Golnik vom Bayernkolleg Schweinfurt): Die Zielgruppe des Angebots an kurzen Lehrfilmen mit Begleitmaterial (Arbeitsblätter mit Lösungsvorschlägen; beides als Pdf verfügbar) ist die Sekundarstufe 2. Der Themenbereich „Stammbaum und Kladogramm“ wird von drei Kurzvideos abgedeckt; für das Thema Erlernen des “Tree Reading“ ist vor allem Teil 1, „Verwandtschaft richtig verstehen“, relevant: Das betreffende Video ist informativ, fachlich korrekt, einfach erklärt und anschaulich gestaltet, teilweise mithilfe von Animationen. Positiv anzumerken sind auch die sprachliche Klarheit und präzise Terminologie. Zudem werden hier ausschließlich phylogenetische Stammbäume im rechteckigen, für Lernende am besten geeigneten, Format verwendet. Das Video stammt aus dem Jahre 2025, ist also sehr aktuell. Es ist gut geeignet, wenn man kompakte Informationen zum “Tree Thinking“ sucht. Es eignet sich jedoch eher weniger dafür, Lernende für das Thema zu begeistern, zumal kein Bezug zur Lebenswelt vorhanden ist.

20. Die Merkhilfe

„Die Merkhilfe“ ist ein deutschsprachiger You-Tube-Kanal, der Lernvideos für unterschiedliche Schulfächer anbietet. Es ist kein Begleitmaterial (z. B. Arbeitsblätter) vorhanden, lediglich Links zu, über Amazon verfügbaren, Büchern: Daher ist anzunehmen,

dass es sich um eine, kommerziell orientierte, Online-Lehr-Lernressource handelt. Die Zielgruppe der „Merkhilfe“-Videos ist vorwiegend die Sekundarstufe 2. Das Angebot für das Unterrichtsfach Biologie ist umfangreich, zum Thema Evolution gibt es eine eigene Reihe von Kurzvideos: Das für das Thema “Tree Thinking“ relevante Video, „Stammbäume erstellen & verstehen – Prinzipien der Stammbaumentwicklung“ (Evolution 22), wurde bereits im Jahr 2015 hochgeladen, ist also nicht aktuell. Es bietet kompakte Informationen und erinnert an eine kurze Unterrichtseinheit zur Prüfungsvorbereitung. Da das Video allerdings keineswegs, weder in fachlicher noch in fachdidaktischer Hinsicht, optimal gestaltet und zudem nicht aktuell ist, ist es für Lernende nicht empfehlenswert (z. B. kleinere Ungenauigkeiten bezüglich der Terminologie; Verwendung des für Lernenden nicht vorteilhaften, diagonalen Formates für das einzige, hier verwendete Kladogramm; als Quelle wird Wikipedia Commons genannt).

6 Diskussion

Der Erwerb von “Tree Thinking“- Kompetenzen kann entscheidend zum Verständnis wichtiger Grundkonzepte der Evolutionstheorie beitragen und somit die Basis für eine fundierte, biologische und naturwissenschaftliche Grundbildung, legen (vgl. Kap. 2). Bisher wurde dieses Potenzial im Biologieunterricht des deutschsprachigen Raumes jedoch nur wenig genutzt: Anhand der Analyse österreichischer Schulbücher konnte beispielsweise Lisa Leopold (2020) zeigen, dass Kladogramme und phylogenetische Stammbaumdiagramme in Biologielehrbüchern für die Sekundarstufe nur sporadisch, in sehr unterschiedlicher Qualität, und fast ausschließlich erst in der Sekundarstufe 2 vorkommen. Aufgrund der, kontinuierlich zunehmenden, Bedeutung digitaler Informationsquellen in der heutigen Zeit ist daher eine „Bestandsaufnahme“ und Bewertung, aktuell verfügbarer, Online-Lehr-Lern-Ressourcen zum Thema “Tree Thinking“, inklusive einer vergleichenden Betrachtung im internationalen Kontext, von besonderem Interesse (vgl. Kap. 3 bis 5): Denn Online-Lehr-Lern-Ressourcen spielen nicht nur im Kontext der informellen und der non-formalen Bildung (z. B. Erwachsenenbildung, „lebenslanges Lernen“, außerschulisches Lernen, „Edutainment“ für verschiedene Zielgruppen), sondern auch im Bereich der formalen Bildung (Schule, Universität) eine wichtige Rolle.

Hinsichtlich des Angebots an Online-Lehr-Lern-Ressourcen zum Thema “Tree Thinking“ sind deutliche Unterschiede zwischen dem englischen und dem deutschen Sprachraum erkennbar.

Dies zeigte sich bereits im Zuge der vorbereitenden Internetrecherche (vgl. Kap. 4.1): Im englischsprachigen Raum sind aktuell eine beträchtliche Anzahl digitaler Lehr-Lern-Ressourcen zur Förderung des “Tree Thinking“ vorhanden und unter dem Suchbegriff “Tree Thinking“ auch leicht auffindbar. Im Gegensatz dazu sind im deutschsprachigen Raum derzeit nur vereinzelt digitale Ressourcen zu diesem Thema verfügbar. Zudem konnten, allein mithilfe des Suchbegriffs “Tree Thinking“, kaum deutschsprachige Online-Lehr-Lernressourcen zu diesem Thema gefunden werden. Es zeigte sich, dass deutschsprachige Materialien zum Thema “Tree Thinking“ derzeit weit verstreut, vorwiegend innerhalb größerer Sammlungen von thematisch diversen Online-Lehr-Lernressourcen vorhanden sind. Daher sind Onlineressourcen zum Thema “Tree Thinking“ in deutscher Sprache aktuell lediglich mithilfe gezielter Suche auffindbar, unter Verwendung verschiedener synonyme Begriffe (z.B. „phylogenetische Stammbäume/ Kladogramme lesen/ verstehen/ interpretieren/ erstellen“; vgl. Kap. 4.1). Allerdings hat sich, in den letzten Jahren, die fachdidaktische Forschung auch im deutschsprachigen Raum vermehrt mit dem Thema “Tree Thinking“ befasst. Neben bereits publizierten Studien (vgl. z. B. Schramm & Schmiemann 2019, Schramm et al. 2019, Schramm & Schmiemann 2021, Gembala 2024a) soll hier insbesondere auf das derzeit laufende Promotionsprojekt von Steven Tyrrell an der Universität Duisburg/ Essen verwiesen werden: *„Tree-Thinking in Schulen und Universitäten – Tree-Thinking-Fertigkeiten bei Novizen entwickeln und Lernwerkzeuge implementieren“* (https://www.uni-due.de/berll/projekt_tyrrell.php; abgerufen am 23.07.2025). Von besonderem Interesse ist in diesem Zusammenhang auch ein aktuell an der Universität Jena laufendes, Projekt zur Wissenschaftsvermittlung evolutionsbiologischer Inhalte mithilfe des “Tree Thinking“: Im Rahmen dieses von der Carl-Zeiss-Stiftung geförderten Projektes soll eine zeitgemäße Neugestaltung der Dauerausstellung des Phyletischen Museums in Jena erfolgen, mit dem Ziel, das Verständnis und die Akzeptanz der Evolutionstheorie in der breiten Öffentlichkeit zu fördern und der Wissenschaftsskepsis entgegenzuwirken (<https://www.carl-zeiss-stiftung.de/uebersicht-projekte/detail/tree-thinking-evolution-verstehen>; abgerufen am 31.10.2025). Insofern sind gerade in den letzten Jahren verstärkt Bemühungen zur Förderung des “Tree Thinking“ in Deutschland erkennbar, die sich jedoch auf die Qualität der aktuell verfügbaren Onlineressourcen bisher noch nicht auswirken dürften.

Grundsätzlich werden die Unterschiede bezüglich des derzeit verfügbaren, Angebots digitaler Lehr-Lern-Ressourcen zur Förderung des “Tree Thinking“ noch deutlicher, wenn man die Ergebnisse der quantitativen Bewertung ausgewählter Beispiele aus dem englischen und

deutschen Sprachraum miteinander vergleicht: Bei den im Rahmen dieser Arbeit bewerteten Onlineressourcen (zu den Ergebnissen, vgl. Kap. 5.2; zum Bewertungsschema, vgl. Kap. 4.3) ist die durchschnittliche Punkteanzahl aller englischsprachigen Beispiele (Nr. 1-10) mit 92,2 Punkten deutlich höher als die durchschnittliche Punkteanzahl für die Gesamtheit der deutschsprachigen Beispiele (Nr. 11-20), die nur 85,9 Punkte beträgt. Zu einem ähnlichen Ergebnis führt auch ein Vergleich nur jener Onlineressourcen mit explizitem Themenschwerpunkt “Tree Thinking“ oder Evolutionsbiologie: Auch hier liegt die durchschnittliche Punkteanzahl der englischsprachigen Onlineressourcen mit zentralem Thema “Tree Thinking“ oder Evolutionsbiologie (AK 1 = ja; Nr. 1-8 & 10, d.h. 9 von 10 Beispielen) mit 95,4 Punkten höher als die durchschnittliche Punkteanzahl für deutschsprachige Onlineressourcen mit zentralem Thema “Tree Thinking“ oder Evolutionsbiologie (AK 1 = ja; Nr. 11, 13, 16, 17 & 19, d.h. 5 von 10 Beispielen), die nur 91,4 Punkte beträgt. Der Unterschied ist allerdings geringer als beim Vergleich aller Ressourcen (s.o.). Hierbei zeigt sich auch, dass es im englischsprachigen Raum mehr Onlineressourcen gibt, bei denen der Fokus explizit auf dem Themenkomplex “Tree Thinking“ und Evolution liegt, als im deutschsprachigen Raum.

Bei den englischsprachigen Ressourcen betrug die höchste erreichte Punktezahl 126 Punkte (Nr. 1 – The Tree Room), die zweithöchste 119 Punkte (Nr. 2 – PBS/ Nova Evolution Lab) und die niedrigste 63 Punkte (Nr. 9 - Wikipedia). Bei den deutschsprachigen Ressourcen war die höchste erreichte Punktezahl 108 Punkte (Nr. 16 – Lifescience Learningcenter, Universität Zürich, Schweiz), die zweithöchste 104 Punkte (Nr. 15 – Lehrerfortbildung Baden-Württemberg, Deutschland) und die niedrigste 59 Punkte (Nr. 20 – Die Merkhilfe). Demnach stammen die zwei Ressourcen mit der insgesamt höchsten Punktezahl (Nr. 1 – The Tree Room und Nr. 2 – PBS/ Nova Evolution Lab) beide aus dem englischsprachigen Raum: Es handelt sich in beiden Fällen um umfangreiche sowie informativ, motivierend und multimedial gestaltete Websites aus den U.S.A. Im deutschsprachigen Raum fehlen bisher Online-Lehr-Lern-Ressourcen vergleichbarer Qualität, sowohl in fachlicher als auch in fachdidaktischer Hinsicht. Aktuell dürfte es im deutschsprachigen Raum keine Online-Ressource geben, die sich derart ausführlich, fundiert und multimedial mit phylogenetischen Stammbäumen sowie dem entsprechenden, evolutionsbiologischen Kontext befasst wie die hier mit hohen Punktzahlen bewerteten, Websites aus dem englischsprachigen Raum. Auffallend ist, dass einige der deutschsprachigen Onlineressourcen zum Thema “Tree Thinking“ zwar fachlich korrekt sind, jedoch Mängel in der Gestaltung aufweisen: Sie sind daher weniger geeignet, Lernende im schulischen Kontext für den Themenbereich Evolution

zu interessieren. Ein charakteristisches Beispiel diesbezüglich ist die Website „Internet Evoluzzer“ (Nr. 11; vgl. Kap. 5.2) der deutschen Arbeitsgemeinschaft Evolutionsbiologie: Die Texte auf dieser Website sind zwar informativ, aber schwer lesbar; auch die hier verfügbaren Lehrvideos weisen Mängel in der Gestaltung auf und sind daher für Lernende nicht motivierend.

Die Erstellung von qualitativ hochwertigen, multimedial gestalteten Online-Lehr-Lernressourcen zum Themenbereich Evolution dürfte in Zusammenhang mit einer im Vergleich beispielsweise zu europäischen Ländern geringen Akzeptanz der Evolutionstheorie in den U.S.A. stehen (vgl. z. B. Ranney 2012). Dies gilt in besonderem Maße für jene Bundesstaaten der U.S.A., in denen ein hoher Anteil der Bevölkerung evangelikalen Kirchengemeinden angehört, der Kreationismus weit verbreitet ist und es Einschränkungen bezüglich der Behandlung der Evolutionstheorie im Biologieunterricht gibt. Zusätzlich könnten „pseudowissenschaftliche“ Websites, beispielsweise jene des Institute of Creation Research in Dallas (Texas, U.S.A.), die man übrigens bei einer Google-Recherche mit dem Suchbegriff „Tree Thinking“ ebenfalls angeboten bekommt, zur vergleichsweise geringen Akzeptanz des „Tree Thinking“ in Teilen der amerikanischen Bevölkerung beitragen („The Myth of Tree Thinking“ – Institute of Creation Research: <https://www.icr.org/article/myth-tree-thinking/>; abgerufen am 23.07.2025). Eine unmittelbare Folge der geringen Akzeptanz der Evolutionstheorie in den U.S.A. ist das Bestreben wissenschaftlicher Institutionen, dem Mangel an fundiertem Wissen zur Evolutionstheorie gezielt entgegenzuwirken und u.a. geeignete Online-Lehr-Lernressourcen zu diesem Themenbereich für unterschiedlichste Zielgruppen bereitzustellen. Das anschaulichste Beispiel hierfür ist die umfangreiche Website „Understanding Evolution“, die vom Museum of Palaeontology der Universität Berkeley (Kalifornien, U.S.A.) betrieben wird. „The Tree Room“ (Nr. 1), jene Onlinereource, die nach dem hier verwendeten Bewertungsschema (vgl. Kap. 4.3) die insgesamt höchste Punktezah erreicht (vgl. Kap. 5.2), stellt einen Teilbereich von „Understanding Evolution“ dar. „The Tree Room“ vermittelt, in kompakter und motivierender Form, Basiswissen zur Interpretation phylogenetischer Stammbaumdiagramme, im Kontext evolutionsbiologischer Grundlagen. Die zentrale Zielsetzung von „Understanding Evolution“ ist die Aus- und Fortbildung sowie insbesondere die Unterstützung von Lehrpersonen bei der Gestaltung von Unterricht (von der Primarstufe, über die Sekundarstufe bis zum biologischen Grundstudium), zum Themenbereich Evolution. Bereits Thanukos & Scotchmoor (2012) berichteten von einer äußerst positiven Bewertung der „Understanding Evolution“ Website durch Lehrpersonen. Sowohl durch

Befragungen als auch durch Interventionsstudien, so Thanukos & Scotchmoor (2012), sei belegt, dass die bei “Understanding Evolution“ verfügbaren Lehr-Lern-Ressourcen den Unterricht zum Thema Evolution bereichern. Die Lehrenden berichteten, dass sie durch “Understanding Evolution“ zum Einsatz interaktiver Lehrmethoden, insbesondere des „forschenden Lernens“, angeregt wurden: *„Summative evaluations concluded that teachers regard the site as a useful resource for improving their evolution teaching. These teachers reported that the site improved their attitudes toward teaching evolution and even changed how they taught, encouraging them to use more interactive, inquiry-based methods. And both self-reporting and pre/posttests indicate that use of site materials improves teachers’ and students’ understanding of evolutionary concepts”* (Thanukos & Scotchmoor 2012, 416). Bei “Understanding Evolution“, einschließlich der Subeinheit “The Tree Room“, handelt es sich um eine medial vielfältige Online-Lehr-Lern-Ressource, die sowohl inhaltlich als auch hinsichtlich der Gestaltung von hervorragender Qualität ist, wie anschließend eingehend diskutiert werden soll (s.u.). “Understanding Evolution“ bietet zahlreiche Lehr-Lernangebote für unterschiedlichste Zielgruppen – allgemein Interessierte, Lehrende (in Schulen, Universitäten, Museen und Zoos) sowie Lernende unterschiedlichster Altersstufen. Die Website wird zudem kontinuierlich aktualisiert, erweitert und ist auch mit anderen, englischsprachigen Onlinere Ressourcen zum Thema Evolution und “Tree Thinking“ (z. B. mit den ebenfalls empfehlenswerten, multimedialen Onlinere Ressourcen Nr. 2 und 3) verlinkt.

Es ist bemerkenswert, dass bei den im Rahmen dieser Arbeit bewerteten Ressourcen aus dem deutschsprachigen Raum zwei „Online-Anbieter“ von Unterrichtsmaterial zum “Tree Thinking“ die höchste Punktezahl erreichen konnten. Bei den betreffenden Beispielen (Nr. 16 – Lifescience Learningcenter, Universität Zürich, Schweiz und Nr. 15 – Lehrerfortbildung Baden-Württemberg, Deutschland; vgl. Kap. 5.2), die sowohl fachlich als auch fachdidaktisch von guter Qualität und daher empfehlenswert sind, wird das Thema Evolution im Rahmen von größeren Unterrichtsmaterialsammlungen behandelt. Diese Beobachtung könnte darauf hinweisen, dass das Thema “Tree Thinking“ im deutschsprachigen Raum derzeit lediglich im schulischen Kontext eine Rolle spielt und dass das Potenzial informativer deutschsprachiger Onlinere Ressourcen noch immer viel zu wenig genutzt wird. Zusammenfassend ist festzuhalten, dass derzeit auch in deutscher Sprache bereits einzelne Materialien guter Qualität zum Thema “Tree Thinking“, die für Lernende der Sekundarstufe geeignet sind, zur Verfügung stehen. Dennoch liegt das Angebot deutschsprachiger Onlinere Ressourcen zum Thema “Tree Thinking“,

wie die Ergebnisse in Kap. 5.2 zeigen, deutlich hinter jenem im englischsprachigen Raum zurück und kann, bezüglich Qualität und Vielfalt, keineswegs als adäquat bezeichnet werden.

Im Folgenden soll – unter Berücksichtigung des aktuellen Forschungsstandes zur biologischen Fachdidaktik – diskutiert werden, welche Online-Lehr-Lern-Ressourcen zum “Tree Thinking“ derzeit zur Verfügung stehen und wie diese im Biologieunterricht des deutschsprachigen Raumes optimal eingesetzt werden können. Grundsätzlich ist derzeit anzuraten, auch im deutschsprachigen Raum auf englischsprachige Onlinere Ressourcen zum “Tree Thinking“ zurückzugreifen, wo immer dies möglich ist, beispielsweise für die Aus- und Fortbildung von Lehrpersonen mit Unterrichtsfach Biologie sowie von Museumspersonal in Naturkundemuseen, im Biologieunterricht an internationalen oder bilingualen Schulen und gegebenenfalls auch im Rahmen des fächerübergreifenden Projektunterrichts in der Sekundarstufe. Besonders empfehlenswert ist in diesem Zusammenhang die multimediale Onlinere Ressource “The Tree Room“ (Nr. 1), die über ein umfassendes Angebot für unterschiedlichste Zielgruppen verfügt. Wenn es allerdings aus sprachlichen Gründen keinesfalls möglich ist, englischsprachige Onlinere Ressourcen für den Biologieunterricht zu verwenden, ist anzuraten, dennoch möglichst viele Anregungen für den deutschsprachigen Unterricht zu übernehmen: Ausgewählte Informationen, Hinweise und Unterrichtsmaterialien sollten, soweit möglich, auch für den Unterricht im deutschsprachigen Raum verwendet werden, gegebenenfalls in adaptierter Form. Einige Überlegungen dazu werden weiter unten präsentiert. Im Idealfall ist jedoch, zumindest in der Sekundarstufe 2, an manchen Schulen fallweise auch englischsprachiger oder bilingualer Biologieunterricht möglich, so dass auch einzelne, englischsprachige Ressourcen verwendet werden können. Zudem wäre die Übersetzung von ausgewählten Unterrichtsmaterialien zum “Tree Thinking“ ins Deutsche wünschenswert. Hier würde sich eine Kooperation mit der Website der Universität Berkeley (U.S.A.) – “The Tree Room“ (Nr. 1; s. o.) – anbieten, da einige Teilbereiche und einzelne Unterrichtsmaterialien dieser Onlinere Ressource bereits in andere Fremdsprachen übersetzt worden sind (z. B. Spanisch, Türkisch). Auch die Erarbeitung von neuen deutschsprachigen Materialien zur Förderung des “Tree Thinking“ könnte sinnvoll sein, erste Überlegungen hierzu sollen in Kap. 7 präsentiert werden. Insbesondere für die Sekundarstufe 1 besteht noch großer Bedarf an deutschsprachigen Onlinere Ressourcen, da für diese Zielgruppe bisher nur einzelne Ressourcen zur Förderung des “Tree Thinking“ verfügbar sind, obwohl es aus fachdidaktischer Sicht sinnvoll wäre, phylogenetische Stammbaumdigramme im evolutionsbiologischen Kontext bereits so früh wie möglich im Biologieunterricht der Sekundarstufe einzuführen (vgl.

z. B. Russell & Mc Guigan 2019; Graf 2024). Anschließend an eine Erarbeitung der Grundlagen des “Tree Thinking“ bereits zu Beginn des Biologieunterrichts in der Sekundarstufe 1 wäre es sinnvoll, phylogenetische Stammbäume – zunächst in einfacher Form mit wenigen Taxa und im, für Lernende am besten geeigneten, „rechteckigen“ Format – bei möglichst vielen Gelegenheiten in den Unterricht einzubauen, z. B. bei der Besprechung unterschiedlicher taxonomischer Gruppen: Einige Vorschläge diesbezüglich finden sich zum Beispiel auch bei den Hinweisen für Lehrende auf “The Tree Room“ (<https://evolution.berkeley.edu/teach-resources/two-and-ten-minute-trees/>; abgerufen am 29.10.2025).

Die umfangreiche Online-Unterrichtsmaterialiensammlung von “The Tree Room“ (Nr. 1; vgl. Kap. 5.2) enthält mehrere Ressourcen, die für die Sekundarstufe 1 konzipiert worden sind. Besonders hervorheben möchte ich zwei Beispiele die, meiner Ansicht nach, sowohl in fachlicher als auch in fachdidaktischer Hinsicht, empfehlenswert sind. Bei dem ersten Beispiel handelt es sich um online verfügbares, jedoch analog verwendbares (in ausgedruckter Form; als pdf verfügbar) Unterrichtsmaterial in Form eines Comics: Es wird eine durchgehende Geschichte aus dem Alltag von Forschenden im Bereich der Lebenswissenschaften erzählt, in der die Lernenden selbst zu Forschenden werden sollen, indem sie eine Reihe von Aufgaben zu phylogenetischen Stammbäumen lösen (<https://evolution.berkeley.edu/teach-resources/plant-on-a-rampage/>; abgerufen am 29.10.2025). Die Aufgaben werden durch ein gemeinsames Lösungswort verbunden und alle Lösungen sind verfügbar, so dass die Lernenden selber kontrollieren können, ob sie die Aufgaben korrekt gelöst haben. Bemerkenswert ist zudem, dass dieses Unterrichtsmaterial auf Beispielen aus dem Pflanzenreich fokussiert. Außerdem ist auf “The Tree Room“ auch bereits eine Version dieser Ressource in spanischer Sprache verfügbar. Das zweite Beispiel ist ein interaktives Online-Lernspiel, das am Beispiel des phylogenetischen Stammbaums rezenter und fossiler Wirbeltiere in das Thema “Tree Thinking“ einführt (<https://evolution.berkeley.edu/teach-resources/what-did-t-rex-taste-like/>; abgerufen am 29.10.2025). Beide Beispiele fördern eine aktive Auseinandersetzung der Lernenden mit dem Themenbereich Kladistik und phylogenetische Stammbäume; beide enthalten Ressourcen für mehrere Unterrichtsstunden, und ermöglichen eine Anpassung des Arbeitstempos sowie der Sozialform (Einzel-, Partner- oder Gruppenarbeit) an die Bedürfnisse der Lernenden. Zudem eignen sich beide Lernspiele gut, um die Lernenden für die Themenbereiche “Tree Thinking“ und Evolution zu begeistern und sie zu einer wiederholten Auseinandersetzung mit diesen Themen zu motivieren: Entsprechend der „Person-Gegenstands-Theorie des Interesses“ (vgl.

z.B. Vogt 2007) kann aus situationalem Interesse, im Idealfall, nach wiederholter positiv besetzter Beschäftigung mit dem Thema “Tree Thinking“ individuelles Interesse werden.

Grundsätzlich sind digitale Ressourcen zur Förderung von Lernprozessen hervorragend geeignet (vgl. z. B. Mayer & Moreno 2002). Nach Pflügersdorffer (2020) ist die Effektivität des Lernens im Biologieunterricht mithilfe digitaler Medien umso größer, je stärker die Lernenden aktiv einbezogen werden. Die Voraussetzung für effektives Lernen ist demnach eine konstruktivistische und situierte Lernumgebung. Der Biologieunterricht mithilfe digitaler Medien sollte möglichst „schülerzentriert“ gestaltet werden. Es ist von Vorteil, wenn die Lernenden aktiv sind und sowohl miteinander (z. B. Gruppenarbeiten), als auch mit den Onlinere Ressourcen (z. B. Beantwortung von Quizfragen mit unmittelbaren Rückmeldungen) interagieren. In diesem Zusammenhang sind sowohl der Einsatz des forschend-entdeckenden Lernens (“*inquiry-based learning*“), als auch die Verwendung von Lernspielen (“*game based learning*“), Animationen und Modellen von besonderer Bedeutung. Meisel (2010) plädiert dafür, Lernende mithilfe der Methode des „forschenden Lernens“ an die Interpretation phylogenetischer Stammbaumdiagramme heranzuführen: *„Tree-thinking should be introduced to students using an inquiry-based approach, allowing students to confront their preconceptions through experimentation. Throughout these lessons, relevant NOS concepts should be explicitly discussed to improve students’ understanding of the scientific process. Once students develop a basic grasp of tree-thinking, the required material in a course should be presented within a phylogenetic context to reinforce their tree-thinking skills. Finally, exceptions to the traditional bifurcating trees can be presented to the students once they understand the expectations of vertical transmission”* (Meisel 2010, 627).

Die in dieser Arbeit vorgestellten und bewerteten (vgl. Kap. 4.3 und 5.2) digitalen Lehr-Lernressourcen zum “Tree Thinking“, insbesondere die an U.S.-amerikanische Forschungsinstitutionen und Stiftungen angebotenen multimedialen Ressourcen, sind durch innovative Methoden und Ansätze gekennzeichnet. Letztere sollen hier anhand von Beispielen diskutiert werden, auch im Hinblick auf die Konzipierung neuer Onlinere Ressourcen zum “Tree Thinking“ für den deutschsprachigen Raum (vgl. hierzu Kap. 7). In vielen Fällen eignen sich unterschiedliche Ansätze, um ein bestimmtes Lernziel zu erreichen: Beispielsweise eignen sich zur Förderung der Kompetenz, phylogenetische Stammbäume korrekt zu interpretieren (“Tree Reading“), sowohl Lernspiele (digital und analog) und Animationen, als auch Modelle. Meiner Ansicht nach ist es sinnvoll, wenn Websites, zusätzlich zu digitalen Ressourcen, auch „analog“

verwendbares Unterrichtsmaterial anbieten, bei dem mit ausdrucksblättern und/oder einfachen Mitteln gearbeitet werden kann. In diesem Zusammenhang spielen auch analoge, dreidimensionale Modelle phylogenetischer Stammbäume eine besondere Rolle, beispielsweise das von Halverson (2010) entwickelte Stammbaummodell aus farbigem Pfeifendraht, dessen aktive Erstellung durch Lernende das Verständnis dieses Diagrammtyps fördern soll: *„I created a manipulative model that pushes students to explore phylogenetic trees and think more deeply about evolutionary relationships. This simple, inexpensive pipe-cleaner model gives students a 3D experience of what is typically represented in two dimensions. Students manipulate the tree to rotate branches, compare topologies, map complete lineages, identify informative phylogenetic features, and examine the effects of superficial structural changes”* (Halverson 2010, 223).

Die Anregung zur Erstellung von Stammbaummodellen aus Pfeifendraht findet sich auch in der Unterrichtsmaterialsammlung von “The Tree Room“; Nr. 1; vgl. Kap. 5.2 und 4.3; (<https://evolution.berkeley.edu/teach-resources/using-pipe-cleaners-to-bring-the-tree-of-life-to-life/>; abgerufen am 29.10.2025) und wird ab der Sekundarstufe 1 zur Verwendung im Biologieunterricht empfohlen. Zudem kann auch ein einfaches Mobile als analoges „Stammbaum-Modell“ verwendet werden und somit zum Erlernen des “Tree Reading“ im Kontext des schulischen Biologieunterrichts in der Sekundarstufe 1 beitragen. Dieser Modelltyp findet sich ebenfalls in der Unterrichtsmaterialsammlung von “The Tree Room“: Als abschließende Aktivität eines ausdrucksblättern Unterrichtsheftes zum “Tree Thinking“ (in Comicform mit Aufgaben) für die Sekundarstufe 1 (<https://evolution.berkeley.edu/teach-resources/plant-on-a-rampage/>; abgerufen am 29.10.2025) findet sich die Bastelanleitung für ein „Stammbaum-Mobile“. Auch in dem empfehlenswerten Lehrvideo “How do you read Evolutionary Trees?” (Nr. 7; You Too Bio; <https://www.youtube.com/watch?v=Xd6Tc7tGOec>; abgerufen am 08.08.2025), das ebenfalls über “The Tree Room“ verfügbar ist, wird ein Mobile zum Erklären verwendet. Es handelt sich um ein einfaches Mobile mit Bildern, das rotiert und zudem alternativ zur Darstellung eines Familienstammbaums oder eines phylogenetischen Stammbaumes verwendet werden kann: Mithilfe der Analogie zwischen einem Familienstammbaum und einem phylogenetischen Stammbaum soll das Konzept der gemeinsamen Abstammung und des letzten gemeinsamen Vorfahren verdeutlicht werden.

Dies führt zu der Frage, mithilfe welcher Konzepte und Analogien sich das “Tree Thinking“ am besten fördern lässt. Zum Beispiel eignet sich zur Einführung des Grundprinzips einer hierarchischen Strukturierung phylogenetischer Stammbäume, so Meisel (2010), der Diagrammtyp „Kreis-in-Kreis-Diagramm“ (= Darstellung von Kladen in Form von konzentrischen Kreisen) besonders gut. Nach Meisel (2010) kann die in aktuellen Lehr-Lern-Ressourcen gebräuchliche (s.o.) Analogie zwischen einem Familienstammbaum und einem phylogenetischen Stammbaum durchaus hilfreich sein. Diese Analogie sollte, so Meisel (2010), allerdings differenziert und mit genauen Erklärungen eingesetzt werden. Ein guter Ansatz besteht nach Meisel (2010) auch darin, mithilfe einer Reihe von Diagrammen die Verbindung zwischen einzelnen Lebewesen, über individuelle Verwandtschaft, über die Art, zu taxonomischen Gruppen höherer Ordnung zu erläutern und somit eine Verbindung zwischen “Tree Thinking“ und “Population Thinking“ herzustellen: *„The relatedness of family members can also be used to demonstrate the flaw in ladderized thinking (...). This can be further illustrated by diagramming the relationships of famous families (...). This analogy could backfire if not carefully implemented, and instructors who use this type of example should stress that the process giving rise to family members (i.e., mating between two individuals) differs from that which gives rise to evolutionary relations (i.e., cladogenesis). To show how pedigrees are related to phylogenies, a series of diagrams can be used (...). Starting with a pedigree, an instructor can show how that pedigree fits within a genealogy of the entire population in which that family is found. The population genealogy can be shown to be part of a larger tree diagramming the relationships of all individuals in that species. Finally, one can zoom out further to show how the relatedness of individuals is extended to the evolutionary relationships of different species. This demonstration has the added bonus of linking tree-thinking and population thinking (...) into a coherent framework“* (Meisel 2010, 625).

Zudem können zur Förderung des “Tree Thinking“ insbesondere animierte, digitale Stammbaumdiagramme hilfreich sein: Letztere sind ein wichtiger Bestandteil der derzeit verfügbaren multimedialen Lehr-Lern-Ressourcen, die nach dem hier verwendeten Bewertungsschema eine besonders hohe Punktezahl erreichen konnten (s.o. und vgl. Kap. 5.2 und 4.3; insbesondere die Ressourcen Nr. 1 und 2). Nach Novick et al. (2014) kann die Verwendung von Animationen Lernende dabei unterstützen, die Fähigkeit zur korrekten Interpretation phylogenetischer Stammbaumdiagramme (“Tree Reading“) zu erwerben, beispielsweise, indem die korrekte Leserichtung vorgegeben wird: *„Another type of communication tool that can be effective in certain circumstances is animation (...). In general,*

animation is a representationally economical way of showing an item's location in a larger context. For evolutionary trees, the animation would also have the benefit of forcing viewers to scan the tree from the bottom to the branch tips, that is, in the direction of the implicit time arrow and thus along the appropriate evolutionary path leading to the taxon of interest" (Novick et al. 2014, 9).

Besonders gute Beispiele für animierte, phylogenetische Stammbäume finden sich bei "The Tree Room" (Nr. 1): Im Einführungskapitel ("Primer") werden mithilfe eines einfachen, animierten Stammbaumdiagramms im rechteckigen Format die Grundprinzipien des "Tree Thinking" veranschaulicht (<https://evolution.berkeley.edu/the-tree-room/evolutionary-trees-a-primer/>; abgerufen am 29.10.2025). In einem späteren Kapitel werden unterschiedliche Formate phylogenetischer Stammbäume vorgestellt ("Field Guide to reading evolutionary trees"): Mithilfe einer Animation, bei der unterschiedliche Stammbaumformate ineinander übergehen, wird auf einprägsame Art und Weise gezeigt, dass dieselben, evolutionären Verwandtschaftsbeziehungen mithilfe unterschiedliche Diagrammtypen dargestellt werden können (<https://evolution.berkeley.edu/the-tree-room/field-guide-to-evolutionary-trees/>; abgerufen am 29.10.2025).

Von besonderem Interesse ist in diesem Zusammenhang auch die Verwendung animierter Lernspiele zur Förderung des "Tree Thinking": Eddy et al. (2013) sind der Ansicht, dass Aktivitäten zum Erstellen von Stammbäumen durch die Lernenden ("Tree Building") den Erwerb der, als "Tree Thinking" bezeichneten, Kompetenzen deutlich mehr unterstützen als die Interpretation und Analyse phylogenetischer Stammbäume ("Tree Reading"). Der Einsatz innovativer, multimedialer Online-Lehr-Lern-Ressourcen ist in diesem Zusammenhang von besonderem Interesse. Matuk & Utal (2012) betonen die Bedeutung des Zusammenspiels von Eigenschaften des phylogenetischen Stammbaumdiagramms, der intuitiven Wahrnehmung der Lernenden und den dargestellten, evolutionsbiologischen Konzepten: „*Effective representations should capitalize on our intuitive manners of conceiving of space and the marks made in it (...); but they must also do so in ways that align with the intended underlying concepts. This in mind, we propose an intermediate representation; one that would guide students' perceptions, support their developing spatial skills, and so bridge the divide between novice and expert reasoning (...). Our ongoing work involves the development of computer-based learning environments that feature a technologically enhanced, interactively manipulable phylogenetic tree*" (Matuk & Uttal 2012, 137-138). Bei dem digitalen,

interaktiven Lernspiel “Build-A-Tree“ (BAT) des PBS/ Nova Evolution Lab (Nr. 2) können die Lernenden, auf spielerische Art und Weise, selber phylogenetische Stammbäume im rechteckigen Format erstellen: Durch die Möglichkeit, in einer digitalen Lernumgebung Stammbäume anzufertigen und die Topologie dieser Diagramme selbst umgestalten zu können, prägen sich, so Matuk & Uttal (2012), den Lernenden wichtige Grundkonzepte des “Tree Thinking“ ein, insbesondere die hierarchische Struktur phylogenetischer Stammbäume, in Form von ineinander verschachtelten Kladen („nested clades“). Gleichzeitig erarbeiten sich die Lernenden mithilfe des Lernspiels “Build-A-Tree“ (BAT) auch die zugrundeliegenden evolutionsbiologischen Grundlagen phylogenetischer Systematik.

Die Onlineresource Nr. 3 (“TimeTree5: The Timescale of Life”) ist an ein Forschungsinstitut angebunden, das Institute for Genomics and Evolutionary Medicine des Center of Biodiversity (Temple University, Pennsylvania, U.S.A.). Ein leicht nutzbares, digitales Tool ermöglicht die einfache Erstellung phylogenetischer Stammbaumdiagramme verschiedenster Taxa und die Ermittlung von „Divergenzzeiten“ zwischen Arten. Somit kann z. B. geklärt werden, wie nah bestimmte Arten miteinander verwandt sind (je kürzer die Divergenzzeit, desto näher verwandt sind die betreffenden Arten): Aufgrund ihrer einfachen Handhabung ist diese Onlineresource vielfältig nutzbar und für unterschiedlichste Zielgruppen geeignet, meines Erachtens bereits für Lernende ab der Sekundarstufe 1. Die motivierend gestalteten Lernmaterialien (als Pdf, können ausgedruckt werden) enthalten zahlreiche Anregungen für die Nutzung dieser Onlineresource für forschendes Lernen zum Thema “Tree Thinking“ (<https://timetree.org/resources#EducationResources>; abgerufen am 08.08.2025), z. B. einfache Forschungsfragen, die mithilfe des digitalen Tools beantwortet werden können. Die im Lernmaterial enthaltenen Stammbaumdiagramme sind vorwiegend klein (wenige Taxa) und im rechteckigen Format ausgeführt, eignen sich also gut für Lernende. Insofern lässt sich mithilfe der Ressource Nr. 3 beispielsweise gut zeigen, wie wissenschaftliche Erkenntnisse gewonnen werden (Nature of Science).

Ein anschauliches Beispiel für analog umsetzbare Lernspiele zur Förderung des “Tree Thinking“ sind „phylogenetische Kartenspiele“, die zwar online verfügbar sind, aber ausgedruckt und analog verwendet werden. Für Lernende der Sekundarstufe 2 ist bereits ein empfehlenswertes Beispiel in deutscher Sprache verfügbar: Dies ist die Onlineresource Nr. 13, “TreeTops“ (<https://www.embl.org/ells/teachingbase/treetops/?lang=de>; abgerufen am 07.08.2025), die vom “European Learning Laboratory for the Life Sciences“ (ELLS) erstellt

worden ist. Es handelt sich um eine Übersetzung aus dem Englischen; derzeit sind auch Versionen in Tschechisch und Neugriechisch verfügbar. Das kartenbasierte „Phylogenetik-Icebreaker-Spiel“ zum Erstellen von Stammbäumen, „TreeTOPS“, ist besonders nützlich, da die Lernenden aktiv und mit einfachen Mitteln auf spielerische Art und Weise selber phylogenetische Stammbäume erstellen: Die Spielkarten werden ausgedruckt, ausgeschnitten und zwecks Erstellung von phylogenetischen Stammbaumdiagrammen ausgelegt, wobei man letztere z. B. sowohl auf ein Plakat zeichnen kann als auch auf ein Whiteboard (mit Magneten). Die Karte „gemeinsamer Vorfahre“ bildet stets die Wurzel; für die Anordnung der „Nachfahren“ Karten gibt es jeweils mehrere mögliche Varianten. Das analog durchführbare „Phylogenetik-Icebreaker-Spiel“ verbindet die Themenbereiche Genetik und Evolution. Zudem ist eine Anbindung an die Methoden der modernen, phylogenetischen Forschung (sowohl klassische, als auch molekulare, phylogenetische Methoden) vorhanden. Diese Onlineresource bietet insgesamt eine gelungene Mischung aus Infotext und Aktivität: Im einführenden Informationsteil wird unter anderem auch in kompakter Form erklärt, wie man phylogenetische Stammbaumdiagramme korrekt liest, unter Verwendung des für Lernende optimal geeigneten Stammbaumformates (rechteckig). Es ist sowohl Einzel- als auch Gruppenarbeit möglich.

Relevant ist in diesem Zusammenhang auch die deutschsprachige Onlineresource Nr. 14 (<https://www.scienceinschool.org/de/article/2011/bioinformatics-de/>; abgerufen am 23.07.2025), „Science in School – Bioinformatik mit Stift und Papier“: Es handelt sich hier nicht um ein Lernspiel, sondern um Unterrichtsmaterial zum forschenden Lernen für die Sekundarstufe 2, in Form einer Übung zum Erstellen von Stammbäumen (Schwerpunkt Hominidenevolution), die mit einfachen Mitteln durchgeführt werden kann. Auch hier handelt es sich um eine gelungene Mischung aus Infotext und Arbeitsauftrag für die Lernenden. Positiv hervorzuheben ist auch die Anbindung des Unterrichtsmaterials an die Methoden der phylogenetischen Forschung und die thematische Verbindung von Genetik und Evolutionsbiologie. Zudem ist das Material zwar digital verfügbar, es wird aber analog gearbeitet (= Pdf zum Ausdrucken).

Zum Einstieg in das Thema „Tree Thinking“ sind motivierend gestaltete Kurzvideos besonders geeignet: Im Idealfall weisen diese Filme einen Bezug zur Lebenswelt der Lernenden auf, oder demonstrieren, mithilfe eines „Anwendungsbeispiels“, die Bedeutung phylogenetischer Stammbäume in unterschiedlichen Lebensbereichen. Besonders plakativ ist ein Kriminalfall

rund um eine HIV-Infektion, bei dem die Überführung des Täters mithilfe phylogenetischer Stammbäume der Viren gelungen ist (vgl. hierzu: Thanukos 2010; mehrere „Anwendungsbeispiele“ phylogenetischer Stammbäume anhand von Schlagzeilen aus der Boulevardpresse). Das englischsprachige Video Nr. 7 (“How do you read Evolutionary Trees?”; <https://www.youtube.com/watch?v=Xd6Tc7tGOec>; abgerufen am 08.08.2025) beginnt und endet mit diesem konkreten Beispiel, insofern dient der Kriminalfall als Motivation, sich mit der Interpretation phylogenetischer Stammbaumdiagramme zu beschäftigen.

Insgesamt zeigen sich bei der Gestaltung der Kurzvideos deutliche Unterschiede zwischen dem englischen und dem deutschen Sprachraum (vgl. Kap. 5.2): Grundsätzlich dürften die derzeit verfügbaren englischsprachigen, vor allem in den U.S.A. erstellten, kurzen Lehrvideos zum Thema “Tree Thinking“ durchwegs geeignet sein, um das Interesse der Lernenden an diesem Themenbereich zu wecken. Die Onlinere Ressourcen Nr. 5, 6, 7 und 8 stellen diesbezüglich gute Beispiele dar (vgl. Kap. 4.3 und 5.2). Für die Mehrzahl der aktuell verfügbaren, deutschsprachigen Videos zum Thema “Tree Thinking“ gilt dies leider nicht, sie sind vorwiegend informativ, aber wenig motivierend gestaltet, wie sich insbesondere am Beispiel der Onlinere Ressourcen Nr. 11, Nr. 17, Nr. 19 und Nr. 20 zeigen lässt (vgl. Kap. 4.3 und 5.2). Eine Ausnahme stellt in diesem Zusammenhang das animierte Kurzvideo „Was ist ein Stammbaum?“ (Nr.16: <https://www.youtube.com/watch?v=JmRkdHswrrQ>; abgerufen am 07.08.2025), dar. Unter den deutschsprachigen Onlinere Ressourcen konnte Nr. 16, die Website, zu der dieses Video gehört, nach dem hier verwendeten Bewertungsschema die höchste Punktezahl erreichen. Positiv hervorzuheben ist, neben fachlicher Korrektheit, die motivierende Gestaltung und kompakte Darstellung der Grundprinzipien des “Tree Thinking“. Es ist empfehlenswert, das Stammbaum-Video in Kombination mit dem Einführungsvideo „Was ist Evolution?“ desselben Anbieters anzusehen (<https://www.youtube.com/watch?v=6uIzL2l3wuY>; abgerufen am 07.08.2025), am besten unmittelbar darauffolgend. Die Gesamtdauer beider Kurzvideos beträgt nur insgesamt acht Minuten. Beide Videos gehören zum Einführungsmodul einer umfangreichen Unterrichtsplanung des „Lifescience Learningcenter UZH (CH)“ zum Thema Evolution für die Sekundarstufe 1. Die Planung umfasst vier Module und insgesamt ca. 15 Unterrichtsstunden, wobei für Lehrpersonen aus der Region die Entlehnung von „Forscher-Kisten“ (https://www.lifescience-learningcenter.uzh.ch/de/forschzeitsek/forschkisten_sek/evolution.html; abgerufen am

07.08.2025) vorgesehen ist. Aber auch wenn diese Möglichkeit nicht besteht, kann man der Unterrichtsplanung auf der Website Nr. 16 einige Anregungen entnehmen.

Grundsätzlich sollte, anschließend an die Verwendung von Kurzvideos zum Einstieg, das Thema “Tree Thinking“ mithilfe von schülerzentrierten Methoden weiter vertieft werden. Wie in diesem Kapitel bereits erläutert worden ist, spielen in diesem Zusammenhang das forschend-entdeckende Lernen, die Verwendung von digitalen und analogen Lernspielen, sowie der Einsatz von Animationen (digital) und Modellen (analog) eine wichtige Rolle: Eine Zusammenfassung der wichtigsten Empfehlungen zum Einsatz von Onlinere Ressourcen zur Förderung des “Tree Thinking“ im schulischen Kontext, einschließlich ausgewählter Ressourcen für die Sekundarstufe, findet sich in Anhang E.

7 Erste Überlegungen zur Neugestaltung von digitalen Ressourcen zum “Tree Thinking“ für den deutschsprachigen Raum

7.1 Allgemeines

Ausgehend vom Forschungsstand (Kap. 2) und basierend auf den Ergebnissen der im Rahmen dieser Masterarbeit durchgeführten Bewertung derzeit verfügbarer digitaler Lehr-Lern-Ressourcen zum “Tree Thinking“ im internationalen Vergleich (Kap. 3-6), sind Onlinere Ressourcen für Lernende optimal nutzbar, wenn folgende Kriterien erfüllt sind:

- Wissenschaftliche Korrektheit & Aktualität (auch bzgl. der phylogenetischen Stammbaumdiagramme; vgl. hierzu Kap. 4.2 und 5.1)
- Zielgruppe(n) klar definiert; Orientierung an Zielgruppe(n)
- Alltagsvorstellungen werden berücksichtigt (auch bzgl. Terminologie); Vorwissen wird aktiviert (im Idealfall: Erhebung von Vorstellungen & Vorwissen der Lernenden).
- Differenzierung & Individualisierung des Lernens
- Aktivitäten für die Lernenden: Forschend-entdeckendes Lernen (“*inquiry-based learning*“) & Lernspiele (“*game-based learning*“); Interaktivität.
- Struktur: Übersichtliche Gestaltung der Website, klare Gliederung; Informationen sind leicht auffindbar.
- Ausgewogenes Text-Bild-Verhältnis
- Sprache: Einfach, kurz, klar, prägnante Formulierungen; angemessene Terminologie

- Motivation: Die Inhalte der Website sollten die Motivation der Lernenden, sich mit evolutionsbiologischen Inhalten zu beschäftigen, fördern. In diesem Zusammenhang sind sowohl inhaltliche Aspekte (z. B. geeignete Anwendungsbeispiele) als auch die Gestaltung (z. B. medial & methodisch vielfältig) relevant.
- Bezug zur Lebenswelt: Praktische Anwendungsbeispiele phylogenetischer Stammbäume
- Mediale Vielfalt der Lehr-Lernangebote (unterschiedliche Medien; außer Text, Bild & Diagramm; Videos; Verwendung von Animationen; digitale Lernspiele)
- Digitale und analoge Lehr-Lernressourcen verfügbar

Bei der Neugestaltung deutschsprachiger Onlinere Ressourcen zum “Tree Thinking“ sollten möglichst viele dieser Kriterien berücksichtigt werden. Die im Rahmen meiner Masterarbeit analysierten Onlinere Ressourcen, vor allem jene aus dem englischsprachigen Raum, bieten diesbezüglich zahlreiche “Best-Practice“-Beispiele (vgl. Kap. 4.3, 5.2 und 6). Der erste Schritt bei der Neugestaltung einer digitalen Ressource zur Förderung des “Tree Thinking“ sollte die Erstellung einer kompakten, klar und einfach formulierten Einführung sein, die im Idealfall sowohl für Lehrende als auch für Lernende der Sekundarstufe nutzbar ist. Meiner Ansicht nach sollte sich das Einführungskapitel einer neugestalteten, deutschsprachigen Onlinere Ressource zum “Tree Thinking“ am Einstiegskapitel (“Primer“) von “The Tree Room“ (<https://evolution.berkeley.edu/the-tree-room/evolutionary-trees-a-primer/>; abgerufen am 29.10.2025) orientieren – sowohl inhaltlich als auch bezüglich der Gestaltung. Das Ziel einer Online-Einführung in das “Tree Thinking“ ist es, die Diagrammlesekompetenz der Lernenden (bezüglich phylogenetischer Stammbäume) zu fördern, allerdings stets im Kontext der zugrundeliegenden Basiskonzepte der Evolutionstheorie. Dies kann nur gelingen, wenn die hierfür relevanten Konzepte parallel zur diagrammatischen Struktur eingeführt werden, wie dies beispielsweise im “Primer“ von “The Tree Room“ der Fall ist. Folgende Begriffe und Konzepte sind in diesem Zusammenhang von besonderer Bedeutung: Letzter gemeinsamer Vorfahre; Aufspaltung in unterschiedliche Abstammungslinien bzw. Divergenz von Abstammungslinien; Artbildung; Abstammungslinien von Vorfahren bzw. Nachfahren. Zudem ist es empfehlenswert, in diesem einführenden Text für die zentralen Fachbegriffe jeweils kompakte Definitionen bereitzustellen, die mit dem Haupttext der Website verlinkt werden, ähnlich wie beim “Primer“ von “The Tree Room“. Folgende Aussage ist von zentraler Bedeutung: Alle Lebewesen auf der Erde sind verwandt und können, wenn man in der Zeit weit genug zurückgeht, auf einen gemeinsamen Vorfahren zurückgeführt werden. Der gemeinsame

Vorfahre aller Lebewesen bildet die Wurzel des phylogenetischen Stammbaums des gesamten Lebens auf der Erde (s.u.; Abb. 9). Im “Primer“ von “The Tree Room“ (<https://evolution.berkeley.edu/the-tree-room/evolutionary-trees-a-primer/what-is-an-evolutionary-tree/>; abgerufen am 29.10.2025) wird zur Erklärung des Grundprinzips eines Stammbaums die Metapher einer Straße mit zahlreichen Gabelungen verwendet: Hierdurch soll deutlich werden, dass es sich bei phylogenetischen Stammbäumen um eine diagrammatische Darstellung der vielfachen Divergenzen, die im Laufe der Evolutionsgeschichte stattgefunden haben, handelt.

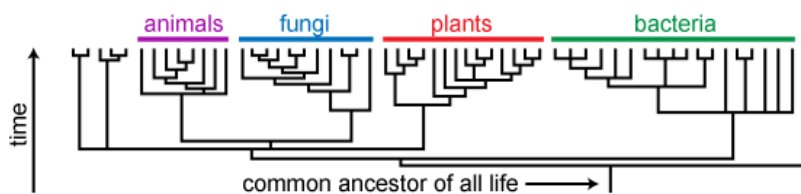


Abb. 9: Die Vielfalt des Lebens auf der Erde geht auf einen gemeinsamen Vorfahren zurück – vereinfachter phylogenetischer Stammbaum aus dem “Primer“ von “The Tree Room“.

Auch bezüglich Strukturierung und Gestaltung sollte sich ein Online-Einführungstext zu den Grundprinzipien des “Tree Thinking“ am “Primer“ orientieren: Letzterer ist in sieben kurze Unterkapitel aufgegliedert, jeweils bestehend aus wenigen, kompakt formulierten Absätzen und mindestens einem phylogenetischen Stammbaumdiagramm. Alle phylogenetischen Stammbaumdiagramme sind in dem für Lernende optimal geeigneten rechteckigen Format gestaltet (außer dort, wo andere, äquivalente Stammbaumformate dargestellt wurden). Mithilfe eines kleinen (nur wenige Taxa umfassenden), animierten Stammbaumdiagramms im rechteckigen Format kann die korrekte Leserichtung eines phylogenetischen Stammbaums (entlang der Zeitachse; hier von unten nach oben) und die schrittweise Verzweigung auf anschauliche Art und Weise verdeutlicht werden. Auch diesbezüglich stellt der “Primer“ (<https://evolution.berkeley.edu/the-tree-room/evolutionary-trees-a-primer/how-to-read-trees/>; abgerufen am 29.10.2025) ein “Best-Practice“-Beispiel dar (Abb. 10).

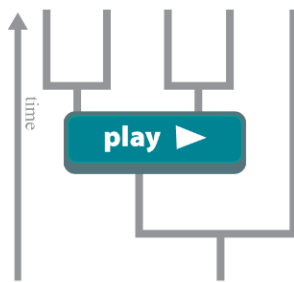


Abb. 10: Animierter, phylogenetischer Stammbaum aus dem “Primer“ von “The Tree Room“.

In weiterer Folge können die bisher erworbenen Grundlagen des “Tree Thinking“ mithilfe phylogenetischer Stammbaumdiagramme mit Beschriftungen (s.u.; Abb. 11) weiter gefestigt und vertieft werden (<https://evolution.berkeley.edu/the-tree-room/evolutionary-trees-a-primer/understanding-evolutionary-relationships/>; abgerufen am 29.10.2025).

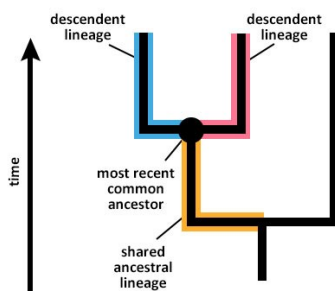


Abb. 11: Phylogenetisches Stammbaumdiagramm mit Beschriftungen zur Erklärung einfacher Grundkonzepte (Abstammungslinien Vor- & Nachfahren; letzter gemeinsamer Vorfahre) aus dem “Primer“ von “The Tree Room“

Zudem ist es empfehlenswert, interaktive Quizfragen in die einführende Onlineresource zu integrieren, damit die Lernenden selbstständig überprüfen können, ob sie die Inhalte verstanden haben und einen einfachen, phylogenetischen Stammbaum korrekt interpretieren können. Hier ein Beispiel mit vier fiktiven Taxa aus dem “Primer“ (<https://evolution.berkeley.edu/the-tree-room/evolutionary-trees-a-primer/understanding-evolutionary-relationships/>; abgerufen am 29.10.2025); vgl. Abb. 12:

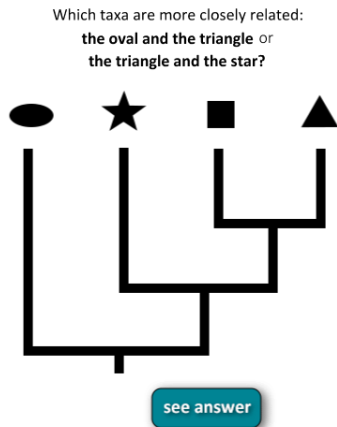


Abb. 12: Interaktive Quizfrage zur Interpretation phylogenetischer Stammbäume aus dem “Primer“ von “The Tree Room“

Hilfreich ist in diesem Zusammenhang folgende Grundregel: Je weniger Zeit seit der Divergenz der beiden Taxa vergangen ist, desto näher sind sie verwandt. Insofern wären beim Beispiel oben Dreieck und Stern miteinander näher verwandt als Dreieck und Oval, da der gemeinsame Vorfahre von Dreieck und Stern in jüngerer Zeit gelebt hat als jener von Dreieck und Oval.

Von zentraler Bedeutung ist auch der Hinweis, dass es sich bei phylogenetischen Stammbäumen um Hypothesen handelt, die abhängig vom Forschungsstand zur Phylogenetik der betreffenden Taxa sind. Abb. 13 zeigt, wie sich der Forschungsstand zur Evolutiongeschichte der Wale und Delfine (Ordnung: Cetacea) im Laufe der letzten Jahrzehnte verändert hat, vorwiegend aufgrund von genetischen Daten, die zu einer Neubewertung der paläontologischen Quellen geführt haben: *„If you had read about the evolutionary history of whales in the 1970s or 80s, you might have seen a tree that looks something like that shown below left, which implies that whales are closely related to an extinct group of mammals called the mesonychids. Today, we know that the origin of whales is better represented by the tree on the right. Whales and water-loving hippos are closely related! Why the change? Because the discovery of new DNA evidence caused palaeontologists to re-evaluate their interpretations of the fossil evidence, leading to a revision of our understanding of the evolutionary relationships in this group”* (Zitiert nach: <https://evolution.berkeley.edu/the-tree-room/evolutionary-trees-a-primer/trees-are-hypotheses/>; abgerufen am 29.10.2025).

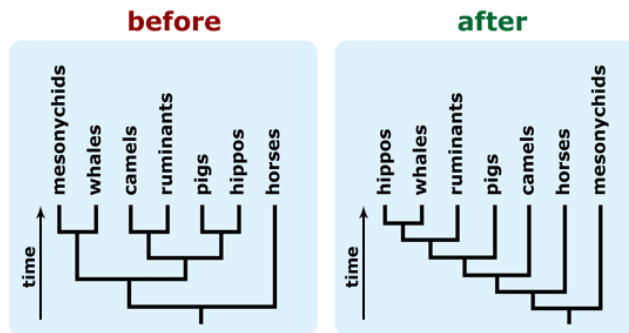


Abb. 13: Phylogenetische Stammbäume zum Ursprung der Wale (Cetacea) aus dem “Primer“ von “The Tree Room“: Veraltete vs. Aktuelle Hypothese.

Alternativ zur Neuerstellung einer deutschsprachigen Online-Einführung in das “Tree Thinking“ könnte es auch sinnvoll sein, eine direkte Übersetzung des Einleitungsteils von “The Tree Room“ ins Deutsche anzufertigen: Hierzu wäre es zunächst notwendig, die Zustimmung der Autoren der englischsprachigen Onlineressource einzuholen: Da jedoch bereits Übersetzungen ausgewählter Inhalte von “The Tree Room“ bzw. “Understanding Evolution“ in unterschiedlichen Sprachen verfügbar (derzeit: Arabisch, Hebräisch, Portugiesisch, Spanisch und Türkisch) und mit der englischsprachigen Website verlinkt sind, wäre eine Zustimmung sehr wahrscheinlich.

Im Anschluss an den Einführungsteil einer neuen Onlineressource zum “Tree Thinking“ wäre es besonders wichtig, anhand ausgewählter Fallbeispiele die praktische Bedeutung phylogenetischer Stammbäume in den Lebenswissenschaften und im Alltag zu verdeutlichen. Dies soll hier exemplarisch, am Beispiel des Rahmenthemas Evolution der Wale und Delfine (Ordnung: Cetacea), unter besonderer Berücksichtigung von *Orcinus orca* (Familie: Delphinidae), gezeigt werden: Die Eignung dieses Themenbereichs zur Förderung des “Tree Thinking“, einschließlich des fachlichen Hintergrundes, sowie Ideen für mögliche Aktivitäten und Materialien, werden in Kap. 7.2 diskutiert.

7.2 Zentrales Fallbeispiel: Evolution der Wale und Delphine (Ordnung: Cetacea), unter besonderer Berücksichtigung von *Orcinus orca* (Familie: Delphinidae)

7.2.1 Fachlicher & fachdidaktischer Hintergrund

Wale und Delfine (Ordnung: Cetacea) sind „Flaggschiffarten“, also Arten mit großem symbolischem Wert (= „charismatische Megafauna“; vgl. Albert et al. 2018), die besonders geeignet sind, um Menschen für den Natur- und Tierschutz zu interessieren. Zudem ist das Fallbeispiel „Wale und Delfine (= Ordnung Cetacea)“ ein guter Ansatzpunkt für motivierenden Unterricht zu den Themenbereichen “Tree Thinking“ und Evolutionsbiologie. In diesem Zusammenhang wäre die Erstellung thematisch passender, deutschsprachiger Onlinere Ressourcen, die auch für Lernende ab der Sekundarstufe 1 geeignet sind, wünschenswert. Nachdem in Kap. 7.1 erste Überlegungen zur Erstellung des einführenden Abschnitts einer deutschsprachigen Onlinere Ressource zum “Tree Thinking“ präsentiert wurden, liegt hier der Fokus auf der Anwendung phylogenetischer Stammbäume, als Schlüssel zum Verständnis biologischer Fragestellungen. Hierdurch wird zudem die Rolle der Evolutionstheorie als „roter Faden“ in der Biologie verdeutlicht. Das Rahmenthema Wale und Delfine (= Ordnung Cetacea; umfasst ca. 90 rezente Arten) ist nicht nur sehr motivierend für Lernende der Sekundarstufe, es eignet sich auch inhaltlich besonders gut als Anwendungsbeispiel für die Grundlagen des “Tree Thinking“: Dieses Fallbeispiel ermöglicht, wie anschließend gezeigt werden soll, die thematische Verbindung von Phylogenetik und Evolutionsbiologie mit einer Reihe anderer biologischer Fachgebiete (z. B. Genetik, Ökologie, Meeresbiologie, Artenschutz, Mensch-Tier-Beziehung, Ethik). Ein guter Ansatz diesbezüglich besteht darin, die praktische Bedeutung phylogenetischer Stammbäume anhand von Fallbeispielen in Form von „Schlagzeilen“ aus den Medien zu verdeutlichen. In der Zusammenstellung von Anastasia Thanukos (2010) findet sich, unter Anderem, auch ein bemerkenswertes Beispiel zur genetischen Bestimmung von Walfleisch, das auf Märkten in Japan verkauft worden war: Die Ergebnisse zeigten, dass in mehreren Fällen geschützte Walarten getötet worden waren, also dass Artenschutzbestimmungen nicht eingehalten worden waren.

Die Evolutionsgeschichte der Wale und Delfine (Ordnung Cetacea), die vor ca. 50 Millionen Jahren im Eozän begonnen hat, stellt ein klassisches Beispiel für Makroevolution dar (vgl. zusammenfassend z. B.: <https://evolution.berkeley.edu/what-are-evograms/the-evolution-of-whales/>; abgerufen am 22.11.2025); zum phylogenetischen Stammbaumdiagramm vgl. Kap. 5.1. Zudem bietet die Evolutionsgeschichte der Ordnung Cetacea wichtige Belege für die

Validität der Evolutionstheorie, z. B. durch „Übergangsmerkmale“ bei fossilen Vorfahren der heutigen Wale und Delfine (<https://evolution.berkeley.edu/lines-of-evidence/transitional-features/>; abgerufen am 29.10.2025). Von besonderem Interesse sind in diesem Zusammenhang auch rudimentäre Merkmale, die auf evolutionäre Anpassungsprozesse an das Leben im Wasser zurückgeführt werden können, beispielsweise die stark reduzierten Hintergliedmaßen bei fossilen Vertretern der Ordnung Cetacea (<https://evolution.berkeley.edu/phylogenetic-systematics/using-trees/using-trees-to-make-predictions-about-fossils-the-whales-ankle/> abgerufen am 29.10.2025). Ein wichtiger Aspekt ist auch, dass sich der Forschungsstand zur Evolutionsgeschichte der Ordnung Cetacea, aufgrund der interdisziplinären Forschung der letzten Jahrzehnte, grundlegend verändert hat, vorwiegend aufgrund von genetischen Daten, die zu einer Neuinterpretation der paläontologischen Quellen geführt haben (<https://evolution.berkeley.edu/the-tree-room/evolutionary-trees-a-primer/trees-are-hypotheses/>; abgerufen am 29.10.2025): Insofern ist die rezente Ordnung Cetacea ein gutes Beispiel dafür, dass es sich bei phylogenetischen Stammbaumdiagrammen stets um Hypothesen handelt, die den jeweiligen Forschungsstand reflektieren. Bemerkenswert sind zudem auch Zusammenhänge zwischen Klimaveränderungen und der Evolutionsgeschichte, die sowohl in der Vergangenheit (<https://evolution.berkeley.edu/evo-news/global-change-drove-the-evolution-of-giants/> abgerufen am 29.10.2025), als auch für rezente Entwicklungen relevant sein könnten. In einer fachdidaktischen Studie zu Schülervorstellungen über Evolution in der Sekundarstufe 1 (Zabel & Gropengießer 2011) steht ebenfalls die Ordnung Cetacea im Zentrum des Interesses, um das Verständnis grundlegender Konzepte der Evolutionsbiologie, wie Variation, Anpassung und natürliche Selektion, zu fördern. Weiters sind aktuell zwar bereits deutschsprachige Onlinere Ressourcen zum Thema Wale und Delfine (<https://wale.org/ueber-wale-und-delfine/>; abgerufen am 22.11.2025) und Evolution der Wale (<https://www.firmm.org/de/kids/evolution/>; abgerufen am 22.11.2025) verfügbar, die für Lernende der Sekundarstufe 1 geeignet sind. Auffallend ist jedoch, dass diese Ressourcen keinen einzigen, phylogenetischen Stammbaum enthalten, also nicht zur Förderung des “Tree Thinking“ beitragen. Für die Neugestaltung von deutschsprachigen Basisinformationen zum Thema Evolution der Wale wäre daher anzuraten, jeweils ein für Lernende optimal geeignetes, phylogenetisches Stammbaumdiagramm (vgl. Kap. 4.2 und 5.1) mit einem kompakten Infotext zu kombinieren, beispielsweise in Anlehnung an das entsprechende Subkapitel der “Understanding Evolution“ Website (<https://evolution.berkeley.edu/what-are-evograms/the-evolution-of-whales/>; abgerufen am 22.11.2025).

Durch langjährige Beobachtung von Walen und Delfinen in vielen Teilen der Welt, mithilfe der Methode der Foto-Identifikation sowie durch die Erstellung von Foto-ID-Katalogen (<https://www.fisheries.noaa.gov/southeast/science-data/what-can-marine-mammal-photo-identification-tell-us>; abgerufen am 22.11.2025) können inzwischen bei vielen freilebenden Wal-/ Delfinpopulationen individuelle Tiere identifiziert werden (<https://www.fisheries.noaa.gov/southeast/endangered-species-conservation/marine-mammal-photo-identification-research-southeast>; abgerufen am 22.11.2025). Hierdurch bietet sich die Gelegenheit, mithilfe von Stammbaumdiagrammen die Verbindungen zwischen Individuen, über familiäre Verwandtschaftsgruppen, Populationen, „Ökotypen“ und Unterarten, bis hin zu Arten und zu taxonomischen Gruppen höherer Ordnung darzustellen: Dieser Ansatz ermöglicht eine Verbindung von “Tree Thinking“ und “Population Thinking“ (Meisel 2010). Ausgewählte Abbildungen aus Photo-ID-Katalogen verschiedener Arten von Walen und Delfinen könnten als Grundlage für die Gestaltung solcher Diagramme (vom „Familienstammbaum“ bis zum phylogenetischen Stammbaum) herangezogen werden: Diese Möglichkeit sollte auch für die Erstellung digitaler und analoger Lehr-Lern-Ressourcen genutzt werden (s.u., Kap. 7.2.2). Hierdurch ergibt sich zudem eine Anbindung der betreffenden Onlinere Ressourcen an konkrete, aktuelle Forschungsergebnisse zu Walen und Delfinen.

Orcas (auch als Schwertwale oder Killerwale bezeichnet) sind diesbezüglich ein besonders interessantes und auch aktuelles Fallbeispiel, da derzeit mindestens 10 verschiedene „Ökotypen“ bekannt sind, die z. B. bezüglich Größe, Ernährung, Lebensweise und Kommunikation differieren (https://killerwhales.fandom.com/wiki/Killer_Whale_Wiki; abgerufen am 22.11.2025). Vor kurzem wurde der taxonomische Status bestimmter „Ökotypen“ (eigene Art? Unterart?) diskutiert (Morin et al. 2024), wobei die wissenschaftliche Forschung derzeit weiterhin nur eine Orca-Art anerkennt, nämlich *Orcinus orca* (vgl. Morin et al. 2024; vgl. auch: <https://www.pugetsoundinstitute.org/all-killer-whales-will-remain-one-species-for-now-according-to-marine-mammal-committee/>; abgerufen am 22.11.2025). Insofern würde sich das Fallbeispiel *Orcinus orca* hervorragend eignen, um im Biologieunterricht sowie im Rahmen einer Onlinere Ressource zum “Tree Thinking“ folgende Fragen zu diskutieren: Was ist eine Art? Was ist ein „Ökotyp“ bzw. eine Unterart? Welche wissenschaftlichen Methoden stehen zur Klärung dieser Fragen zur Verfügung? Zudem eignet sich *Orcinus orca*, wie anschließend diskutiert werden soll, hervorragend als interdisziplinäres Anwendungsbeispiel für das “Tree Thinking“, im Zusammenhang mit Ökologie, Naturschutz, Mensch-Tier-Beziehung und Ethik.

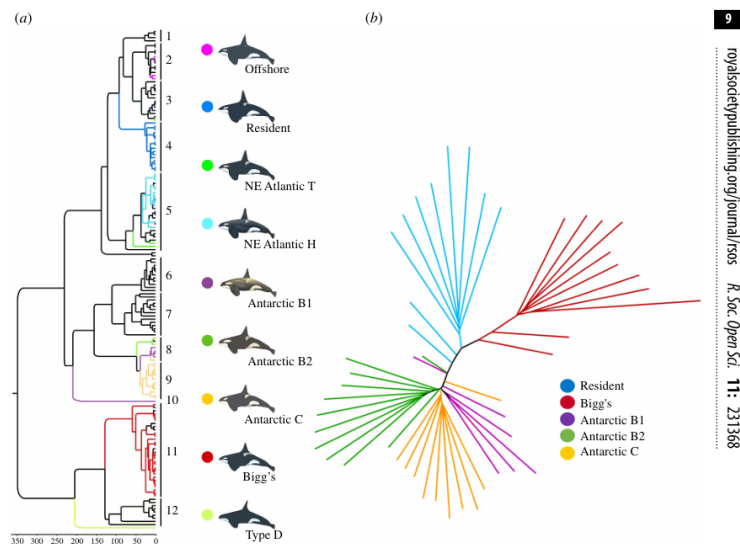


Figure 5. Global phylogenetic trees of killer whales based on (a) haplotypes from 452 mitogenomes and (b) 49 nuclear genome sequences. Reprinted with permission from Morin *et al.* [15] (figure 2; by permission from John Wiley & Sons, licence 5458310335802) and [9] (electronic supplementary material, figure S3b, by permission from Andrew D. Foote). Black branches in (a) lead to haplotypes that are from animals that have not been identified to ecotype (see electronic supplementary material, table S1 from [15]).

Abb. 14: Phylogenetischer Stammbaum von *Orcinus orca* aufgrund genetischer Daten; mit Zuordnung zu „Ökotypen“ (nach Morin et al. 2024)

In Europa besitzt das Thema Orcas (*Orcinus orca*) derzeit besondere Aktualität, nicht zuletzt aufgrund zahlreicher Medienberichte, die über häufige Interaktionen von Orcas mit Segelbooten im Bereich der iberischen Halbinsel berichten: Es handelt sich um Manipulationen der Orcas im Bereich des Ruders, die häufig zur Beschädigung der betroffenen Boote geführt haben. Die ersten dieser Interaktionen haben im Sommer 2020 stattgefunden (<https://www.theguardian.com/environment/2020/sep/13/the-tale-of-the-killer-whales>; abgerufen am 22.11.2025); die Interaktionen sind vor allem im Sommer häufig und dauern bis heute an (<https://www.stiftung-meeresschutz.org/themen/tourismus-schiffahrt/orca-angriffe-auf-segelboote/>; abgerufen am 22.11.2025): Aus ethologischer Sicht geht man derzeit davon aus, dass es sich um Spiel-, Erkundungs- und/ oder Lernverhalten der (vorwiegend juvenilen) Orcas handelt. Allerdings ist die Frage bisher noch nicht eindeutig geklärt. Die in den Medien meist vorherrschende Deutung dieser Interaktionen als „Angriffe auf Segelboote“ (s.o.) trägt in den letzten Jahren dazu bei, die ohnehin schon angespannte Situation der kleinen Orca-Population im Bereich der iberischen Halbinsel (s. u., Abb. 17 c; dzt. ca. 35 Tiere; IUCN-Status „vom Aussterben bedroht“) noch prekärer zu gestalten. Um dem entgegenzuwirken, haben sich zahlreiche Initiativen entwickelt, die durch Informationskampagnen (<https://www.orcaiberica.org/en/proyecto-friendship>; abgerufen am 22.11.2025), zum Teil aber zusätzlich auch durch praktische Maßnahmen, wie z. B. eine regelmäßige Überwachung des

betroffenen Gebietes durch Bootspatrouillen (<https://iberian-orca-guardians.org/about-us/>; abgerufen am 22.11.2025) zur „Deeskalation“ zwischen Seglern und Orcas beitragen wollen.

Zudem haben die zahlreichen Interaktionen bestimmter Individuen aus den iberischen Orca-Populationen mit Segelbooten zu einer vermehrten wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit den „iberischen Orcas“ und zur Erstellung eines eigenen Foto-ID-Kataloges (<https://www.orcaiberica.org/en/catalogo>; abgerufen am 22.11.2025) geführt: Es ist mittlerweile genau bekannt, welche Individuen mit Segelbooten interagieren: In Spanien werden die interagierenden Orcas mit dem Beinamen „Gladis“ gekennzeichnet (s.u., Abb. 15). Im Katalog der iberischen Orcas (<https://www.orcaiberica.org/en/catalogo>; abgerufen am 22.11.2025) wird zu jedem Individuum vermerkt, ob es mit Segelbooten und/ oder anderen kleinen Booten (Freizeitboote, Fischerboote) interagiert (vgl. Abb. 15 & 17). Weiters kann man rekonstruieren, wie sich die Tendenz zu solchen Interaktionen, zunächst ausgehend von wenigen juvenilen Tieren, im Laufe der letzten Jahre innerhalb bestimmter Familiengruppen verbreitet hat (vgl. Abb. 15).



Abb. 15: Die mit Booten interagierenden, „iberischen Orcas“ („Gladis“) und ihre Verwandtschaftsverhältnisse (nach: <https://www.orcaiberica.org>)

Orcas (*Orcinus orca*), auch als „Killerwale“ oder Schwertwale bezeichnet, sind die größte Spezies innerhalb der Familie Delphinidae, mit einer durchschnittlichen, adulten Körperlänge von bis zu 9 m und einer charakteristischen, schwarz-weißen Färbung (https://killerwhales.fandom.com/wiki/Killer_Whale_Wiki; abgerufen am 22.11.2025). Zu beachten ist der Geschlechtsdimorphismus (vgl. Abb. 16): Adulte männliche Tiere sind

aufgrund ihrer langen Rückenfinne gut erkennbar und sind meist auch deutlich größer als weibliche adulte Tiere (<https://www.orcaiberica.org/en/que-son-las-orcas>; abgerufen am 22.11.2025), s. u., Abb. 16.



Abb. 16: Geschlechtsdimorphismus von *Orcinus orca* (nach: <https://www.orcaiberica.org>)

Orcas sind weltweit verbreitet, leben jedoch bevorzugt in kälteren Gewässern. Die verschiedenen „Ökotypen“ unterscheiden sich aufgrund mehrerer Merkmale, wie beispielsweise der Lebensweise („resident vs. transient“), Ernährung (manche Populationen fressen nur z. B. Fisch, andere hingegen Robben oder Delfine), Verhalten sowie im Bereich der vokalen Kommunikation. Orcas werden meist im Familienverband (adulte Individuen beiderlei Geschlechts, plus Jungtiere) angetroffen. Innerhalb der stabilen Familienverbände nimmt meist ein älteres Weibchen die Führungsrolle ein; letzteres kann ein Alter von 90 Jahren und mehr erreichen (vgl. z. B. Brent et al. 2015). *Orcinus orca* weist ein komplexes, intraspezifisches Sozial- und Kommunikationsverhalten auf, das in den letzten Jahrzehnten im Zentrum zahlreicher Forschungsarbeiten stand (vgl. z. B. Ford et al. 1998; Ford et al. 2000; zur Forschungsgeschichte vgl. Colby 2018): Bemerkenswert ist, dass die wissenschaftliche Erforschung von *Orcinus orca* erst infolge der „Zoohaltung“ dieser Tiere begonnen hat: Anfang der 1960er Jahre begann man, im nördlichen Pazifik entlang der Küste British Columbias (Kanada) und Washingtons (U.S.A.), erstmals mit dem „Lebendfang“ von Orcas (vorwiegend Jungtieren), zwecks Verkauf an Delfinarien. Die Erforschung der in Delfinarien lebenden Orcas wiederum diente als „Initialzündung“ für die gezielte Durchführung von Freilandstudien an Orcas ab den 1970er Jahren, zunächst vor allem im Nordpazifik im Bereich des Bundesstaates Washington (U.S.A.) und der Provinz British Columbia (Kanada). Die im Nordpazifik lebenden Orca-Populationen – vor allem jene des „ortstreuen“, fischfressenden „Ökotyps“ (*residents*) – gehören inzwischen zu den am besten erforschten Orca-Populationen der Welt (vgl. z. B. Ford et al. 1998; Ford et al. 2000; zur Forschungsgeschichte vgl. Colby 2018): Hier wurde Grundlagenforschung geleistet, unter anderem auch im Hinblick auf die „Photo-Identifikation“

individueller Tiere, die ja auch eine Voraussetzung für wissenschaftliche Untersuchungen zur „Life History“ von *Orcinus orca*, zur Sozialstruktur und Lebensweise der Orca-Populationen darstellt, zur Differenzierung der unterschiedlichen „Ökotypen“ sowie zur Taxonomie. Besonders wertvoll ist, dass „Photo-Identifikation“ die Möglichkeit bietet, die Lebensgeschichten individueller Tiere im Freiland zu rekonstruieren, was beispielsweise auch im Vergleich mit den, in Delfinarien gehaltenen, Artgenossen von Bedeutung ist. Wichtige optische Merkmale, die zur Identifizierung individueller Tiere beitragen können, sind bei *Orcinus orca* insbesondere die Form und Größe der Rückenfinne, die Zeichnung im Rückenbereich rund um die Rückenfinne („Sattelfleck“), sowie die Zeichnung über den Augen („Augenfleck“), s. u.; Abb. 17 a.

Durch intensive, langjährige Beobachtung und Dokumentation kennt man in manchen Regionen der Welt bereits viele, unterschiedliche Individuen in den freilebenden Populationen von *Orcinus orca*. Hierzu gibt es öffentlich zugängliche Online-Datenbanken (beispielsweise: https://killerwhales.fandom.com/wiki/Category:Living_Wild_Orcas; abgerufen am 22.11.2025). Neben der individuellen Lebensgeschichte der Tiere können in vielen Fällen sogar „Familienstammbäume“ erstellt werden. In Abb. 17 a wird als Beispiel der Eintrag für das adulte Weibchen A-005 aus der iberischen Gruppe A (vgl. Abb. 17 b und 17 c) im Katalog der iberischen Orcas (<https://www.orcaiberica.org/en/catalogo>; abgerufen am 22.11.2025) gezeigt: Bei dem ca. 33-jährigen Weibchen (https://killerwhales.fandom.com/wiki/A-005_Lamari; abgerufen am 22.11.2025) handelt es sich um die Mutter mehrerer Jungtiere, die alle häufig mit Segelbooten interagieren.

Grundsätzlich sind die im Atlantik lebenden Orca-Populationen (z. B. vor den Küsten Spaniens, Portugals, Frankreichs, Norwegens, Islands und der britischen Inseln) weniger gut erforscht als jene, die im Pazifik vor der Nordwestküste Amerikas anzutreffen sind. Die lokale Bevölkerung, vor allem auf der iberischen Halbinsel, hat den freilebenden Orcas lange Zeit nur wenig Interesse entgegengebracht. Dies zeigt sich am Beispiel jener Orcas, die im Sommer die Meerenge von Gibraltar zwischen Spanien und Marokko aufsuchen, um Thunfisch zu jagen (<https://www.firmm.org/de/wale-delfine/orca>; abgerufen am 22.11.2025). Erst gegen Ende der 1990er Jahre wurde Katharina Heyer auf diese Orca-Population sowie auf die häufige Präsenz weiterer Wal- und Delfinarten in der Meerenge von Gibraltar aufmerksam, was als „Initialzündung“, sowohl für wissenschaftliche Freilandstudien (Esteban et al. 2016), als auch für den Walbeobachtungstourismus und den Aktivismus im Bereich des Meeres- und

Tierschutzes in dieser Region diene (Heyer 2016). Es ist besonders bemerkenswert, dass sich diese Orca-Population darauf „spezialisiert“ hat, den Körper des Thunfisches von den Leinen der Fischer herunterzubeißen, wobei sie den Kopf mit dem Haken zurücklassen. Diese Methode des Nahrungserwerbs ist für die Orcas deutlich energiesparender als ihre herkömmliche Fangmethode (nämlich kooperative „Thunfisch-Treibjagd“ im Familienverband), wird auch an Jungtiere weitergegeben, führt aber immer wieder zu Konflikten mit Fischern (<https://www.firmm.org/de/news/artikel/items/die-orcas-die-fischer-pluenderei-und-gegenseitigkeit>; abgerufen am 22.11.2025). Eine gute Zusammenfassung zur Situation der verschiedenen Arten der Ordnung Cetacea in der Meerenge von Gibraltar, unter besonderer Berücksichtigung der Mensch-Orca-Beziehung (Interaktionen mit Fischer- und Segelbooten; Kollisionen mit Containerschiffen; Überfischung; Unterwasserlärm; Forschung; Artenschutz; Ökotourismus/ Walbeobachtung), bietet eine halbstündige Dokumentation aus dem Jahr 2024 (<https://www.arte.tv/de/videos/115489-002-A/re-aufstand-der-orcas/>; abgerufen am 21.11.2025).

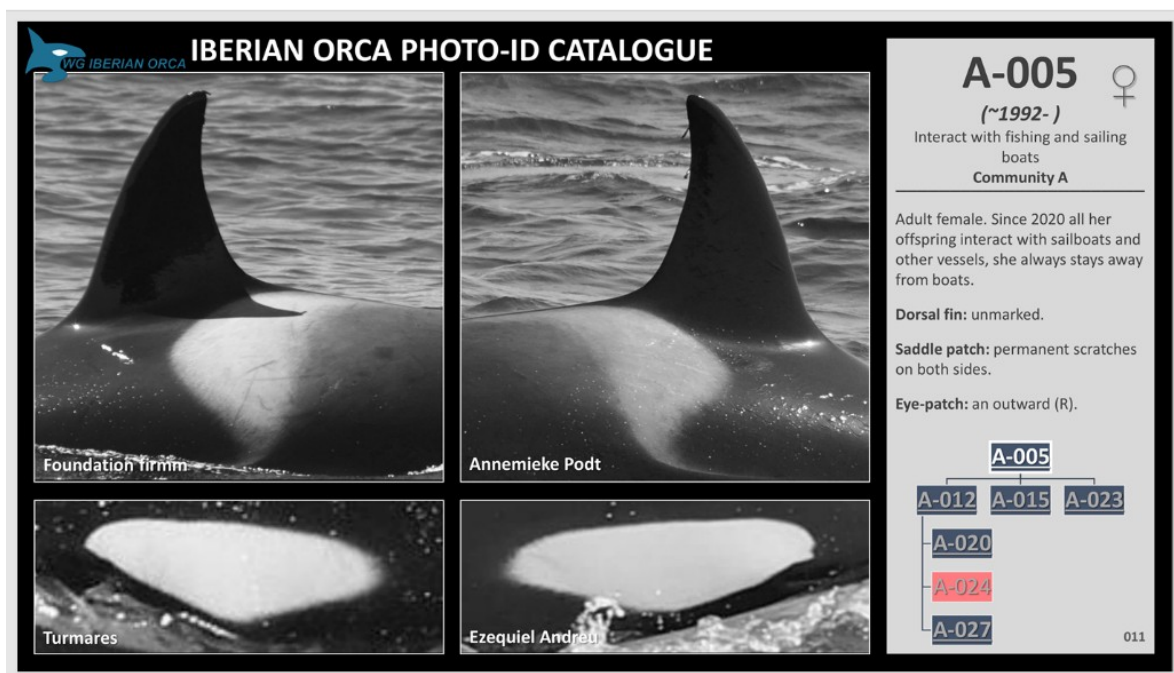


Abb. 17 a: Katalog der iberischen Orcas – Beispiel: A-005 (nach: <https://www.orcaiberica.org>)

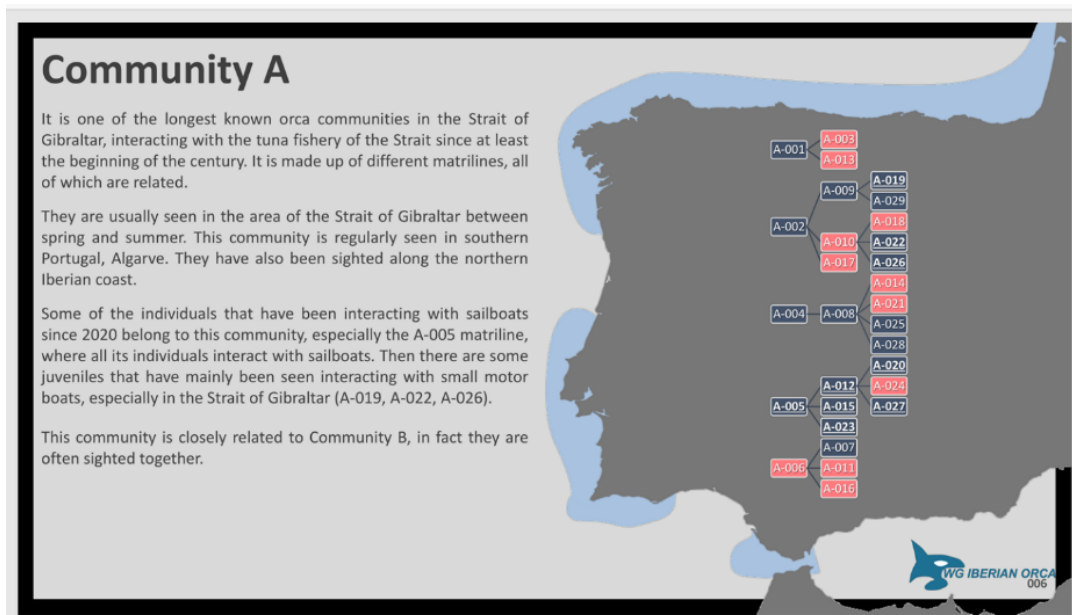


Abb. 17 b: Katalog der iberischen Orcas – Gruppe A (nach: <https://www.orcaiberica.org>)

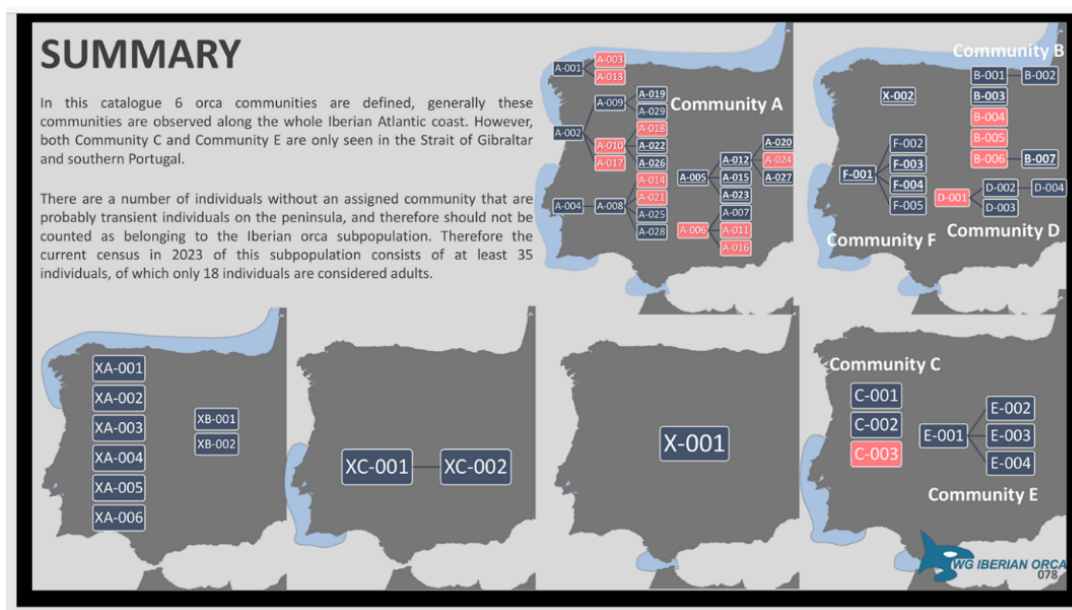


Abb. 17 c: Katalog der iberischen Orcas – Zusammenfassung (nach: <https://www.orcaiberica.org>)

Für die in Zoos, Delfinarien oder Themenparks lebenden Orcas (https://killerwhales.fandom.com/wiki/Category:Living_Orcas_in_Captivity; abgerufen am 22.11.2025) können in einigen Fällen besonders detaillierte Familienstammbäume erstellt werden, wie in Abb. 18 am Beispiel von Orcas des „Sea World“ Konzerns gezeigt wird. In den letzten Jahren ist in vielen Teilen der Welt allerdings das Bewusstsein für die Problematik der „Zoohaltung“ von Arten der Familie Delphinidae, insbesondere von *Orcinus orca*, gestiegen (<https://whalesanctuaryproject.org/wp-content/uploads/Report-on-Orca-Welfare-at-Loro->

[Parque-Past-and-Present.pdf](#); abgerufen am 22.11.2025). In der Kritik steht nicht nur die nicht artgerechte Haltung und Nutzung der Tiere zu Unterhaltungszwecken, sondern auch das Zuchtprogramm in einigen dieser Delfinarien (z. B. „Sea World“). Bei der Vermehrung von *Orcinus orca* in Delfinarien stellen Inzucht, der Einsatz von Tieren mit Verhaltensproblemen zur Zucht sowie Schwierigkeiten bei der Geburt und Aufzucht von Jungtieren häufige Probleme dar (<https://uk.whales.org/wp-content/uploads/sites/6/2025/06/captive-orcas-antibes-marineland-france-april-26-2025.pdf>; abgerufen am 22.11.2025; <https://uk.whales.org/wp-content/uploads/sites/6/2025/06/captive-orcas-loro-parque-spain-april-26-2025.pdf>; abgerufen am 22.11.2025). Die noch bestehenden Delfinarien in Europa und den U.S.A. geraten zunehmend unter Druck (<https://us.whales.org/our-goals/end-captivity/orca-captivity/>; abgerufen am 22.11.2025; <https://whalesanctuaryproject.org/whales/morgan-rescue-betrayal/>; abgerufen am 22.11.2025).

Dies führt jedoch zu weiteren, tierschutzrelevanten Problemen, wie das Beispiel jener Orcas und Delfine zeigt, die seit Anfang des Jahres 2025 in einem stillgelegten Themenpark in Antibes (Frankreich) ausharren müssen, bis eine Entscheidung bezüglich ihrer weiteren, möglichst artgerechten Unterbringung getroffen wird (<https://de.whales.org/2025/11/07/neues-delfinarium-frankreich/>; abgerufen am 22.11.2025). Da eine unmittelbare Auswilderung dieser Tiere ebenfalls mit Problemen verbunden ist, werden dringend geeignete Freilandgehege benötigt, allerdings wurde das seit langem geplante „Whale Sanctuary“ für Orcas aus Zoohaltung noch immer nicht fertiggestellt (<https://whalesanctuaryproject.org/>; abgerufen am 22.11.2025).

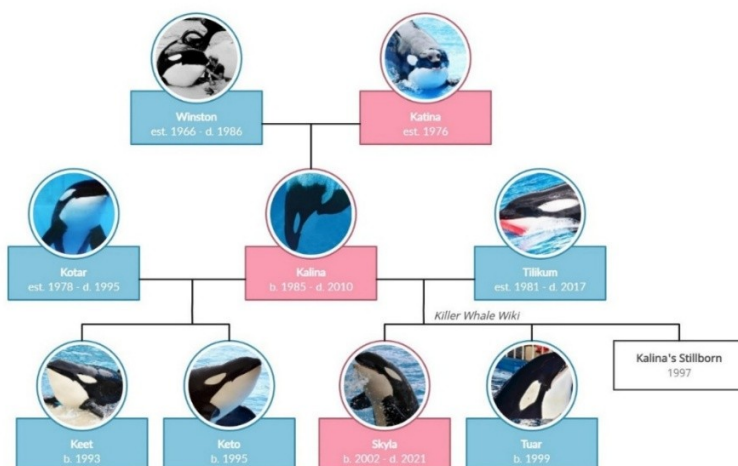


Abb. 18: Familienstammbaum von Orcas aus dem Zuchtprogramm der „Sea World“ Themenparks

7.2.2 Vorschläge zur Erstellung von Onlineressourcen

Bei der Erstellung von Onlineressourcen zur Förderung des “Tree Thinking“ sollte man beachten, dass es von Vorteil ist, wenn die Lernenden sich aktiv mit den Lernmaterialien beschäftigen und sowohl miteinander (z. B. Gruppenarbeiten), als auch mit den Onlineressourcen (z. B. Beantwortung von Quizfragen mit unmittelbaren Rückmeldungen) interagieren können: In diesem Zusammenhang ist der Einsatz von Lernspielen (“*game based learning*“), des forschend-entdeckenden Lernens (“*inquiry-based learning*“), sowie von Stammbaummodellen und animierten Stammbaumdiagrammen von besonderer Bedeutung. Auch informative, motivierend gestaltete Übungsmaterialien und Lehrvideos spielen eine zentrale Rolle. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, dass nicht nur digitale, sondern auch analoge Materialien angeboten werden, die ausgedruckt und „offline“ verwendet werden können.

Eine gute Möglichkeit zur Anwendung der Grundlagen des “Tree Thinking“ (vgl. Kap. 7.1) wäre beispielsweise die Erstellung von Informations- und Übungsmaterial zum Thema „Wale und Delfine in der Meerenge von Gibraltar“ in Form eines Comics, in Anlehnung an vergleichbares Lehrmaterial zu botanischen Themen auf der Website “Understanding Evolution – The Tree Room“ (<https://evolution.berkeley.edu/teach-resources/plant-on-a-rampage/>; abgerufen am 29.10.2025): Eine informative und motivierende Rahmengeschichte, in Comicform, erzählt kurze Episoden aus dem Arbeitsalltag von Meeresbiologen, in der die Lernenden selbst zu Forschenden werden sollen, indem sie eine Reihe von Aufgaben zu phylogenetischen Stammbäumen lösen. Eventuell sind auch andere Akteure (z. B. Touristen, Segler, Fischer) Teil der Rahmenhandlung, wodurch eine Vielzahl von Fragestellungen, im Spannungsfeld zwischen Evolutionsbiologie, Phylogenetik, Ökologie, Umweltschutz und Mensch-Tier-Beziehung, angerissen werden könnten: Mögliche Probleme, die allgemein für die Lebensbedingungen von Walen und Delfinen in der Meerenge von Gibraltar relevant sind, wären beispielsweise: Nahrungskonkurrenz/Überfischung, Umweltverschmutzung/Müll, Unterwasserlärm, Kollisionen mit Containerschiffen und Schnellfähren und Walbeobachtungstourismus. Für die Übungsaufgaben zum “Tree Thinking“ werden durchwegs phylogenetische Stammbaumdiagramme verwendet, die für Lernende geeignet sind (vgl. Kap. 4.2 und 5.1). Es handelt sich um online verfügbares, jedoch analog verwendbares, Informations- und Übungsmaterial für Lernende ab der Sekundarstufe 1 (in ausgedruckter Form; pdf-Format). Auch ein Lösungsschlüssel für die Übungsaufgaben ist verfügbar. Im Mittelpunkt sollen die

iberischen Orca-Populationen stehen, da es sich um ein sehr aktuelles Thema handelt (s. o., Kap. 7.2.1): Wichtige Aspekte sind in diesem Zusammenhang vor allem die Interaktionen bestimmter Individuen aus diesen Populationen mit Segelbooten vor der iberischen Küste, die Gründe für die Gefährdung dieser stark dezimierten Populationen, sowie die Interaktionen mit Fischerbooten (<https://www.firmm.org/de/wale-delfine/orca>; abgerufen am 22.11.2025).

Für die Gestaltung digitaler und analoger Lehr-Lern-Ressourcen zum “Tree Thinking“ könnten eventuell ausgewählte Abbildungen aus Photo-ID-Katalogen verschiedenster Arten von Walen und Delfinen verwendet werden. Für *Orcinus orca*, beispielsweise für die iberischen Orca-Populationen, liegen Photo-ID-Kataloge bereits in detaillierter Form vor (s.o., Kap. 7.2.1). Hieraus könnte man Bildkärtchen erstellen, die als Grundlage für die Gestaltung „phylogenetischer Lernspiele“ (digital oder analog) dienen könnten. Zudem gibt es zahlreiche Möglichkeiten, mithilfe von Bildkärtchen (von Individuen/ Ökotypen/ Arten etc.) das “Tree Thinking“ zu fördern, beispielsweise durch Sortieren (Kreis-in-Kreis-Diagramme) und die Erstellung von Stammbäumen (z. B. als Plakat oder auf einem Whiteboard) oder dreidimensionalen Stammbaummodellen. Bei Letzteren gibt es zwei Möglichkeiten: Erstens ein einfaches Mobile mit Bildern, das rotiert und zudem alternativ zur Darstellung eines Familienstammbaums oder eines phylogenetischen Stammbaumes verwendet werden kann. Zweitens ein phylogenetisches Stammbaummodell aus farbigem Pfeifendraht (Halverson 2010). Beide Varianten könnten auch in ein Lehrvideo integriert werden, als Unterstützung beim Erklären: Mithilfe von Stammbaummodellen, vom Familienstammbaum zum phylogenetischen Stammbaum, kann versucht werden, die Verbindung zwischen einzelnen Lebewesen, über individuelle Verwandtschaft, über die Art, zu taxonomischen Gruppen höherer Ordnung zu verdeutlichen und somit die Konzepte “Tree Thinking“ und “Population Thinking“ miteinander zu verbinden (Meisel 2010).

Ein weiterer, geeigneter Ansatz, um im Rahmen von digitalen Lehr-Lern-Ressourcen zum “Tree Thinking“, die praktische Bedeutung phylogenetischer Stammbäume zu verdeutlichen, könnten „Schlagzeilen“ aus den Medien sein (Thanukos 2010). Der Themenschwerpunkt „Evolution der Wale und Delfine“, unter besonderer Berücksichtigung von *Orcinus orca*, bietet diesbezüglich zahlreiche Anknüpfungspunkte, im Spannungsfeld zwischen Evolutionsbiologie, Phylogenetik und anderen Fachbereichen der Lebenswissenschaften (s. o. und Kap. 7.2.1). Hier sollen exemplarisch zwei aktuelle „Schlagzeilen“ angeführt werden, die sich – ergänzt durch einfache phylogenetische Stammbaumdiagramme – als Anwendungsbeispiele zum “Tree

Thinking“ eignen würden: Erstens eine Meldung zu kooperativem Jagdverhalten von Orcas und Weißstreifendelfinen in British Columbia, Kanada (<https://science.orf.at/stories/3233323/>; abgerufen am 12.12.2025) und zweitens ein Bericht über das Schicksal von Tieren in aufgelassenen Delfinarien (<https://animaljustice.ca/blog/france-orcas-marineland-belugas>; abgerufen am 12.12.2025). Zahlreiche weitere Beispiele für geeignete Anknüpfungspunkte aus der medialen Berichterstattung zum Thema Wale und Delfine wurden bereits im Rahmen der Zusammenstellung des fachlichen Hintergrunds vorgestellt (vgl. Kap. 7.2.1).

8 Zusammenfassung

Der Erwerb von “Tree Thinking“- Kompetenzen kann entscheidend zum Verständnis wichtiger Grundkonzepte der Evolutionstheorie beitragen und somit die Basis für eine fundierte biologische und naturwissenschaftliche Grundbildung legen. Online-Lehr-Lern-Ressourcen spielen nicht nur im Kontext der informellen und der non-formalen Bildung (z. B. Erwachsenenbildung, „lebenslanges Lernen“, außerschulisches Lernen, „Edutainment“ für verschiedene Zielgruppen), sondern auch im Bereich der formalen Bildung (Schule, Universität) eine wichtige Rolle. Digitale Ressourcen eignen sich optimal zur Förderung von Lernprozessen, wobei für effektives Lernen mithilfe digitaler Medien eine konstruktivistische und situierte Lernumgebung vorteilhaft ist. Im Zentrum meiner Masterarbeit stand eine „Bestandsaufnahme“ und Bewertung von Online-Lehr-Lern-Ressourcen zum Thema “Tree Thinking“, unter besonderer Berücksichtigung einer vergleichenden Betrachtung im internationalen Kontext (Vergleich von Online-Lehr-Lern-Ressourcen zum Thema “Tree Thinking“ im deutsch-/ englischsprachigen Raum). Der Kriterienkatalog zur Bewertung von digitalen Lehr-Lernressourcen zum “Tree Thinking“ wurde in Anlehnung an das Bewertungsschema für Computerprogramme mit biologischer Thematik von Gropengießer et al. (2010) erstellt: Die quantitative Bewertung erfolgte aufgrund von zwei fachwissenschaftlichen, sechs fachdidaktischen, vier mediendidaktischen und drei medientechnischen Kriterien. Die Stichprobe umfasste jeweils 10 englischsprachige und 10 deutschsprachige digitale Lehr-Lern-Ressourcen zum “Tree Thinking“ (vgl. Kap. 4.3 und 5.2).

Das Ziel meiner Masterarbeit war es, einen Beitrag zur Beantwortung folgender Forschungsfragen zu leisten:

1. Wie kann man bei Lernenden im Fach Biologie die Fähigkeit, phylogenetische Stammbäume korrekt zu lesen und zu verstehen, fördern?

2. Welchen Beitrag können digitale Ressourcen hierzu leisten?
3. Inwiefern sind solche digitalen Ressourcen derzeit (im deutsch-/ englischsprachigen Raum) vorhanden?
4. Welche Aspekte sind bei der Gestaltung von digitalen Ressourcen zum “Tree Thinking“ im deutschsprachigen Raum von besonderer Bedeutung?
5. Wie könnte eine deutschsprachige Website zum “Tree Thinking“ für Lernende der Sekundarstufe aussehen?

Eine wichtige Voraussetzung dafür, dass Lernende im Fach Biologie die Fähigkeit zur korrekten Interpretation phylogenetischer Stammbäume (“Tree Thinking“) erwerben können, ist die Verwendung geeigneter Diagramme im Unterricht und zur Gestaltung von Lehr-Lern-Ressourcen. Hinsichtlich der Eignung eines phylogenetischen Stammbaumes für Lernende spielen nicht nur inhaltliche und fachdidaktische Faktoren, sondern auch die Gestaltung eine Rolle. Aus fachlicher Sicht ist entscheidend, dass die im Unterricht oder zur Erstellung von Lehr-Lern-Ressourcen verwendeten phylogenetischen Stammbäume wissenschaftlich korrekt sind und möglichst den aktuellen Forschungsstand zur Phylogenie der dargestellten Taxa reflektieren. In diesem Zusammenhang sind auch vollständige Quellenangaben (inkl. Erscheinungsjahr) wünschenswert. Aus fachdidaktischer Sicht ist zu beachten, dass dem Entstehen von Fehlkonzepten zur Evolutionsbiologie entgegengewirkt werden soll: Aus den Alltagsvorstellungen der Lernenden sollen fachlich korrekte Vorstellungen werden.

Folgende Merkmale sind charakteristisch für ein phylogenetisches Stammbaumdiagramm, das für Lernende optimal geeignet ist:

- Gewurzelter Stammbaum
- Zeitachse oder Zeitangaben vorhanden
- Überschaubare Größe (geringe Anzahl der Arten)
- Basierend auf dichotomen Verzweigungen
- Rechteckiges Format
- Horizontale Orientierung, Wurzel links
- Ausgestorbene Arten werden gekennzeichnet
- Linien gleicher Länge und Stärke
- Apomorphe Merkmale werden angeführt (unterhalb der Nodien)
- Beschriftungen – korrekt, sparsam, nur am Ende, keine Taxa als Vorfahren

Derzeit sind bezüglich des Angebots an Online-Lehr-Lern-Ressourcen zum Thema “Tree Thinking“ grundlegende Unterschiede zwischen dem englischen und dem deutschen Sprachraum erkennbar. Bereits im Zuge der vorbereitenden Internetrecherche zeigte sich, dass deutschsprachige Materialien zum Thema “Tree Thinking“ derzeit nur weit verstreut, vorwiegend innerhalb größerer Sammlungen von thematisch diversen Online-Lehr-Lernressourcen verfügbar sind. Die Unterschiede bezüglich des aktuell verfügbaren Angebots digitaler Lehr-Lern-Ressourcen zur Förderung des “Tree Thinking“ werden noch deutlicher, wenn man die Ergebnisse der quantitativen Bewertung ausgewählter Beispiele aus dem englischen und deutschen Sprachraum miteinander vergleicht: Bei den im Rahmen dieser Arbeit analysierten Onlinere Ressourcen (zu den Ergebnissen, vgl. Kap. 5.2; zum Bewertungsschema, vgl. Kap. 4.3) ist die durchschnittliche Punkteanzahl aller englischsprachigen Beispiele (Nr. 1-10) mit 92,2 Punkten deutlich höher als die durchschnittliche Punkteanzahl für die Gesamtheit der deutschsprachigen Beispiele (Nr. 11-20), die nur 85,9 Punkte beträgt. Auffallend ist, dass die beiden Ressourcen mit der insgesamt höchsten Punktezahl (Nr. 1 – The Tree Room und Nr. 2 – PBS/ Nova Evolution Lab) beide aus dem englischsprachigen Raum stammen: Es handelt sich um umfangreiche sowie informativ, motivierend und multimedial gestaltete Websites aus den U.S.A. Im deutschsprachigen Raum fehlen bisher Online-Lehr-Lern-Ressourcen vergleichbarer Qualität, sowohl in fachlicher als auch in fachdidaktischer Hinsicht. Derzeit gibt es im deutschsprachigen Raum keine Online-Ressource, die sich derart ausführlich, fundiert und multimedial mit phylogenetischen Stammbäumen sowie dem entsprechenden, evolutionsbiologischen Kontext befasst wie diese beiden englischsprachigen Beispiele. Einige der deutschsprachigen Onlinere Ressourcen zum Thema “Tree Thinking“ sind zwar fachlich korrekt, weisen jedoch Mängel in der Gestaltung auf: Solche Ressourcen können durchaus informativ sein, eignen sich jedoch nicht gut dafür, Lernende im schulischen Kontext für eine Beschäftigung mit dem Thema Evolution zu motivieren.

Folgende Aspekte sind für die Qualität von Online-Lehr-Lern-Ressourcen zum “Tree Thinking“ von zentraler Bedeutung und sollten daher bei der Neuerstellung deutschsprachiger, digitaler Ressourcen unbedingt berücksichtigt werden:

- Wissenschaftliche Korrektheit & Aktualität (auch bzgl. der Gestaltung der phylogenetischen Stammbaumdiagramme)
- Zielgruppe(n) klar definiert; Orientierung an Zielgruppe(n)

- Alltagsvorstellungen werden berücksichtigt (auch bzgl. Terminologie); Vorwissen wird aktiviert (wenn mgl. Erhebung von Vorstellungen & Vorwissen der Lernenden).
- Differenzierung & Individualisierung des Lernens
- Aktivitäten für die Lernenden: Forschend-entdeckendes Lernen (*inquiry-based learning*) & Lernspiele (*game-based learning*).
- Struktur: Übersichtliche Gestaltung der Website, klare Gliederung; Informationen sind leicht auffindbar.
- Ausgewogenes Text-Bild-Verhältnis
- Sprache: Einfach, kurz, klar, prägnante Formulierungen; angemessene Terminologie
- Motivation: Die Inhalte der Website sollten die Motivation der Lernenden, sich mit evolutionsbiologischen Inhalten zu beschäftigen, fördern. In diesem Zusammenhang sind sowohl inhaltliche Aspekte (z. B. geeignete Anwendungsbeispiele) als auch die Gestaltung (z. B. medial & methodisch vielfältig) relevant.
- Bezug zur Lebenswelt/ Anwendungsbeispiele phylogenetischer Stammbäume
- Mediale Vielfalt der Lehr-Lernangebote (unterschiedliche Medien; außer Text, Bild & Diagramm; Videos; Verwendung von Animationen; digitale Lernspiele)
- Digitale und analoge Lehr-Lernressourcen verfügbar

Die Neuerstellung von deutschsprachigen Materialien zur Förderung des “Tree Thinking“ wäre wünschenswert, erste Überlegungen dazu wurden in Kap. 7 präsentiert. Insbesondere für die Sekundarstufe 1 besteht noch großer Bedarf an deutschsprachigen Onlinere Ressourcen, da für diese Zielgruppe bisher nur einzelne Ressourcen zur Förderung des “Tree Thinking“ verfügbar sind, obwohl es aus fachdidaktischer Sicht sinnvoll wäre, phylogenetische Stammbaumdiagramme im evolutionsbiologischen Kontext bereits so früh wie möglich im Biologieunterricht der Sekundarstufe einzuführen (vgl. z. B. Russell & Mc Guigan 2019; Graf 2024). Zudem könnte die Übersetzung von ausgewählten Unterrichtsmaterialien zum “Tree Thinking“ ins Deutsche sinnvoll sein. Hier würde sich eine Kooperation mit “The Tree Room“ (Universität Berkeley (U.S.A.) anbieten, da einige Teilbereiche und einzelne Unterrichtsmaterialien dieser Onlinere Ressource bereits in andere Fremdsprachen übersetzt worden sind.

Literaturverzeichnis

Baum, D. A., DeWitt-Smith, S., & Donovan, S. (2005). The Tree-Thinking Challenge. *Science*, 310, 979-980.

Beniermann, A. (2024). Evolution in der Grundschule. In: Gemballa, S. & Kattmann, U. (Hrsg.), *Didaktik der Evolutionsbiologie. Zwischen Fachkonzepten und Alltagsvorstellungen vermitteln*. Springer Spektrum, 397-414.

Bokor, J.R., Landis, J.B., & Crippen, K.J. (2014). High School Students' Learning and Perceptions of Phylogenetics of Flowering Plants. *Life Sciences Education* 13, Winter 2014, 653-665.

Brent, L.J.N., Franks, D.W., Foster, E. A., Balcomb, K. C., Cant, M. A., Croft, D. P. (2015). Ecological Knowledge, Leadership, and the Evolution of Menopause in Killer Whales, *Current Biology* 25(6), 746-750. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.01.037>.

Catley, K. M., & Novick, L. R. (2008). Seeing the Wood for the Trees: An analysis of evolutionary diagrams in biology textbooks. *BioScience*, 58(10), 976-987.

Catley, K. M., Novick, L. R., & Shade, C. K. (2010). Interpreting evolutionary diagrams: When topology and process conflict. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(7), 861-882. <https://doi.org/10.1002/tea.20384>

Catley, K. M., Novick, L. R. & Funk, D. J. (2012). The Promise and Challenges of Introducing Tree Thinking into Evolution Education. In: Rosengren, K. S., Brem, S. K., Evans, E. M. & Sinatra, G. M. (Eds.), *Evolution Challenges. Integrating Research and Practice in Teaching and Learning about Evolution*. Oxford University Press, Oxford/ New York, 93-118.

Catley, K. M., Phillips, B. C., & Novick, L. R. (2013). Snakes and Eels and Dogs! Oh, My! Evaluating High School Students' Tree-Thinking Skills: An Entry Point to Understanding Evolution. *Research in Science Education*, 43(6), 2327–2348. <https://doi.org/10.1007/s11165-013-9359-9>

Colby, J. M. (2018). Orca. How we came to know and love the Ocean's Greatest Predator, Oxford University Press, Oxford – New York.

Daniel, A. & Maaz, K. (2023). Schlüsselherausforderungen im Bildungssystem – Was kann Digitalisierung leisten und was nicht? In: Boesken, G., Krämer, A., Mathiesen, T., Panagiotopoulou, J.A., Springob, J. (Hrsg.), Zukunft Bildungschancen: Ergebnisse und Perspektiven aus Forschung und Praxis, Waxmann Verlag, 77-92.

Eddy, S.L., Crowe, A.J., Wenderoth, M.P. & Freeman, S. (2013). How should we teach tree-thinking? An experimental test of two hypotheses. *Education and Outreach* 2013, 6:13, 1-11.
<http://www.evolution-outreach.com/content/6/1/13>

Esteban, R., Verborgh, P., Gauffier, P., Giménez, J., Guinet, C. & Stephanis, R. (2016). *Dynamics of killer whale, bluefin tuna and human fisheries in the Strait of Gibraltar*. *Biological Conservation* 194, 31-38.

Ford, J. K. B., Ellis, G. M. & Barrett-Lennard, L. G. (1998). Dietary specialization in two sympatric populations of killer whales (*Orcinus orca*) in coastal British Columbia and adjacent waters. *Canadian Journal of Zoology*, 76, 1456–1471.

Ford, J. K. B., Ellis, G. M. & Balcomb, K. C. I. (2000). *Killer Whales: The Natural History and Genealogy of Orcinus orca in British Columbia and Washington State*, 2nd edn. University of British Columbia Press, Vancouver.

Gembala, S. (2024a). Rekonstruktion der Stammesgeschichte: Naturwissenschaftlicher Erkenntnisweg im Kontrast zu lebensweltlichen Vorstellungen. In: Gembala, S. & Kattmann, U. (Hrsg.), *Didaktik der Evolutionsbiologie. Zwischen Fachkonzepten und Alltagsvorstellungen vermitteln*. Springer Spektrum, 215-233.

Gembala, S. (2024b). Fenster in die Vergangenheit: Fossilien und die Rekonstruktion evolutiver Transformationen. In: Gembala, S. & Kattmann, U. (Hrsg.), *Didaktik der Evolutionsbiologie. Zwischen Fachkonzepten und Alltagsvorstellungen vermitteln*. Springer Spektrum, 235-248.

Gemballa, S. (2024c). Stammesgeschichtlich bedingte Ähnlichkeiten und funktionsbedingte Ähnlichkeiten: Homologie und Konvergenz. In: Gemballa, S. & Kattmann, U. (Hrsg.), Didaktik der Evolutionsbiologie. Zwischen Fachkonzepten und Alltagsvorstellungen vermitteln. Springer Spektrum, 249-262.

Gemballa, S. & Kattmann, U. (2024a). Einführung in “Didaktik der Evolutionsbiologie”. In: Gemballa, S. & Kattmann, U. (Hrsg.), Didaktik der Evolutionsbiologie. Zwischen Fachkonzepten und Alltagsvorstellungen vermitteln. Springer Spektrum, 3-15.

Gemballa, S. & Kattmann, U. (2024b). Evolutionsbiologie lehren und lernen: Bildungsstandards für die Sekundarstufe II. In: Gemballa, S. & Kattmann, U. (Hrsg.), Didaktik der Evolutionsbiologie. Zwischen Fachkonzepten und Alltagsvorstellungen vermitteln. Springer Spektrum, 431-450.

Graf, D. (2024). Lehren und Lernen der Evolutionsbiologie in der Sekundarstufe I. In: Gemballa, S. & Kattmann, U. (Hrsg.), Didaktik der Evolutionsbiologie. Zwischen Fachkonzepten und Alltagsvorstellungen vermitteln. Springer Spektrum, 415-430.

Gregory, T. R. (2008). Understanding Evolutionary Trees. *Evolution: Education and Outreach*, 1(2), 121–137. <https://doi.org/10.1007/s12052-008-0035-x>

Gropengiesser, H., Kattmann, U. & Krüger, D. (2010). Biologiedidaktik in Übersichten (Aulis Verlag).

Groß, J. (2024). Humanevolution mit Stammbaumhypothesen vermitteln: Nicht “höher”, sondern anders. In: Gemballa, S. & Kattmann, U. (Hrsg.), Didaktik der Evolutionsbiologie. Zwischen Fachkonzepten und Alltagsvorstellungen vermitteln. Springer Spektrum, 263-281.

Halverson, K. L. (2010). Using pipe cleaners to bring the tree of life to life. *The American Biology Teacher*, 72(4), 223-224.

Harms, U., & Reiss, M. J. (Hrsg.). (2019). Evolution Education Re-considered: Understanding What Works. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-14698-6>

Harms, U. & Kattmann, U. (2020). Sprache. In: Gropengießer, H., Harms, U. & Kattmann, U. (Hrsg.), Fachdidaktik Biologie, 12. Auflage. Aulis Verlag, Hannover, 378-389.

Heyer, K. (2016). Herzenssache. Mein Leben mit den Walen und Delfinen in der Straße von Gibraltar (Wörterseh Verlag, Gockhausen).

Kattmann, U. (2007). Didaktische Rekonstruktion – eine praktische Theorie. In: Krüger, D. & Vogt, H. (Hrsg.), Theorien in der biologiedidaktischen Forschung, 93-104. Springer Verlag, Berlin.

Kattmann, U. (2016). Schüler besser verstehen. Alltagsvorstellungen im Biologieunterricht (Aulis Verlag, Hallbergmoos, 2. Auflage).

Kattmann, U. (2020a). Diagramme. In: Gropengießer, H., Harms, U. & Kattmann, U. (Hrsg.), Fachdidaktik Biologie, 12. Auflage. Aulis Verlag, Hannover, 360-377.

Kattmann, U. (2020b). Vielfalt und Funktionen von Unterrichtsmedien. In: Gropengießer, H., Harms, U. & Kattmann, U. (Hrsg.), Fachdidaktik Biologie, 12. Auflage. Aulis Verlag, Hannover, 344-349.

Kattmann, U. (2024). Die Frage der Höherentwicklung in der Evolution. In: Gemballa, S. & Kattmann, U. (Hrsg.), Didaktik der Evolutionsbiologie. Zwischen Fachkonzepten und Alltagsvorstellungen vermitteln. Springer Spektrum, 201-214.

Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H. & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 3/3, 3-18.

Kattmann, U., Baalman, W. & Hörsch, C. (2007). Die Bedeutung von Alltagsvorstellungen für den Biologieunterricht. Unterricht Biologie 329/2007/Kompakt, 2-6.

Kelemen, D. (2012). Teleological Minds: How Natural Intuitions about Agency and Purpose Influence Learning about Evolution. In: Rosengren, K. S., Brem, S. K., Evans, E. M. & Sinatra,

G. M. (Eds.), *Evolution Challenges. Integrating Research and Practice in Teaching and Learning about Evolution*. Oxford University Press, Oxford/ New York, 66-92.

Kong, Y., Anderson, T., & Pelaez, N. (2016). How to Identify and Interpret Evolutionary Tree Diagrams. *Journal of Biological Education*, 50(4), 395–406. <https://doi.org/10.1080/00219266.2015.1117514>

Krüger, D. (2007). Die *Conceptual Change*-Theorie. In: Krüger, D. & Vogt, H. (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung*, 81-92. Springer Verlag, Berlin.

Kummer, T.A., Whipple, C.J. & Jensen, J.L. (2016). Prevalence and Persistence of Misconceptions in Tree Thinking. *Journal of Microbiology & Biology Education*, December 2016, 389-398. DOI: <http://dx.doi.org/10.1128/jmbe.v17i3.1156>

Leopold, L. (2020). *Evolution als Thema im Schulunterricht: Analyse von Stammbaumdarstellungen auf Basis eines Kriterienkataloges und Diskussion der Resultate im didaktischen Kontext* (unpublizierte Diplomarbeit, Universität Wien).

MacDonald, T. (2010). Communicating phylogeny: evolutionary tree diagrams in museums. Paper presented at the NARST (National Association for Research in Science Teaching) conference; Philadelphia.

Matuk, C. & Uttal, D. (2012). Narrative Spaces in the Representation and Understanding of Evolution. In: Rosengren, K. S., Brem, S. K., Evans, E. M. & Sinatra, G. M. (Eds.), *Evolution Challenges. Integrating Research and Practice in Teaching and Learning about Evolution*. Oxford University Press, Oxford/ New York, 119-144.

Mayer, R. E. (2001). *Multimedia Learning*. Cambridge: University Press.

Mayer, R. E., & Moreno, R. (2002). Animation as an aid to multimedia learning. *Educational psychology review*, 14, 87-99.

Meisel, R. P. (2010). Teaching Tree-Thinking to Undergraduate Biology Students. *Evolution: Education and Outreach*, 3(4), 621–628. <https://doi.org/10.1007/s12052-010-0254-9>

Novick, L. R., & Catley, K. M. (2007). Understanding Phylogenies in Biology: The Influence of a Gestalt Perceptual Principle. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 13, 197-223.

Pflügersdorff, G. (2020). Computer. In: Gropengießer, H., Harms, U. & Kattmann, U. (Hrsg.), *Fachdidaktik Biologie*, 12. Auflage. Aulis Verlag, Hannover, 395-410.

Podani, J. (2019). The Coral of Life. *Evolutionary Biology* 46, 123-144.
<https://doi.org/10.1007/s11692-019-09474-w>

Porges, K. (2021). Unterrichtsmedien für den Biologieunterricht: von der Realität in die Digitalität. In: Herbsttagungen Osnabrück 2020 „Digitalisierung in Naturkundemuseen“. *Natur im Museum* 11, 23-29.

Posner, G., Strike, K., Hewson, P. & Gertzog, W. (1982). Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66/2, 211-227.

Punyasettro, S., & Yasri, P. (2021). A game-based learning activity to promote conceptual understanding of chordates' phylogeny and self-efficacy to learn evolutionary biology. *European Journal of Educational Research*, 10(4), 1937-1951. <https://doi.org/10.12973/eu-jer.10.4.1937>

Ranney, M. A. (2012). Why Don't Americans Accept Evolution as Much as People in Peer Nations Do? A Theory (Reinforced Theistic Manifest Destiny) and Some Pertinent Evidence. In: Rosengren, K. S., Brem, S. K., Evans, E. M. & Sinatra, G. M. (Eds.), *Evolution Challenges. Integrating Research and Practice in Teaching and Learning about Evolution*. Oxford University Press, Oxford/ New York, 233-269.

Riemeier, T. (2007). Moderater Konstruktivismus. In: Krüger, D. & Vogt, H. (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung*, 69-79. Springer Verlag, Berlin.

Russell, T. & Mc Guigan, L. (2019). Developmental Progression in Learning about Evolution in the 5-14 Age Range in England. In: Harms, U. & Reiss, M.J. (Eds.), *Evolution Education Re-considered. Understanding what works* (Springer Nature Switzerland, Cham) 59-80.

Schramm, T., & Schmiemann, P. (2019). Teleological pitfalls in reading evolutionary trees and ways to avoid them. *Evolution: Education and Outreach*, 12(1), 20. <https://doi.org/10.1186/s12052-019-0112-3>

Schramm, T., Jose, A. & Schmiemann, P. (2021). Seeing the Woods for the Trees Again: Analyzing Evolutionary Diagrams in German and US University-Level Textbooks. *Educ. Sci.* 2021, 11, 367. <https://doi.org/10.3390/educsci11080367>

Shtulman, A. & Calabi, P. (2012). Cognitive Constraints on the Understanding and Acceptance of Evolution. In: Rosengren, K. S., Brem, S. K., Evans, E. M. & Sinatra, G. M. (Eds.), *Evolution Challenges. Integrating Research and Practice in Teaching and Learning about Evolution*. Oxford University Press, Oxford/ New York, 47-66.

Thanukos, A. (2010). Evolutionary Trees from the Tabloids and Beyond. *Evolution: Education and Outreach* 3(4), 563-572.

Thanukos, A. & Scotchmoor, J. (2012). Making Connections. *Evolution and the Nature and Process of Science*. In: Rosengren, K. S., Brem, S. K., Evans, E. M. & Sinatra, G. M. (Eds.), *Evolution Challenges. Integrating Research and Practice in Teaching and Learning about Evolution*. Oxford University Press, Oxford/ New York, 410-428.

Unterbruner, U. (2007). Multimedia-Lernen und Cognitive Load. In: Krüger, D. & Vogt, H. (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung*, Springer Verlag, Berlin, 153-164.

Zabel, J. (2020). Erkenntnistheorie und Lernen. In: Gropengießer, H., Harms, U. & Kattmann, U. (Hrsg.) *Fachdidaktik Biologie*, 12. Auflage. Aulis Verlag, Hannover, 98-104.

Zabel, J. & Gropengießer, H. (2011). Learning progress in evolution theory: Climbing a ladder or roaming a landscape? *Journal of Biological Education*, 45/3, 143-149.

Anhang A: Verzeichnis verwendeter digitaler Ressourcen zum “Tree Thinking“

1. The Tree Room

<https://evolution.berkeley.edu/the-tree-room/> (abgerufen am 07.08.2025)

2. PBS/ Nova Evolution Lab

<https://www.pbslearningmedia.org/collection/nova-premium-collection/nova-labs-and-interactives/evolution-lab/> (abgerufen am 07.08.2025)

(aktuell verlinkt mit Tree Room Website)

3. TimeTree5: The Timescale of Life

<https://timetree.org/resources#EducationResources> (abgerufen am 08.08.2025)

(aktuell verlinkt mit Tree Room und PBS Evolution Lab Websites)

4. The Biology of Sex and Death

<https://bio1220.biosci.gatech.edu/life-birth-or-formation-of-biological-systems/how-do-we-know-about-the-history-life-on-earth/> (abgerufen am 23.07.2025)

(basiert zum Teil auf Inhalten des Tree Room und nennt diesen auch als Quelle)

5. Phylogeny: How we’re all related (Crash Course Biology #17); hhmi BioInteractive

<https://www.youtube.com/watch?v=YM6Ekb5De2o> (abgerufen am 07.08.2025)

6. Intro to Cladograms and Phylogenetic Trees (Amoeba Sisters)

<https://www.youtube.com/watch?v=cIQobFHFwcM> (abgerufen am 07.08.2025)

7. How do you read Evolutionary Trees? (You Too Bio)

<https://www.youtube.com/watch?v=Xd6Tc7tGOec> (abgerufen am 08.08.2025)

8. Clint Explains: Phylogenetic Trees

<https://www.youtube.com/watch?v=SqmblucbOzk> (abgerufen am 08.08.2025)

9. Wikipedia: Phylogenetic tree & Cladogram (including related terminology)

https://en.wikipedia.org/wiki/Phylogenetic_tree (abgerufen am 07.08.2025)

<https://en.wikipedia.org/wiki/Cladogram> (abgerufen am 21.08.2025)

10. Shape of Life: The Story of the Animal Kingdom

<https://www.shapeoflife.org/> (abgerufen am 08.08.2025)

11. Internet-Evoluzzer (Darwinator)

<https://internet-evoluzzer.de/kladistik-tutorial-2-stammbaeume-richtig-lesen/> (abgerufen am 23.07.2025)

12. Planet Schule

https://www.planet-schule.de/sf/spezial/spezial_evolution.php (abgerufen am 23.07.2025)

https://www.planet-schule.de/mm/stammbaum_des_menschen/ (abgerufen am 07.08.2025)

https://www.planet-schule.de/planet-schule-suche-100.html?swx_ps_q=stammbaum&swx_schoolclassesfrom=1&swx_schoolclassesto=13
(abgerufen am 07.08.2025)

13. EMBL

<https://www.embl.org/ells/teachingbase/the-mysterious-protein-a-bioinformatics-expedition/part-4-phylogenetic-analysis/?lang=de> (abgerufen am 07.08.2025)

<https://www.embl.org/ells/teachingbase/treetops/?lang=de> (abgerufen am 07.08.2025)

<https://itol.embl.de/> (abgerufen am 07.08.2025)

(reine Forschungswebsite des Instituts)

14. Science in School – Bioinformatik mit Stift und Papier

<https://www.scienceinschool.org/de/article/2011/bioinformatics-de/> (abgerufen am 23.07.2025)

15. Lehrerfortbildung BW: Rahmenthema – Evolution & Stammbäume

https://lehrerfortbildung-bw.de/u_matnatech/bio/gym/bp2004/fb4/3_stamm/ (abgerufen am 08.08.2025)

Intro: Was ist ein Stammbaum?

https://lehrerfortbildung-bw.de/u_matnatech/bio/gym/bp2004/fb4/3_stamm/3_car/ (abgerufen am 08.08.2025)

16. Lifescience Learningcenter UZH (CH): Was ist ein Stammbaum?

<https://www.youtube.com/watch?v=JmRkdHswrrQ> (abgerufen am 07.08.2025)

<https://www.lifescience-learningcenter.uzh.ch/de/forschzeitprimar.html> (abgerufen am 07.08.2025)

<https://www.lifescience-learningcenter.uzh.ch/de/forschzeitprimar/forschkisten/evolution.html> (abgerufen am 07.08.2025)

17. Lessons at Home – Zurück zu den Wurzeln, Kladogramm Wirbeltiere

<https://www.youtube.com/watch?v=J3zD0jicNj0> (abgerufen am 07.08.2025)

18. Wikipedia: Phylogenetischer Stammbaum & Kladogramm (einschließlich verwandter Suchbegriffe)

https://de.wikipedia.org/wiki/Phylogenetischer_Baum (abgerufen am 07.08.2025)

<https://de.wikipedia.org/wiki/Kladistik#Kladogramme> (abgerufen am 21.08.2025)

19. Biokolleg

Beispiel: Stammbaum und Kladogramm, Teil 1 – Verwandtschaft richtig verstehen

<https://www.youtube.com/watch?v=YR8LaL5WpZU> (abgerufen am 23.07.2025)

20. Die Merkhilfe

Beispiel: Stammbäume erstellen & verstehen – Prinzipien der Stammbaumentwicklung (Evolution 22)

<https://www.youtube.com/watch?v=O2EoBg6i09g> (abgerufen am 07.08.2025)

Anhang B: Onlinequellen zum Thema Wale und Delfine (Ordnung Cetacea)

<https://www.cetacea.de/walforschung/> (abgerufen am 14.08.2025)

<https://internet-evoluzzer.de/die-phylogenie-der-wale/> (abgerufen am 14.08.2025)

<https://www.friedrich-verlag.de/friedrich-plus/sekundarstufe/biologie/evolution/stammbaumanalyse-aufgaben-fuer-lernende-in-der-sek-i/> (abgerufen am 14.08.2025)

<https://www.dolphin-way.com/dolphins-the-facts/evolution/> (abgerufen am 14.08.2025)

<https://evolution.berkeley.edu/what-are-evograms/the-evolution-of-whales/> (abgerufen am 22.11.2025)

<https://evolution.berkeley.edu/phylogenetic-systematics/using-trees/using-trees-to-make-predictions-about-fossils-the-whales-ankle/> (abgerufen am 22.11.2025)

<https://evolution.berkeley.edu/lines-of-evidence/transitional-features/> (abgerufen am 22.11.2025)

<https://evolution.berkeley.edu/evo-news/global-change-drove-the-evolution-of-giants/> (abgerufen am 22.11.2025)

<https://evolution.berkeley.edu/the-tree-room/evolutionary-trees-a-primer/trees-are-hypotheses/> (abgerufen am 29.10.2025).

<https://www.firmm.org/de/kids/evolution/> (abgerufen am 22.11.2025)

<https://www.firmm.org/files/download/firmm-kids.pdf> (abgerufen am 22.11.2025)

<https://www.firmm.org/de/wale-delfine> (abgerufen am 22.11.2025)

<https://www.fisheries.noaa.gov/southeast/science-data/what-can-marine-mammal-photo-identification-tell-us> (abgerufen am 22.11.2025)

<https://www.fisheries.noaa.gov/southeast/endangered-species-conservation/marine-mammal-photo-identification-research-southeast> (abgerufen am 22.11.2025)

<https://www.firmm.org/de/patenschaft/orca/matriarchin> (abgerufen am 22.11.2025)

<https://www.firmm.org/de/patenschaft/orca/camorro> (abgerufen am 22.11.2025)

https://killerwhales.fandom.com/wiki/Category:Living_Wild_Orcas (abgerufen am 22.11.2025)

https://killerwhales.fandom.com/wiki/Category:Living_Orcas_in_Captivity (abgerufen am 22.11.2025)

<https://www.theguardian.com/environment/2020/sep/13/the-tale-of-the-killer-whales> (abgerufen am 22.11.2025)

<https://www.stiftung-meeresschutz.org/themen/tourismus-schifffahrt/orca-angriffe-auf-segelboote/> (abgerufen am 22.11.2025).

<https://www.firmm.org/de/news/artikel/items/die-orcas-die-fischer-pluenderei-und-gegenseitigkeit> (abgerufen am 22.11.2025)

<https://www.arte.tv/de/videos/115489-002-A/re-aufstand-der-orcas/> (abgerufen am 21.11.2025).

<https://www.orcaiberica.org/en/catalogo> (abgerufen am 22.11.2025)

https://killerwhales.fandom.com/wiki/A-005_Lamari (abgerufen am 22.11.2025)

<https://www.pugetsoundinstitute.org/all-killer-whales-will-remain-one-species-for-now-according-to-marine-mammal-committee/> (abgerufen am 22.11.2025)

https://killerwhales.fandom.com/wiki/Resident_Killer_Whales (abgerufen am 22.11.2025)

<https://www.firmm.org/de/wale-delfine/orca> (abgerufen am 22.11.2025)

<https://www.firmm.org/de/forschung/themen/orcas> (abgerufen am 22.11.2025)

<https://www.orcaiberica.org/en> (abgerufen am 22.11.2025)

<https://www.orcaiberica.org/en/catalogo> (abgerufen am 22.11.2025)

<https://www.orcaiberica.org/en/que-son-las-orcas> (abgerufen am 22.11.2025)

<https://www.orcaiberica.org/en/antecedentes> (abgerufen am 22.11.2025)

<https://www.orcaiberica.org/en/proyecto-friendship> (abgerufen am 22.11.2025)

<https://iberian-orca-guardians.org/about-us/> (abgerufen am 22.11.2025)

https://killerwhales.fandom.com/wiki/Killer_Whale_Wiki (abgerufen am 22.11.2025)

<https://www.science.org/content/article/seaworld-stops-breeding-orcas-what-are-impacts-research> (abgerufen am 22.11.2025)

<https://us.whales.org/our-goals/end-captivity/orca-captivity/> (abgerufen am 22.11.2025)

https://uk.whales.org/wp-content/uploads/sites/6/2023/06/captive-orcas-seaworld-studs-map_June2023.pdf (abgerufen am 22.11.2025)

<https://de.whales.org/2025/11/07/neues-delfinarium-frankreich/> (abgerufen am 22.11.2025)

<https://animaljustice.ca/blog/france-orcas-marineland-belugas> (abgerufen am 22.11.2025)

<https://science.orf.at/stories/3233323/> (abgerufen am 12.12.2025)

<https://uk.whales.org/wp-content/uploads/sites/6/2025/06/captive-orcas-antibes-marineland-france-april-26-2025.pdf> (abgerufen am 22.11.2025)

<https://uk.whales.org/wp-content/uploads/sites/6/2025/06/captive-orcas-loro-parque-spain-april-26-2025.pdf> (abgerufen am 22.11.2025)

<https://whalesanctuaryproject.org/> (abgerufen am 22.11.2025)

<https://whalesanctuaryproject.org/the-whales/> (abgerufen am 22.11.2025)

<https://whalesanctuaryproject.org/whales/morgan-rescue-betrayal/> (abgerufen am 22.11.2025)

<https://whalesanctuaryproject.org/wp-content/uploads/Report-on-Orca-Welfare-at-Loro-Parque-Past-and-Present.pdf> (abgerufen am 22.11.2025)

Anhang C: Kriterienkatalog für die Bewertung digitaler Ressourcen zum “Tree Thinking”

Allgemeine Kriterien (AK):

- AK 1: “Tree Thinking“ oder Evolutionsbiologie als zentrales Thema der Website?
- AK 2: Institutionelle Anbindung – Universität, Museum, Bildungsministerium, Verein?
- AK 3: Welche Sprache(n)? Originalsprache oder übersetzt?
- AK 4: Angaben zur Zielgruppe
- AK 5: Angaben zu Lernzielen (Kompetenzförderung berücksichtigt?)

Fachwissenschaftliche Kriterien (FWK):

- FWK 1: Fachliche Korrektheit & Aktualität der Inhalte
- FWK 2: Angemessenes Niveau (für die betreffende(n) Zielgruppe(n)) & geeignete, weiterführende Literatur/ Onlinequellen

Fachdidaktische Kriterien (FDK):

- FDK 1: Verständlichkeit der Textteile und Übersichtlichkeit der Online-Ressource
- FDK 2: Berücksichtigung von Alltagsvorstellungen und Aktivierung von Vorwissen
- FDK 3: Bezug zur Lebenswelt der Lernenden
- FDK 4: Rückmeldungen für die Lernenden
- FDK 5: Methodische Hinweise (v.a. für die Lehrenden)
- FDK 6: Begleitmaterial (auch analog)

Mediendidaktische Kriterien (MDK):

- MDK 1: Vielfalt der verfügbaren Medien
- MDK 2: Alleinstellung bzgl. der Leistung der betreffenden Ressource
- MDK 3: Interaktivität und Individualisierung
- MDK 4: Motivierend für die Lernenden?

Medientechnische Kriterien (MTK):

- MTK 1: Struktur und Gestaltung der digitalen Lehr-Lern-Ressource
- MTK 2: Korrektur- und Abbruchmöglichkeit von Eingaben und Aktivitäten
- MTK 3: Speicher- und Druckfunktion von Lernmaterialien

Anhang D: Ergebnistabellen

Ergebnisse der quantitativen Bewertung von englischsprachigen Online-Lehr-Lernressourcen zum “Tree Thinking“:

	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	Nr. 5	Nr. 6	Nr. 7	Nr. 8	Nr. 9	Nr. 10
AK 1	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja
AK 2	Ja Uni Mus.	Ja Stift.	Ja Uni	Ja Uni	Ja Stift.	Nein	Nein You Tube	Nein You Tube	Nein	Stift.
AK 3	E. Orig.	E. Orig.	E. Orig.	E orig.	E. Orig.	E. Orig.	E. Orig.	E. Orig.	E. Orig.	E. Orig.
AK 4	Ja Alle	Ja Div.	Ja Div.	Ja Uni	Ja Div.	Ja Sek. 2	Ja Sek 2	Ja Sek 2	Nein	Ja
AK 5	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja
FWK 1	10	8	9	7	9	9	9	9	7	7
FWK 2	10	9	8	8	8	9	9	8	6	7
FDK 1	8	7	5	8	9	8	6	8	6	7
FDK 2	9	6	6	5	9	9	8	8	5	6
FDK 3	10	7	7	5	9	9	9	7	5	6
FDK 4	5	8	5	3	0	5	0	6	0	5
FDK 5	10	9	6	2	5	3	3	0	0	6
FDK 6	7	5	7	3	2	4	2	3	4	6
MDK 1	8	8	5	6	3	5	2	3	5	6
MDK 2	9	10	7	4	8	7	8	7	5	6
MDK 3	8	10	5	3	2	5	3	5	0	4
MDK 4	9	9	6	6	10	10	8	8	4	6
MTK 1	8	8	5	7	9	7	8	8	6	6
MTK 2	8	8	8	5	5	3	3	3	5	5
MTK 3	7	7	6	2	5	3	3	3	5	7
Punkteanzahl Gesamt	126	119	95	74	93	96	81	86	63	89
Bemerkungen	www	www	www	www	Video +Forts. +Mat.	Video +Mat. +Links	Video +Links	Video +Forts. +Quiz	www Lexikon	www

Ergebnisse der quantitativen Bewertung deutschsprachiger Online-Lehr-Lernressourcen zum “Tree Thinking“:

	Nr. 11	Nr. 12	Nr. 13	Nr. 14	Nr. 15	Nr. 16	Nr. 17	Nr. 18	Nr. 19	Nr. 20
AK 1	Ja	Nein	Ja	Nein	Nein	Ja	Ja	Nein	Ja	Nein
AK 2	Ja Verein	Ja TV	Ja Wiss. Inst.	Ja Wiss. Inst.	Ja Bild. Minist.	Uni	Nein You Tube	Nein	Nein You Tube	Nein You Tube
AK 3	D. Orig.	D. Orig.	D. Übers.	D. Übers.	D. Orig.	D. Orig.	D. Orig.	D. Übers.	D. Orig.	D. Orig.
AK 4	Nein Allg., Erw.	Ja Ab Sek. 1	Ja Ab Sek. 2	Ja Ab Sek 2	Ja Ab Sek 2	Ja Sek. 1	Ja Sek. 2	Nein	Ja Sek. 2	Ja Sek 2
AK 5	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja	Nein
FWK 1	8	7	8	8	8	7	6	7	9	5
FWK 2	7	7	9	8	7	9	6	6	9	5
FDK 1	5	8	7	8	8	8	7	6	9	7
FDK 2	5	6	6	7	8	9	6	5	8	6
FDK 3	5	6	6	7	7	8	4	5	7	5
FDK 4	3	4	6	5	7	5	2	0	8	0
FDK 5	4	5	7	5	8	8	4	0	6	0
FDK 6	9	6	8	6	8	9	0	4	8	3
MDK 1	8	6	5	5	6	8	0	5	5	2
MDK 2	6	5	5	5	6	6	5	5	5	4
MDK 3	3	4	6	4	7	6	3	0	6	2
MDK 4	4	5	6	5	6	7	5	4	5	5
MTK 1	5	5	6	7	6	6	5	6	7	6
MTK 2	5	5	6	5	5	5	5	5	5	5
MTK 3	8	6	7	6	7	5	5	5	6	4
Punkteanzahl Gesamt	85	85	98	91	104	108	63	63	103	59
Bemerkungen	www	www	www	www	www	www+ Mat.	Nur Video	www	Video +Mat.	Nur Video

Anhang E: Empfehlungen zum Einsatz von Onlinere Ressourcen zur Förderung des “Tree Thinking“ im schulischen Kontext (Sekundarstufe)

1. Kurzvideos zur Einführung in das “Tree Thinking“

- Lehrvideo “How do you read Evolutionary Trees?” (Nr. 7; <https://www.youtube.com/watch?v=Xd6Tc7tGOec>; abgerufen am 08.08.2025); für Sek. 2.
- Animiertes Lehrvideo “Intro to Cladograms and Phylogenetic Trees” (Nr. 6; <https://www.youtube.com/watch?v=cIQobFHFwcM>; abgerufen am 07.08.2025); für Sek. 2.
- Animiertes Lehrvideo „Was ist ein Stammbaum?“ (Nr.16: <https://www.youtube.com/watch?v=JmRkdHswrrQ>; abgerufen am 07.08.2025); thematisch passend dazu (selbe Onlinere Ressource): „Was ist Evolution?“ (<https://www.youtube.com/watch?v=6uIzL2l3wuY>; abgerufen am 07.08.2025); für Sek. 1.

2. Onlinere Ressourcen zum forschend-entdeckenden Lernen (“*inquiry-based learning*“)

- Unterrichtsmaterial (zum Ausdrucken) von “The Tree Room“, in Form eines Comics zum Alltag von Forschenden, mit Aufgaben zu phylogenetischen Stammbäumen (Nr. 1; <https://evolution.berkeley.edu/teach-resources/plant-on-a-rampage/>; abgerufen am 29.10.2025); ab Sek. 1.
- Nutzung der beiden digitalen Tools der Website “TimeTree5: The Timescale of Life” (zur Erstellung phylogenetischer Stammbäume & Ermittlung von Divergenzzeiten) für forschendes Lernen zum Thema “Tree Thinking“, inkl. Begleitmaterial für Lernende zum Ausdrucken (Nr. 3; <https://timetree.org/resources#EducationResources>; abgerufen am 08.08.2025); ab Sek. 1.
- Unterrichtsmaterial (zum Ausdrucken) „Science in School – Bioinformatik mit Stift und Papier“ zur Erstellung phylogenetischer Stammbäume (Nr. 14; <https://www.scienceinschool.org/de/article/2011/bioinformatics-de/>; abgerufen am 23.07.2025); für Sek. 2.

3. Digitale Lernspiele (“*game-based learning*“)

- Digitales, interaktives Lernspiel “Build-A-Tree“ (BAT) des PBS/ Nova Evolution Lab (Nr. 2; <https://www.pbslearningmedia.org/collection/nova-premium-collection/nova-labs-and-interactives/evolution-lab/>; abgerufen am 07.08.2025); ab Sek. 1.
- Interaktives Online-Lernspiel von “The Tree Room“, das am Beispiel des phylogenetischen Stammbaums rezenter und fossiler Wirbeltiere in das Thema “Tree Thinking“ einführt (Nr. 1; <https://evolution.berkeley.edu/teach-resources/what-did-t-rex-taste-like/>; abgerufen am 29.10.2025); ab Sek. 1.

4. Analoge Lernspiele (“*game-based learning*“)

- Phylogenetisches Kartenspiel “TreeTops“ (Nr. 13; <https://www.embl.org/ells/teachingbase/treetops/?lang=de>; abgerufen am 07.08.2025); für Sek. 2.

5. Animationen (digital) zur Veranschaulichung

- Im Einführungskapitel von “The Tree Room“ werden mithilfe eines einfachen, animierten Stammbaumdiagramms im rechteckigen Format die Grundprinzipien des “Tree Thinking“ veranschaulicht (Nr. 1; <https://evolution.berkeley.edu/the-tree-room/evolutionary-trees-a-primer/>; abgerufen am 29.10.2025).
- Mithilfe einer Animation, bei der unterschiedliche Stammbaumformate ineinander übergehen, wird gezeigt, dass dieselben, evolutionären Verwandtschaftsbeziehungen mithilfe unterschiedlicher Diagrammtypen dargestellt werden können (Nr. 1; <https://evolution.berkeley.edu/the-tree-room/field-guide-to-evolutionary-trees/>; abgerufen am 29.10.2025).

6. Modelle (analog) zur Veranschaulichung

- Anleitung zur Erstellung von Stammbaummodellen aus Pfeifendraht in der Unterrichtsmaterialiensammlung von “The Tree Room“; (Nr. 1; <https://evolution.berkeley.edu/teach-resources/using-pipe-cleaners-to-bring-the-tree-of-life-to-life/>; abgerufen am 29.10.2025); ab Sek. 1.
- Bastelanleitung für ein „Stammbaum-Mobile“ in Unterrichtsmaterial in Comicform von “The Tree Room“ (Nr. 1; <https://evolution.berkeley.edu/teach-resources/plant-on-a-rampage/>; abgerufen am 29.10.2025); ab Sek. 1.
- Im Lehrvideo “How do you read Evolutionary Trees?” wird ein Mobile zum Erklären verwendet (Nr. 7; You Too Bio; <https://www.youtube.com/watch?v=Xd6Tc7tGOec>; abgerufen am 08.08.2025); selbes Video auch über “The Tree Room“ (Nr. 1) verfügbar; ab Sek. 1.

7. Häufige Verwendung einfacher phylogenetischer Stammbäume im Unterricht

- Zum Beispiel bei der Besprechung unterschiedlicher taxonomischer Gruppen: Einige Vorschläge hierzu finden sich bei den Hinweisen für Lehrende auf “The Tree Room“ (Nr. 1; <https://evolution.berkeley.edu/teach-resources/two-and-ten-minute-trees/>; abgerufen am 29.10.2025); ab Sek. 1.