



Co-funded by
the European Union

Evolutionärer Stammbaum des Lebens: Aufbau phylogenetischer Beziehungen



BIOS4YOU
AR 2.0

BIO-INSPIRED STEM TOPICS FOR ENGAGING YOUNG GENERATIONS
THANKS TO THE USE OF AUGMENTED REALITY

Project Number: KA220-BW-23-30-126516

"Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them."





INHALTSVERZEICHNIS

INHALT

Einführung	2
Entdecken – Evolutionäre Beziehungen und gemeinsame Abstammung verstehen	3
1.1 Was ist der Baum des Lebens?	3
1.2 Was ist Phylogenie?	3
1.3 Beweise für die Erstellung phylogenetischer Bäume	6
1.4 Homologe vs. analoge Merkmale	7
1.5 Wie liest man einen phylogenetischen Baum?	7
1.6 Warum phylogenetische Bäume wichtig sind	9
Ausführen – Von der Klassifizierung zum Aufbau von Beziehungen	10
2.1 Von der Theorie zur Praxis: Beziehungen in der Natur verstehen	10
2.2 Wie Augmented Reality das Lernziel unterstützt	10
2.3 Praktische AR-Übung: Aufbau des Baums des Lebens	10
2.4 Bioinspiriertes Lernen in der Praxis	11
2.5 Kollaboratives und forschungsbasiertes Lernen	11
Verbessern – Vertiefung des Systemdenkens mit Augmented Reality	12
3.1 Warum Augmented Reality das phylogenetische Lernen verbessert	12
3.2 Evolutionäre Beziehungen sichtbar machen	12
3.3 Unterstützung von forschendem Lernen und Systemdenken	12
3.4 Engagement und integratives Lernen	12
Fazit	13
Referenzen	15





(Bildquelle: mit KI-Tools erstellt)

Allgemeines Thema des Lernpfads	Evolutionsbiologie und bioinspirierte Systeme
Spezifischer Name der Lerneinheit	Evolutionärer Stammbaum des Lebens – Wie Arten miteinander verwandt sind
Alter der Zielgruppe	14–18 Jahre
Voraussetzungen für die Lernenden	Grundkenntnisse in Biologie, einschließlich Begriffen wie Arten, Anpassung und Evolution. Vertrautheit mit einfachen digitalen Tools wird empfohlen. Vorkenntnisse in Phylogenetik oder Augmented Reality sind nicht erforderlich.
Beschreibung der Lerneinheit	Diese Einheit führt die Schüler in den Baum des Lebens ein und erklärt, wie Arten anhand ihrer genetischen, morphologischen und evolutionären Beziehungen klassifiziert werden. Die Schüler untersuchen, wie Wissenschaftler die Phylogenetik nutzen, um gemeinsame Vorfahren zu identifizieren und evolutionäre Beziehungen zwischen Organismen zu rekonstruieren. Um den Lernprozess interaktiv und immersiv zu gestalten, verwenden die Schüler Augmented Reality (AR), um einen phylogenetischen Baum zu erstellen, zu manipulieren und zu analysieren. Durch praktische AR-Aktivitäten visualisieren die Lernenden evolutionäre Verbindungen zwischen Arten, untersuchen Divergenzmuster und verstehen, wie Anpassung und natürliche Selektion zur Artenvielfalt beitragen.
Thema: Beteiligte Parteien	Biologie, Evolutionswissenschaft, Bioinformatik, Augmented Reality
Stichworte	Phylogenie, Baum des Lebens, evolutionäre Beziehungen, gemeinsame Vorfahren, Biodiversität, homologe Merkmale, Augmented Reality, Bio-Inspiration, Systemdenken
Wichtige Qualifikationen, Fähigkeiten und Kenntnisse, die erworben werden können	• Verständnis phylogenetischer Konzepte und evolutionärer Beziehungen • Fähigkeit, phylogenetische Bäume zu interpretieren und zu konstruieren





	• Fähigkeiten zum Vergleich biologischer Merkmale und zur Bewertung von Beweisen • Entwicklung von Systemdenken und bioinspiriertem Denken • Erfahrung mit AR-gestütztem forschungsbasiertem und kollaborativem Lernen
Verwendete Ressourcen und didaktische Hilfsmittel	• Augmented-Reality-Plattformen (z. B. Delightex) • 3D-Biologiemodelle (z. B. Organismen und evolutionäre Strukturen von Sketchfab, Delightex) • Lehrvideos und Online-Ressourcen zur Phylogenie • Digitale Geräte (Tablets, Smartphones, Computer) • Lehrergeführte Diskussionen und gemeinschaftliche Aktivitäten
Bewertungskriterien und Evaluation	Die Schüler werden anhand ihrer Teilnahme an AR-basierten Aktivitäten, der Erstellung und Interpretation phylogenetischer Bäume und ihrer Fähigkeit, evolutionäre Zusammenhänge anhand von Belegen zu begründen, bewertet. Die Bewertung konzentriert sich auf konzeptionelles Verständnis, analytisches Denken, Zusammenarbeit und reflektierendes Denken. Die formative Bewertung wird durch Beobachtung, Diskussion und AR-basierte Aufgaben unterstützt, während die abschließende Bewertung die von den Schülern erstellten Modelle und Erklärungen umfasst.

Einführung

Das Leben auf der Erde ist äußerst vielfältig, doch alle Lebewesen sind durch die Evolution miteinander verbunden. Der evolutionäre Baum des Lebens hilft Wissenschaftlern, diese Verbindungen zu verstehen, indem er gemeinsame Vorfahren und evolutionäre Beziehungen aufzeigt. Diese Einheit führt die Schüler in das phylogenetische Denken ein und zeigt, wie Wissenschaftler Evolutionsbäume erstellen und interpretieren, um die Artenvielfalt zu erklären.





Entdecken – Evolutionsbeziehungen und gemeinsame Vorfahren verstehen

1.1 Was ist der Baum des Lebens?

Der Baum des Lebens ist ein wissenschaftliches Modell, das die evolutionären Beziehungen zwischen Organismen darstellt. Anstatt Arten als „mehr“ oder „weniger“ entwickelt einzustufen, zeigt er, wie alle Lebewesen durch gemeinsame Vorfahren miteinander verbunden sind. Jeder Zweig steht für evolutionäre Veränderungen im Laufe der Zeit.

1.2 Was ist Phylogenie?

Phylogenie ist die Lehre von den evolutionären Beziehungen zwischen Organismen und davon, wie verschiedene Arten durch gemeinsame Vorfahren miteinander verbunden sind. Wissenschaftler verwenden die Phylogenie, um zu bestimmen, wie eng Organismen miteinander verwandt sind, indem sie **gemeinsame Merkmale** wie anatomische Merkmale, Entwicklungsmuster und **genetische Informationen** vergleichen. Arten, die mehr Merkmale gemeinsam haben, die sie von einem gemeinsamen Vorfahren geerbt haben, gelten als enger miteinander verwandt.

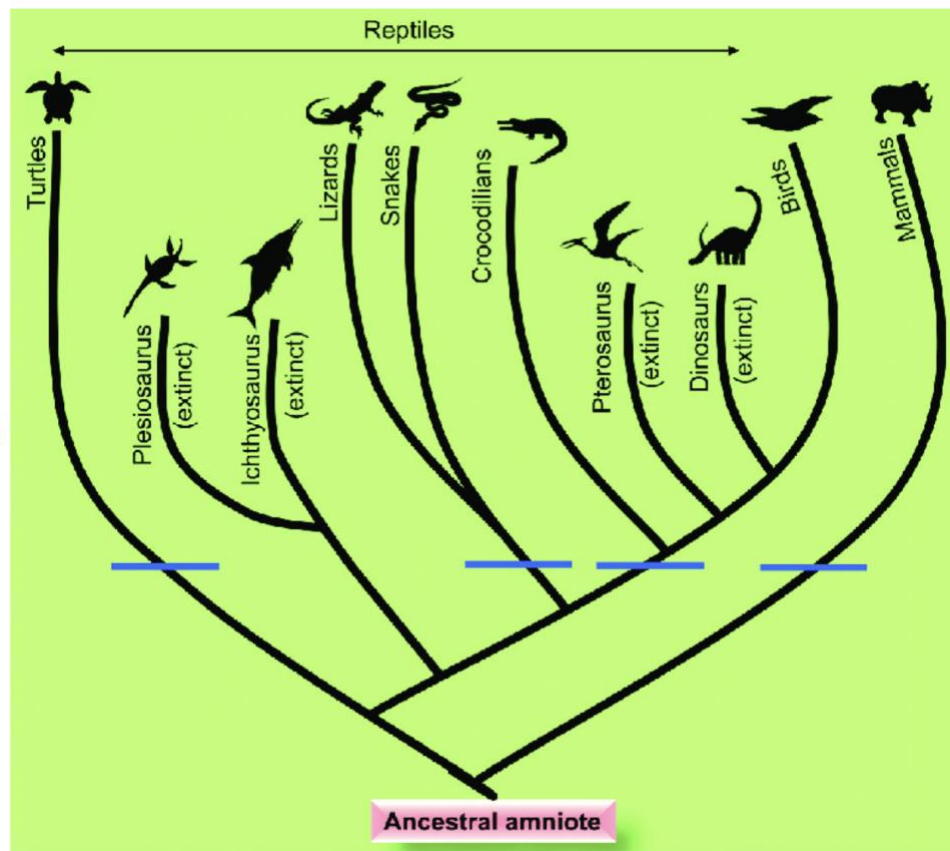
Stammbäume sind visuelle Modelle, die diese Beziehungen darstellen. Es handelt sich dabei nicht um feste Diagramme, sondern um **wissenschaftliche Hypothesen**, die auf den besten zu einem bestimmten Zeitpunkt verfügbaren Beweisen basieren. Wenn neue Daten verfügbar werden – beispielsweise durch Fossilienfunde oder Fortschritte in der DNA-Analyse – können Stammbäume überarbeitet und verbessert werden. Dies macht die Phylogenie zu einem dynamischen und evidenzbasierten Forschungsgebiet, das widerspiegelt, wie sich das wissenschaftliche Verständnis im Laufe der Zeit weiterentwickelt.

Das Verständnis der Phylogenie hilft Wissenschaftlern, die biologische Vielfalt zu erklären, die Ursprünge von Arten zurückzuverfolgen und Evolutionsmuster zu identifizieren. Es vermittelt auch ein wichtiges wissenschaftliches Prinzip: **Biologisches Wissen entsteht durch Vergleich, Beweise und kontinuierliche Verfeinerung** und nicht durch absolute oder unveränderliche Antworten.

Nachfolgend finden Sie Beispiele für Phylogenie:

1. Stammbaum der Amnioten, zu denen Reptilien, Vögel und Säugetiere gehören. Alle diese Klassen von Wirbeltieren haben sich aus derselben Vorläuferform der Stammreptilien am unteren Ende des Baums entwickelt (Quelle: https://www.researchgate.net/figure/Tree-of-life-of-amniotes-that-includes-reptiles-birds-and-mammals-All-these-classes-of_fig2_323780429).





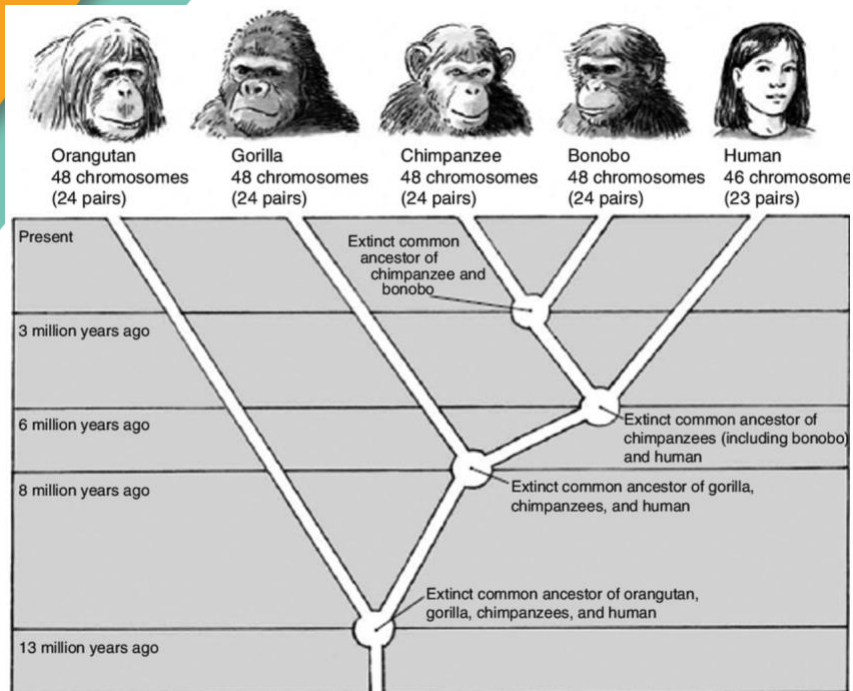
2. Baum des Lebens Menschliche Evolution Biologie Artenklassifizierung. Baum des Lebens aller Lebewesen. Phylogenetischer Baum der Biowissenschaften mit Stammordnungen/Unterordnungen und Zweigen verwandter Lebensformen. Klassifizierung von einfachen Organismen bis zum modernen Menschen. (Quelle: <https://www.dreamstime.com/tree-life-human-evolution-biology-species-classification-tree-life-all-living-beings-phylogenetic-tree-biological-image131543711>)





3. Phylogenetische Geschichte der Hominidae – lebende Affen und Menschen (Quelle: https://www.researchgate.net/figure/Phylogenetic-history-of-the-Hominidae-living-apes-and-people-Dates-are-based-on-genomic_fig1_317314464)





1.3 Beweise, die zur Erstellung phylogenetischer Bäume verwendet werden

Phylogenetische Beziehungen werden anhand verschiedener Arten von Beweisen rekonstruiert, darunter:

- morphologische Merkmale (Körperbau und -form),
- Fossilienfunde,
- genetische und molekulare Daten, Entwicklungs- und Verhaltensmerkmale.

Um das Verständnis dafür zu fördern, wie diese verschiedenen Datenquellen kombiniert werden, können die Schüler ein kurzes Lehrvideo (*siehe unten*) ansehen, das visuell erklärt, wie Wissenschaftler anhand realer Beweise phylogenetische Bäume erstellen. Diese Multimedia-Ressource hilft dabei, abstrakte Konzepte zu verdeutlichen und bereitet die Lernenden auf die praktische Konstruktion evolutionärer Beziehungen in der Ausführungsphase vor.

Durch die Kombination dieser Datenquellen können Wissenschaftler genauere und zuverlässigere Evolutionsmodelle erstellen.

Video „[Einführung in Kladogramme und phylogenetische Bäume](https://www.youtube.com/watch?v=clQobFHFwcM)“
(<https://www.youtube.com/watch?v=clQobFHFwcM>)

Nachdem die Schüler beobachtet haben, wie Wissenschaftler Beweise zur Erstellung phylogenetischer Bäume verwenden, wenden sie dieselben Prinzipien an, indem sie Merkmale analysieren und mithilfe von Augmented Reality ihre eigenen Evolutionsmodelle erstellen.





1.4 Homologe vs. analoge Merkmale

Nicht alle Ähnlichkeiten zwischen Organismen weisen auf enge evolutionäre Verwandtschaftsverhältnisse hin. Einige Merkmale mögen oberflächlich betrachtet ähnlich aussehen, haben aber sehr unterschiedliche evolutionäre Ursprünge. Aus diesem Grund unterscheiden Wissenschaftler bei der Erstellung phylogenetischer Bäume zwischen **homologen** und **analogen** Merkmalen.

Homologe Merkmale sind Eigenschaften, die von einem **gemeinsamen Vorfahren** vererbt wurden, auch wenn sie heute unterschiedliche Funktionen erfüllen. Beispielsweise haben die Vordergliedmaßen von Menschen, Fledermäusen und Walen unterschiedliche Formen und Verwendungszwecke, aber sie haben dieselbe zugrunde liegende Knochenstruktur. Diese Ähnlichkeiten sind ein starker Hinweis auf eine gemeinsame Abstammung und daher für die Rekonstruktion evolutionärer Beziehungen sehr wertvoll.

Analoge Merkmale hingegen erfüllen ähnliche Funktionen, haben sich jedoch **unabhängig voneinander** in verschiedenen evolutionären Linien entwickelt. Beispielsweise ermöglichen sowohl die Flügel von Vögeln als auch die von Insekten das Fliegen, aber sie haben sich aus unterschiedlichen Vorfahrenstrukturen entwickelt. Analoge Merkmale entstehen oft aufgrund ähnlicher Umweltbelastungen und nicht aufgrund enger genetischer Verwandtschaft.

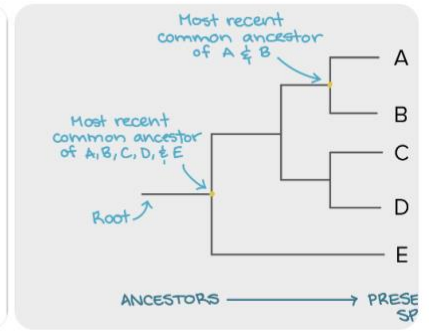
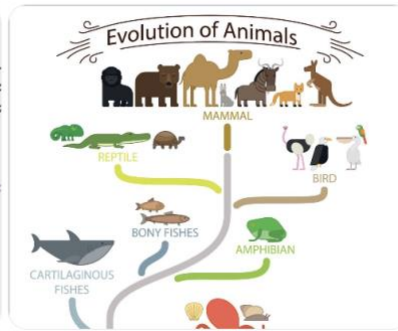
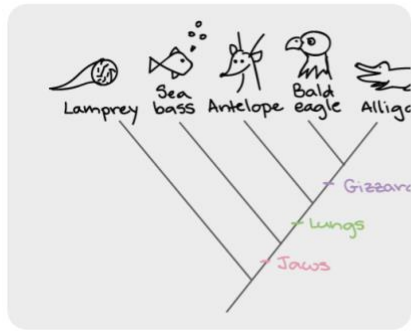
Das Verständnis des Unterschieds zwischen homologen und analogen Merkmalen ist für die korrekte Interpretation phylogenetischer Bäume unerlässlich. Die Verwechslung analoger Merkmale mit homologen Merkmalen kann zu falschen Schlussfolgerungen über Verwandtschaftsverhältnisse führen. Durch sorgfältige Analyse der Merkmale, die auf eine gemeinsame Abstammung hindeuten, können Wissenschaftler genauere Evolutionsmodelle erstellen und besser verstehen, wie verschiedene Lebensformen miteinander verbunden sind.

1.5 Wie man einen phylogenetischen Stammbaum liest

Stammbäume zeigen evolutionäre Verwandtschaftsverhältnisse anhand von Verzweigungsmustern, die darstellen, wie sich Arten im Laufe der Zeit von gemeinsamen Vorfahren abgespalten haben. Jeder Verzweigungspunkt oder Knotenpunkt steht für einen gemeinsamen Vorfahren der Organismen, die sich von ihm abzweigen. Arten, die einen jüngeren gemeinsamen Vorfahren haben, gelten als enger verwandt als solche, deren gemeinsamer Vorfahr tiefer im Stammbaum liegt.

Die Länge oder Position der Verzweigungen bedeutet nicht, dass ein Organismus weiter entwickelt oder „besser entwickelt“ ist als ein anderer. Vielmehr spiegeln die Verzweigungen Muster der evolutionären Divergenz und der gemeinsamen Geschichte wider. Alle lebenden Arten an den Spitzen der Verzweigungen haben sich über denselben Zeitraum hinweg entwickelt.





Phylogenetische Bäume können in verschiedenen Formaten dargestellt werden – horizontal, vertikal oder radial –, ohne dass sich die zugrunde liegenden Beziehungen ändern. Das Drehen oder Neuordnen von Zweigen verändert nichts an der evolutionären Bedeutung des Baums, solange die Reihenfolge der Verzweigungen gleich bleibt. Das Verständnis, wie diese Bäume richtig zu lesen sind, ist für die Interpretation evolutionärer Beziehungen und für die Erstellung genauer phylogenetischer Modelle von entscheidender Bedeutung.

Nachfolgend finden Sie visuelle Beispiele für phylogenetische Bäume, die veranschaulichen, wie evolutionäre Beziehungen zwischen verschiedenen Gruppen von Organismen dargestellt werden:

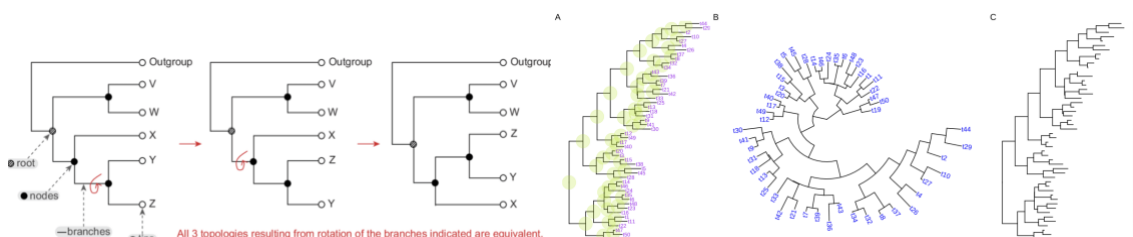
1. Beispiel 1: Welche Arten sind enger miteinander verwandt?

(Quelle: <https://www.khanacademy.org/science/ap-biology/natural-selection/phylogeny/a/building-an-evolutionary-tree>; <https://www.istockphoto.com/vector/biological-evolution-animals-scheme-gm500509454-80808691>; <https://www.khanacademy.org/science/ap-biology/natural-selection/phylogeny/a/phylogenetic-trees>)

In diesem phylogenetischen Baum haben Spezies A und Spezies B einen **jüngeren gemeinsamen Vorfahren** als beide mit Spezies C. Das bedeutet, dass A und B enger miteinander verwandt sind, auch wenn Spezies C ähnlich aussehen oder in einer ähnlichen Umgebung leben mag.

Die Nähe wird durch gemeinsame Vorfahren bestimmt, nicht durch das Aussehen oder die Position auf der Seite.

2. Gleiche Verwandtschaftsverhältnisse, unterschiedliche Baumformen



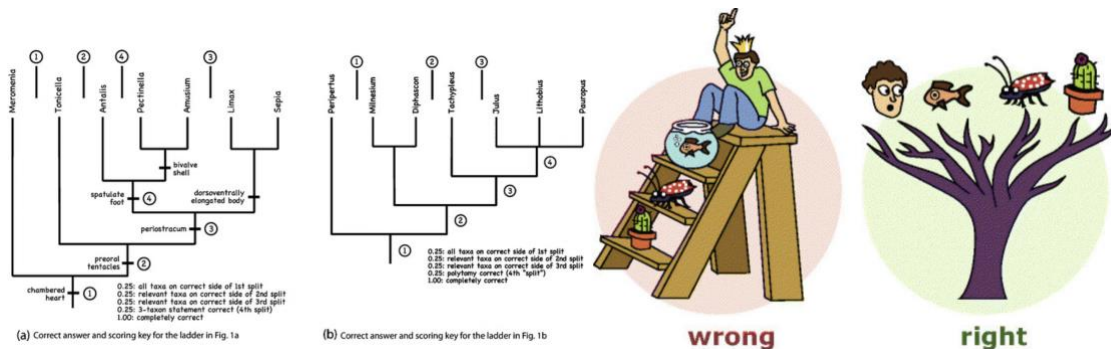


Quelle: https://www.researchgate.net/figure/The-different-parts-of-a-rooted-phylogenetic-tree-showing-the-root-branches-nodes-and_fig1_43022487; <https://yulab-smu.top/treedata-book/chapter4.html>; <https://users.ugent.be/~avierstr/principles/phylogeny.html>)

Diese Bäume sehen unterschiedlich aus (horizontal, vertikal oder radial), aber sie stellen **dieselben evolutionären Beziehungen** dar. Das Drehen von Zweigen oder das Layout ändert nichts an der Bedeutung des Baums, solange die Verzweigungsreihenfolge unverändert bleibt.

Die Form des Baums ändert nichts an den evolutionären Beziehungen.

3. Missverständnis – Evolution ist keine Leiter



(Quelle: https://www.researchgate.net/figure/Tree-format-translations-for-the-ladders-shown-in-Figs-1a-b-along-with-the-associated_fig3_226685940)

Dieser Vergleich verdeutlicht ein weit verbreitetes Missverständnis. Die Evolution wird oft fälschlicherweise als Leiter oder linearer Fortschritt dargestellt. In Wirklichkeit funktioniert die Evolution durch **Verzweigungen**, bei denen sich mehrere Abstammungslinien gleichzeitig aus gemeinsamen Vorfahren entwickeln.

Alle Arten an den Spitzen des Baums sind gleichermaßen entwickelt.

1.6 Warum phylogenetische Bäume wichtig sind

Stammbäume helfen Wissenschaftlern dabei

- die Artenvielfalt und die Evolution zu verstehen,
- die Ursprünge von Krankheiten zu verfolgen,
- Naturschutzbemühungen zu unterstützen,
- bioinspirierte Lösungen in Wissenschaft und Technologie zu entwickeln.





Ausführen – Von der Klassifizierung zum Aufbau von Beziehungen

In diesem Abschnitt gehen die Schüler vom Erlernen evolutionärer Konzepte zur aktiven Anwendung über. Anstatt Klassifizierungen auswendig zu lernen, analysieren die Lernenden gemeinsame Merkmale und evolutionäre Beweise, um Beziehungen zwischen Organismen aufzubauen.

2.1 Von der Theorie zur Praxis: Beziehungen in der Natur verstehen

Der evolutionäre Baum des Lebens zeigt, wie die Natur Vielfalt durch verzweigte Beziehungen und gemeinsame Abstammung organisiert. In diesem Abschnitt gehen die Schüler von theoretischen Konzepten zur **praktischen Anwendung** über und untersuchen, wie Wissenschaftler Beweise nutzen, um evolutionäre Beziehungen zwischen Organismen zu bestimmen.

Anstatt Klassifizierungssysteme auswendig zu lernen, nehmen die Lernenden eine **von der Biologie inspirierte Perspektive** ein und betrachten die Evolution als einen dynamischen Prozess, in dem einfache biologische Merkmale komplexe Beziehungsstrukturen erzeugen. Dieser Ansatz spiegelt wider, wie natürliche Systeme moderne Methoden zur Organisation von Informationen in Wissenschaft, Technologie und Design inspirieren.

2.2 Wie Augmented Reality das Lernziel unterstützt

Das Hauptziel dieser Einheit ist es, den Schülern zu helfen, die Phylogenie als ein System von Beziehungen und nicht als lineare Hierarchie zu verstehen. Augmented Reality (AR) unterstützt dieses Ziel, indem es den Lernenden ermöglicht, phylogenetische Bäume im dreidimensionalen Raum zu konstruieren, zu manipulieren und zu visualisieren.

Durch AR-basierte Aktivitäten können die Schüler:

- Organismen relativ zueinander platzieren,
- Verzweigungspunkte als gemeinsame Vorfahren visualisieren,
- verschiedene Baumkonfigurationen auf der Grundlage von Beweisen testen, beobachten, wie sich Änderungen in den Daten auf die Gesamtstruktur auswirken.

Dadurch werden phylogenetische Bäume von statischen Diagrammen zu interaktiven wissenschaftlichen Modellen.

2.3 Praktische AR-Übung: Aufbau des Baums des Lebens

Beispiel für eine Aktivität: „Erstellen eines phylogenetischen Baums“

Die Schüler arbeiten einzeln oder in kleinen Gruppen, um einen ausgewählten Organismus oder eine Gruppe von Organismen zu analysieren. Mithilfe von AR-Tools erstellt jeder Lernende eine





Darstellung, die wichtige Merkmale wie Morphologie, Lebensraum oder genetische Informationen enthält.

Diese individuellen Beiträge werden dann zu einem gemeinsamen phylogenetischen Stammbaum der Klasse zusammengefasst, wobei die Schüler gemeinsam entscheiden:

- wo Verzweigungspunkte auftreten sollen
- welche Organismen die jüngsten gemeinsamen Vorfahren haben
- welche Merkmale den stärksten Beweis für eine Verwandtschaft liefern.

Dieser Prozess legt den Schwerpunkt eher auf Argumentation, Vergleich und Begründung als auf richtige oder falsche Antworten.

2.4 Bioinspiriertes Lernen in der Praxis

Die Konstruktion eines phylogenetischen Baums spiegelt ein zentrales bioinspiriertes Prinzip wider: Komplexe Systeme entstehen aus einfachen, sich wiederholenden Regeln. Durch die Organisation von Organismen anhand gemeinsamer Merkmale erfahren die Schüler, wie die Natur ohne zentrale Steuerung strukturierte Vielfalt erzeugt.

Dieses Prinzip ist unmittelbar relevant für:

- Systemdenken,
- Datenorganisation,
- Netzwerkdesign,
- künstliche Intelligenz und bioinspiriertes Computing.

2.5 Kollaboratives und forschungsbasiertes Lernen

Während der Ausführungsphase beschäftigen sich die Studierenden mit:

- Diskussionen und Debatten über Beweise,
- Hypothesentests durch Neuordnung von Zweigen,
- kollaborative Entscheidungsfindung beim Aufbau des gemeinsamen Baums.

Dieser forschungsbasierte Ansatz spiegelt die reale wissenschaftliche Praxis wider und fördert die Entwicklung von kritischem Denken, Kommunikationsfähigkeiten und Teamarbeit.





Verbessern – Vertiefung des Systemdenkens mit Augmented Reality

3.1 Warum Augmented Reality das phylogenetische Lernen verbessert

Stammbäume sind abstrakt und anhand statischer Bilder schwer zu verstehen. Augmented Reality verwandelt diese Diagramme in interaktive Strukturen, die die Schüler im realen Raum erkunden, neu anordnen und analysieren können.

3.2 Evolutionäre Beziehungen sichtbar machen

AR ermöglicht es den Schülern:

- Verzweigungsbeziehungen in 3D zu visualisieren,
- Ähnlichkeiten und Unterschiede deutlicher zu erkennen,
- gemeinsame Abstammung durch räumliche Positionierung zu verstehen.

Dies fördert ein tieferes konzeptionelles Verständnis.

3.3 Unterstützung von Forschung und systemischem Denken

Durch die Manipulation von AR-Modellen testen die Schüler Hypothesen und untersuchen „Was-wäre-wenn“-Szenarien. Dieser forschungsbasierte Ansatz stärkt das Systemdenken und spiegelt wider, wie Wissenschaftler mit Evolutionsdaten arbeiten.

3.4 Engagement und integratives Lernen

AR unterstützt verschiedene Lernstile, indem es visuelle, räumliche und interaktive Elemente kombiniert. Dadurch werden phylogenetische Konzepte für unterschiedliche Lernende zugänglicher und interessanter.





Fazit

In der Erkundungsphase entwickelten die Schüler ein grundlegendes Verständnis der Phylogenie und des evolutionären Baums des Lebens. In der Ausführungsphase wandten sie dieses Wissen an, indem sie Merkmale analysierten und evolutionäre Beziehungen aufbauten. Die Vertiefungsphase zeigte, wie Augmented Reality abstrakte Evolutionsmodelle in interaktive Lernerfahrungen verwandelt. Zusammen verdeutlichen diese Phasen, wie bioinspiriertes Denken dabei hilft, die Organisation des Lebens zu erklären, und zur weiteren Erforschung der Evolutionswissenschaft anregt.





Phase	Beschreibung
Erkunden	- Forschung und Entdeckung: Die Schüler erkunden das Konzept des evolutionären Stammbaums des Lebens und der Phylogenie, indem sie untersuchen, wie Wissenschaftler evolutionäre Beziehungen zwischen Organismen identifizieren. Anhand von geführten Leseübungen, visuellen Beispielen und multimedialen Ressourcen untersuchen die Lernenden gemeinsame Vorfahren, Verzweigungsmuster und die Arten von Beweisen, die zur Rekonstruktion der Evolutionsgeschichte verwendet werden.
	- Inhaltsentwicklung: Die Inhalte werden anhand wichtiger phylogenetischer Konzepte entwickelt, darunter gemeinsame Vorfahren, homologe und analoge Merkmale sowie die Interpretation phylogenetischer Bäume. Die Lernmaterialien betonen die Evolution als einen verzweigten, evidenzbasierten Prozess und nicht als linearen Fortschritt, um die Schüler auf die praktische Anwendung in späteren Phasen vorzubereiten.
	- Bedarfsanalyse: In dieser Phase werden die häufigsten Schwierigkeiten der Schüler beim Verständnis abstrakter Evolutionsdiagramme, bei der Interpretation von Verzweigungsbeziehungen und bei der Unterscheidung zwischen Ähnlichkeit und Verwandtschaft behandelt. Visuelle und interaktive Ansätze werden als notwendig erachtet, um das Verständnis zu fördern, Missverständnisse abzubauen und die Lernenden auf die Erstellung eigener phylogenetischer Modelle vorzubereiten.
Durchführung	- Umsetzung des Lehrplans: Die Einheit wird durch forschungsbasierten Biologieunterricht umgesetzt, der auf den Lehrplan der Sekundarstufe zu Evolution, Biodiversität und Klassifizierung abgestimmt ist. Die Schüler wenden theoretisches Wissen an, indem sie Merkmale und evolutionäre Beweise analysieren, und festigen so die Lehrplanziele in Bezug auf wissenschaftliches Denken und Systemdenken.
	- Interaktive Übungen: Die Schüler nehmen an praktischen, AR-gestützten Aktivitäten teil, bei denen sie einzeln oder gemeinsam Organismen analysieren und einen gemeinsamen phylogenetischen Baum erstellen. Mithilfe von 3D-Modellen und interaktiven Elementen vergleichen die Lernenden Merkmale, bestimmen Verzweigungspunkte und begründen evolutionäre Beziehungen auf der Grundlage von Beweisen.
	- Feedback-Erfassung: Feedback wird durch Beobachtungen der Lehrkraft, Diskussionen mit Mitschülern und kurze Reflexionsaufgaben gesammelt. Die Schüler erhalten während der Erstellung der Stammbäume formatives Feedback, wodurch sie ihre Argumentation überarbeiten und ihr Verständnis durch Dialog und Wiederholung verbessern können.
Verbessern	- AR-Integration: Augmented Reality wird integriert, um phylogenetische Bäume als dreidimensionale, interaktive Strukturen zu visualisieren. AR ermöglicht es den Schülern, Zweige zu manipulieren, gemeinsame Vorfahren zu erforschen und Organismen räumlich zu ordnen, wodurch abstrakte evolutionäre Beziehungen greifbar und leichter verständlich werden.
	- Interaktives Lernen: Durch die AR-Interaktion können die Schüler phylogenetische Modelle aktiv erkunden, testen und modifizieren. Dies unterstützt das forschungsbasierte Lernen, fördert das Testen von Hypothesen und vertieft das konzeptionelle Verständnis, indem es den Lernenden ermöglicht, sich direkt mit evolutionären Daten und Beziehungen auseinanderzusetzen.





Gamifizierte Inhalte:

- **Punkte und Abzeichen:** Die Schüler erhalten Punkte für das korrekte Einordnen von Organismen, das Erkennen gemeinsamer Merkmale und das Begründen evolutionärer Beziehungen. Abzeichen wie „*Phylogeny Explorer*“ (*Phylogenie-Forscher*) oder „*Tree of Life Architect*“ (*Baum des Lebens-Architekt*) würdigen Leistungen und Fortschritte.

- **Ranglisten:** Optionale Ranglisten für den Unterricht zeigen den Fortschritt einzelner Schüler oder Gruppen an und fördern so einen freundschaftlichen Wettbewerb und anhaltendes Engagement, ohne die Rangliste über das Lernen zu stellen.

- **Quests und Levels:** Die Lernaktivitäten sind als evolutionäre Quests strukturiert, bei denen die Schüler verschiedene Levels mit zunehmender Komplexität durchlaufen – von der Identifizierung einfacher Merkmale bis zur Erstellung vollständiger phylogenetischer Bäume.

- **Belohnungen für Erkundungen:** Versteckte AR-Hotspots, Bonus-Infotafeln oder zusätzliche Punkte belohnen Schüler, die Modelle eingehender erkunden oder gut begründete Erklärungen liefern, und fördern so Neugier und tieferes Forschen.

- **Kollaborative gamifizierte Aufgaben:** Die Schüler arbeiten in kleinen Teams, um Herausforderungen wie die Auflösung widersprüchlicher Beweise oder die Verfeinerung eines gemeinsamen Stammbaums zu lösen. Die Zusammenarbeit fördert die Kommunikation, das kollektive Denken und die gemeinsame Problemlösung.

AR-basierte Bewertungen: Die Schüler werden anhand von AR-basierten Aufgaben bewertet, bei denen sie phylogenetische Bäume erstellen, interpretieren und erklären müssen. Die Bewertung konzentriert sich auf die Genauigkeit der Beziehungen, die Qualität der evidenzbasierten Argumentation und die Fähigkeit, über Evolutionsprozesse zu reflektieren. Diese Bewertungen unterstützen sowohl die formative als auch die summative Bewertung in einer interaktiven Lernumgebung.





Co-funded by
the European Union

Project Number: KA220-BW-23-30-126516

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.





Referenzen

- Campbell, N. A., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V. & Orr, R. B. (2021). *Campbell Biology* (12. Auflage). Pearson Education.
- Museum für Paläontologie der Universität von Kalifornien. (o. J.). *Understanding Evolution*. <https://evolution.berkeley.edu>
- Tree of Life Web Project. (o. J.). *The Tree of Life*. <http://tolweb.org>
- National Research Council. (2000). *Wie Menschen lernen: Gehirn, Geist, Erfahrung und Schule*. National Academies Press.
- OECD. (2017). *Innovative Lernumgebungen*. OECD Publishing.
- Benyus, J. M. (2002). *Biomimikry: Von der Natur inspirierte Innovation*. HarperCollins.
- Wu, H.-K., Lee, S. W.-Y., Chang, H.-Y. & Liang, J.-C. (2013). Aktueller Stand, Chancen und Herausforderungen von Augmented Reality im Bildungswesen. *Computers & Education*, 62, 41–49.
- Wang, Y., & Li, G. (2020). Anwendungen von Augmented Reality in der naturwissenschaftlichen Bildung: Eine systematische Übersicht. *Journal of Educational Technology & Society*, 23(3), 108–122.
- Sketchfab. *Wissenschaftliche 3D-Modelle für den Bildungsbereich*. <https://sketchfab.com>
- Deligtex. Galerie. <https://edu.deligtex.com/>
- Next Generation Science Standards Lead States. (2013). *Next Generation Science Standards: Für Staaten, von Staaten*. National Academies Press.
- Den Baum bauen. Evolution verstehen. <https://evolution.berkeley.edu/evolution-101/the-history-of-life-looking-at-the-patterns/building-the-tree/>

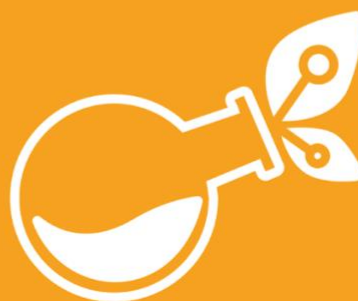
AI-basierte Tools (ChatGPT, Perplexity AI und NotebookLM) wurden verwendet, um die Erstellung von Inhalten, die Zusammenfassung von Forschungsergebnissen und die Organisation von Quellenmaterialien während der Entwicklung dieser Lerneinheit zu unterstützen:

- OpenAI. *ChatGPT* (großes Sprachmodell). <https://chat.openai.com>
- *Perplexity AI* [KI-gestützter Such- und Rechercheassistent]. <https://www.perplexity.ai>
- Google *NotebookLM* [KI-gestütztes Recherche- und Notiztool]. <https://notebooklm.google.com>





Co-funded by
the European Union



BIOS4YOU AR 2.0

BIO-INSPIRED STEM TOPICS FOR ENGAGING YOUNG GENERATIONS
THANKS TO THE USE OF AUGMENTED REALITY



Project Number: KA220-BW-23-30-126516

*Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.