

Aus dem Institut für Biologiedidaktik
der Justus-Liebig-Universität Gießen

**Natürliche Selektion, Anpasstheit und allopatrische
Artbildung – Entwicklung eines optimierten
Unterrichtsdesigns im Rahmen der fachdidaktischen
Entwicklungsforschung**

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades

Doctor rerum naturalium

(Dr. rer. nat.)

im Fachbereich Biologie
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von

Anne-Kathrin Sommer

Gießen, im Juni 2024

1. Gutachter: Prof. Dr. Dittmar Graf
2. Gutachter: Prof. Dr. Hans-Peter Ziemek

Danksagung

Hiermit möchte ich mich bei allen Menschen bedanken, die mich während meiner Promotion begleitet haben.

Ein besonderer Dank geht an erster Stelle an meinen Doktorvater Herrn Professor Dr. Dittmar Graf. Seine Unterstützung, die kritischen Anmerkungen und konstruktiven Gespräche, aber auch die Gewährung großer Freiheit während meines Forschungsprozesses haben meine Arbeit maßgeblich vorangebracht.

Meinen Dank möchte ich außerdem Herrn Professor Dr. Hans-Peter Ziemek für die Begutachtung meiner Arbeit aussprechen.

Ein weiterer Dank geht an alle Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen des Instituts für Biologiedidaktik der Universität Gießen für die tolle Arbeitsatmosphäre. Besonders danke ich Dr. Barbara Wieder, Dr. Elvira Schmidt, Dr. Paul Kuszmierz, Kirsten Greiten und Vanessa Rücker für aufmunternde Gespräche, wertvolle Impulse und lustige Aktionen!

An dieser Stelle möchte ich mich auch bei allen Lehrkräften, Eltern und Probanden der Gesamtschule Gießen-Ost bedanken, ohne die diese Arbeit nicht zustande gekommen wäre. Die Zusammenarbeit hat mir wichtige Erkenntnisse geliefert und viel Freude bereitet!

Danken möchte ich weiterhin der Justus-Liebig-Universität Gießen für die Gewährung des Graduiertenstipendiums und damit der finanziellen Förderung meiner Promotion.

Abschließend möchte ich meiner Familie und meinen Freunden einen großen Dank aussprechen, da sie mich zu jederzeit bedingungslos unterstützt haben. Dabei möchte ich besonders meinem Mann, Martin Sommer, danken. Dein Beistand, deine Kochkünste, die Kinderbespaßung und Motivation waren ausschlaggebend zum Erfolg meiner Arbeit!

Inhaltsverzeichnis

Abstract	5
1 Zusammenfassung.....	6
2 Einleitung	7
3 Theoretischer Hintergrund	10
3.1 Konstruktivismus	10
3.2 Conceptual Change und Conceptual Reconstruction	12
3.3 Didaktische Rekonstruktion	14
3.4 Fachdidaktische Entwicklungsforschung im Dortmunder Modell.....	15
3.5 Bedeutung der Evolution.....	17
3.6 Stand der Forschung.....	19
3.6.1 Vorstellungen zur Entwicklung von Organismen und deren Angepasstheit.....	21
3.6.2 Vorstellungen zur Artbildung und zum Artenwandel	25
3.6.3 Schulische Umsetzungen.....	29
4 Fragestellungen	35
5 Entwicklung des Unterrichtsarrangements.....	38
5.1 Prototypen der Simulationen.....	40
5.1.1 Simulation „Nahrungstransport der Kernbeißer“	41
5.1.2 Simulation „Entwicklung der Alpenruspen“	51
5.1.3 Simulation „Isolation der Kernbeißer“	63
5.2 Verankerung in den Bildungsstandards und Kompetenzschwerpunkte	70
6 Material und Methoden der Untersuchung.....	73
6.1 Ablauf der Untersuchung	73
6.2 Entwicklung des Fragebogens.....	75
6.3 Interview und Leitfaden	77
6.4 Stichprobe	81
6.5 Aufbereitung und Analyse der Daten.....	82
7 Ergebnisse	84
7.1 Kategoriensystem.....	84
7.1.1 Quantitative Auswertung prominenter Kategorien	93
7.2 Erster Zyklus	108
7.2.1 Ergebnisse der Fragebögen	108
7.2.2 Ergebnisse der Interviews	109
7.2.3 Weiterentwicklung des Unterrichtsdesigns	119
7.3 Zweiter Zyklus	121
7.3.1 Ergebnisse der Fragebögen	121

7.3.2 Ergebnisse der Interviews	122
7.3.3 Weiterentwicklung des Unterrichtsdesigns	131
7.4 Dritter Zyklus	133
7.4.1 Ergebnisse der Fragebögen	134
7.4.2 Ergebnisse der Interviews	135
7.4.3 Weiterentwicklung des Unterrichtsdesigns	145
7.5 Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse	147
7.5.1 Kategorisierte Vorstellungen zur Angepasstheit vor der Intervention	147
7.5.2 Kategorisierte Vorstellungen zur Angepasstheit nach der Intervention	149
7.5.3 Kategorisierte Vorstellungen zur Artbildung vor der Intervention	152
7.5.4 Kategorisierte Vorstellungen zur Artbildung nach der Intervention	154
7.5.5 Vorstellungen zu isolierten Teilpopulationen	155
7.6 Einordnung der Ergebnisse	156
7.7 Optimierte Simulationen und Unterrichtsdesign	158
7.7.1 Simulation „Kugelhausschnecke“	160
7.7.2 Simulation „Nahrungstransport der Kernbeißer“	167
7.7.3 Simulation „Entwicklung der Alpenruspen“	171
8 Diskussion	180
8.1 Diskussion der vorunterrichtlichen Vorstellungen	180
8.1.1 Vorstellungen zur Angepasstheit und Artbildung	181
8.1.2 Diskussion der erhobenen Vorstellungen zu isolierten Teilpopulationen	185
8.2 Didaktische Konsequenzen und inhaltliche Schwerpunktsetzung	186
8.3 Strukturelle Konsequenzen zur Förderung wissenschaftlicher Vorstellungen	189
8.4 Evaluation des Unterrichtsdesigns anhand der Lernendenvorstellungen z	191
8.4.1 Diskussion der Ergebnisse im Rückblick auf das Aufgabenformat	191
8.4.2 Evaluation des Unterrichtsdesigns anhand der Diskussion der Ergebnisse der Einzelfallanalysen im Nachinterview zur Merkmalsentwicklung	194
8.4.3 Evaluation des Unterrichtsdesigns anhand der Diskussion der Ergebnisse der Einzelfallanalysen im Nachinterview zur Artbildung	196
8.4.4 Zusammenfassung weiterer Erkenntnisse aus der Evaluation des Unterrichtsdesigns .	197
9 Fazit und Ausblick	200
10 Literaturverzeichnis	202
11 Abbildungsverzeichnis	214
12 Tabellenverzeichnis	216
Anhang	220
Eidesstattliche Erklärung	221

Abstract

For decades, a lack of understanding of evolutionary concepts has been evident among students. Simultaneously, a variety of misconceptions have been identified, affecting both lower secondary school students and young adults. Consequently, didacticians and educational institutions advocate for the early integration of evolution into school curricula and for developed and evaluated various teaching concepts.

In this context, a teaching design was developed, researched, and evaluated using the design research approach known as the "Dortmund Model." The ideas of 6th and 7th grade students were collected before and after a teaching intervention. Based on these findings, didactic, content-related, and structural adjustments were made to further refine the teaching design. The improved teaching concept led to the development of precepts towards scientific ideas within the examined group. Notably, the creation of an analog simulation to facilitate understanding of allopatric speciation in a botanical scenario for lower secondary education addressed a previously existing research gap.

Additionally, the study recorded differentiated ideas about speciation and developed a category system for systematically classifying learners' ideas about speciation. This system has proven to be effective in contextualizing students' conceptions in different contexts and thus expanding research in this area.

1 Zusammenfassung

Aufgrund des seit Jahrzehnten nachgewiesenen mangelnden Verständnisses zu evolutionären Konzepten und dem gleichzeitigen Auftreten vielfältiger Alltagsvorstellungen, sowohl bei Schülerinnen und Schülern im unteren Sekundarbereich als auch bei jungen Erwachsenen, fordern Didaktiker und Bildungseinrichtungen zum einen die frühzeitige Einbindung der Evolution in die Lehrpläne der Schulen und zum anderen evaluierte Unterrichtskonzepte zur schulischen Vermittlung.

In der vorliegenden Arbeit wurde anhand der didaktischen Entwicklungsforschung im Dortmunder Modell ein Unterrichtsdesign entwickelt, beforscht und evaluiert. Dabei wurden die Vorstellungen der Lernenden aus dem 6. und 7. Schuljahr jeweils vor und nach der Unterrichtserprobung erhoben und didaktische, inhaltliche und strukturelle Konsequenzen zur Weiterentwicklung des Designs gezogen. Im Ergebnis führt das verbesserte Unterrichtskonzept in der untersuchten Gruppe zur Entwicklung der Präkonzepte hin zu wissenschaftlichen Vorstellungen. Vor allem die Entwicklung einer analogen Simulation zur Förderung des Verständnisses allopatrischer Artbildung in einem botanischen Szenario zum Einsatz im Unterricht bereits im unteren Sekundarbereich füllt eine bislang vorhandene Forschungslücke.

Daneben konnten differenzierte Vorstellungen zur Artbildung erhoben und ein Kategoriensystem zur systematischen Einordnung der Lernendenvorstellungen zur Artbildung entwickelt werden, was sich zur Verortung der Vorstellungen in verschiedenen Kontexten als geeignet erwiesen hat und somit die Forschung in diesem Bereich erweitert.

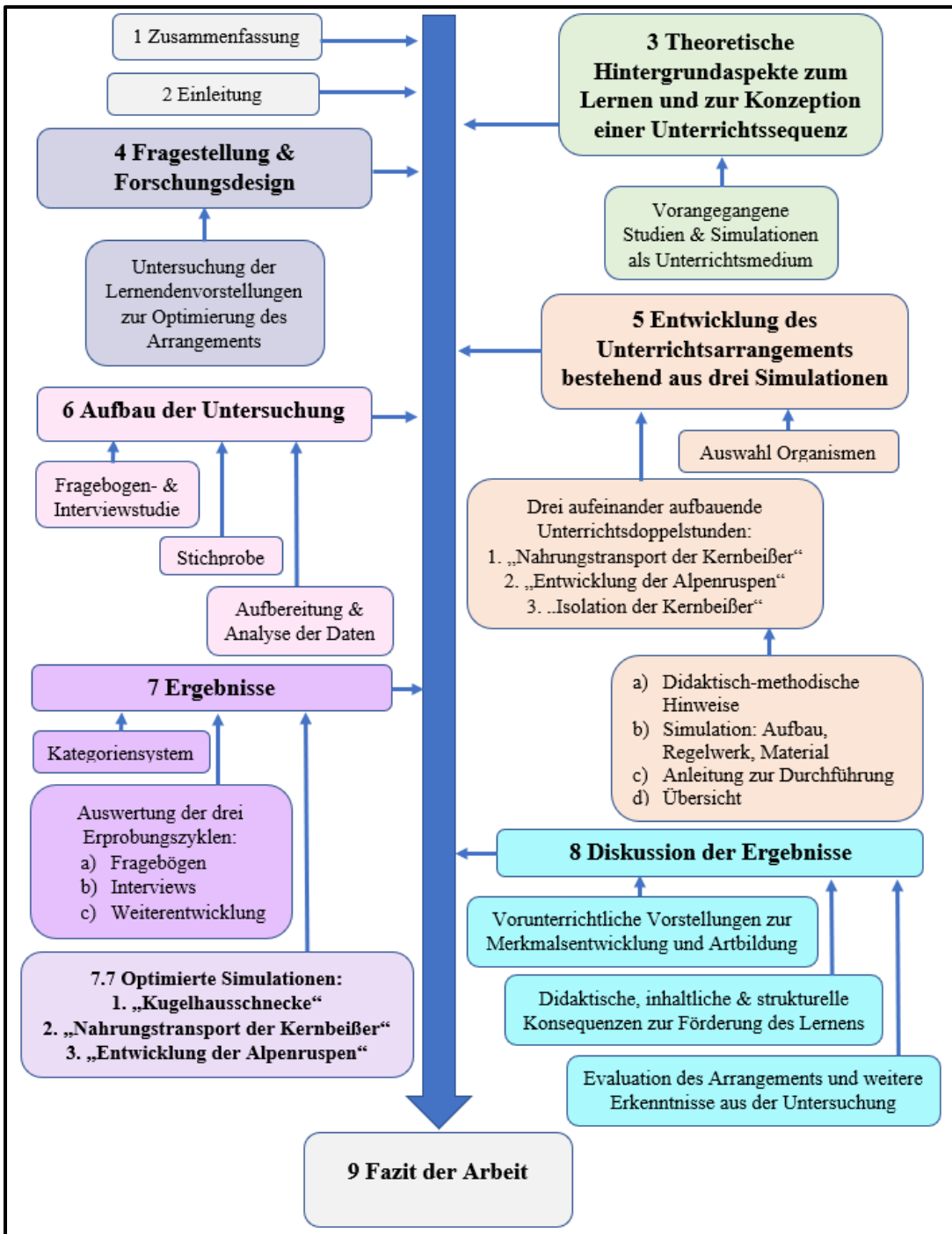
2 Einleitung

Die Evolutionstheorie macht nicht nur Verwandtschaftsverhältnisse zwischen Organismen erklärbar, sie bietet die Grundlage für die Erklärung der Zusammenhänge allen Lebens (Vollmer 2017) und schafft Aussagen über zukünftige Entwicklungsprozesse (Leopoldina 2017). Trotz der enormen Tragweite der Evolution sind Verständnisprobleme national und international bekannt (z. B. Kuschmierz et al. 2021, Beniermann 2019), die vor allem für Lernende oftmals ein großes Hindernis darstellen (Hmelo et al. 2000). So wird die Evolutionstheorie von großen Teilen der Bevölkerung abgelehnt (Beniermann 2019) und auch das Wissen über Evolution ist sowohl bei jungen Erwachsenen (Kuschmierz et al. 2021) als auch bei Lernenden der Sekundarstufe I gering ausgeprägt (z. B. Lammert 2012, Fenner 2013). Zudem konnte Beniermann (2019) in ihrer Studie aufzeigen, dass sich in allen untersuchten Gruppen die am wenigsten wissenschaftlichen Vorstellungen zu den Themenbereichen „Artbildung“ und „biologische Fitness“ ergaben. Um die Angepasstheit einer Art, die im Biologieunterricht zu den verbindlichen Unterrichtsthemen gehört (MNU 2019, S.22-23, Hessisches Kultusministerium 2021, KMK 2024) als Ergebnis evolutionärer Entwicklung zu erkennen, ist es essentiell, die Wechselwirkungen zwischen der Variation innerhalb einer Population und den Lebensbedingungen und Selektionsdrücken mit ihren Auswirkungen auf das Überleben und den Fortpflanzungserfolg einzelner zu verstehen (Kapitel 3.6.1). Aus diesen Gründen werden evaluierte und optimierte Lernangebote zu den genannten Themenbereichen für den Einsatz bereits im unteren Sekundarbereich aller Schulen gefordert (z. B. Giffhorn & Langlet 2006, Leopoldina 2017, Graf & Schmidt-Salomon 2017, Zabel 2020) und in dieser Arbeit umgesetzt.

Nachdem theoretische Grundlagen zum Lernen erarbeitet wurden (Kapitel 3.1, 3.2, 3.3), soll eine Unterrichtssequenz mit dem Fokus auf drei optimierten Simulationen zur Einführung der Evolution mit den Konzepten zur innerartlichen Variation, Angepasstheit und Artbildung, sowohl in zoologischen als auch in einem botanischen Szenario, entwickelt werden. Das konzipierte Unterrichtsdesign (Kapitel 5) wird anschließend im Rahmen der fachdidaktischen Entwicklungsforschung im Dortmunder Modell (Kapitel 3.4) für den Einsatz im Unterricht in einem iterativen Verfahren mit Schülerinnen und Schülern erprobt und weiterentwickelt (Prediger et al. 2012). Die dabei entstehenden und empirisch geprüften lokalen Theorien zu den Lehr-Lernprozessen im entwickelten Design sollen das Ergebnis dieser Arbeit auf der Forschungsebene ergänzen (Prediger et al. 2012).

Abbildung 1 veranschaulicht den Aufbau der Arbeit. Dabei sind die Hauptkapitel mit den jeweiligen Unterkapiteln auf der linken Seite der Abbildung verschiedenfarbig dargestellt, um diese zur besseren Übersicht visuell voneinander abzugrenzen (Abb. 1).

Nach einer Zusammenfassung (Kapitel 1) und Einleitung (Kapitel 2) werden in Kapitel 3 (S. 10-35) die theoretischen Hintergrundaspekte zum Lernen von Anpasstheiten und zur Konzeption einer Unterrichtssequenz in Verbindung mit bisherigen Studien und Simulationen als Unterrichtsmedium beschrieben. Dies ist in Abbildung 1 *grün* dargestellt, wobei die Schwerpunktsetzung der Arbeit auf der rechten Seite der Abbildung aufgezeigt wird. Anschließend werden die Fragestellungen zur Untersuchung der Lernendenvorstellungen und zur Optimierung des Arrangements vorgestellt (Kapitel 4, S. 35-37). In der Grafik ist dies *blau-violett* hinterlegt (Abb. 1). In Kapitel 5 (S. 38-72) erfolgt zunächst eine ausführliche Beschreibung des Unterrichtsarrangements zur ersten Erprobung bestehend aus drei aufeinander aufbauenden Simulationen. Abbildung 1 veranschaulicht dies farblich in *orange*. Neben didaktischen Hinweisen werden dabei auch die konzipierten Materialien und Implikationen für die Durchführung in einer Schulklasse aufgezeigt. Dies bildet neben anderen Aspekten den Schwerpunkt der Arbeit, da das entwickelte Unterrichtsarrangement im Fortlauf mehrfach getestet und modifiziert wird und das optimierte Design ein Ergebnis der Arbeit auf der Entwicklungsebene bildet. Anschließend wird in Kapitel 6 (S. 73-83) das Untersuchungsdesign bestehend aus wiederkehrenden Fragebogen- und Interviewerhebungen vorgestellt (Abb. 1, *rosa* hinterlegt). Dabei werden auch Hinweise zur Aufbereitung und Analyse der Daten gegeben und die Stichprobe der Untersuchung vorgestellt. Da das Untersuchungsdesign, bestehend aus verschiedenen bereits validierten Materialien und Methoden, Grundlage der erhobenen Daten bildet, grenzt sich dies in einem eigenen Kapitel vom Unterrichtsarrangement ab, welches durch die begleitende Studie weiterentwickelt und optimiert wird. Die Auswertung der erhobenen Daten und Konsequenzen zur Weiterentwicklung der Unterrichtssequenz nach jedem Erprobungszyklus erfolgen in Kapitel 7 (S. 84-156; Abb. 1, *violett* hinterlegt). Dabei wird, nach dreimaliger Erprobung der Unterrichtssequenz und Analyse der Daten, in Kapitel 7.7 (S. 156-179) als Ergebnis eine Empfehlung zur optimierten Durchführung als Entwicklungsprodukt dieser Arbeit aufgezeigt (Abb. 1, *orange* umrahmt). Die Diskussion der Ergebnisauswertungen und die dabei entstandenen Forschungsprodukte sowie die Bewertung des Designs finden sich in Kapitel 8 (S. 180-200; Abb. 1, *türkis*), wobei in Kapitel 9 (S. 200-201; Abb. 1, *hellgrau*) ein Fazit den Abschluss der Arbeit bildet.



	Quantitative Erhebung	Qualitative Erhebung	Entwicklungsaspekt
Theoretischer Hintergrund	3.6.1 Vorstellungen zur Organismen und deren Artwandel (S. 25) 3.6.2 Vorstellungen zur Artwandel (S. 25)	Entwicklung von Angepasstheit (S. 21) Artbildung und zum	3.6.3 Schulische Umsetzungen (S. 29)
Methodische Aspekte	6.2 Entwicklung des Fragebogens (S. 75)	6.3 Interview und Leitfaden (S. 77)	5.1 Prototypen der Simulationen (S. 40)
Ergebnisse	7.2.1, 7.3.1, 7.4.1 Ergebnisse der Fragebögen (S. 108, 121, 134)	7.2.2, 7.3.2, 7.4.2 Ergebnisse der Interviews (S. 109, 122, 135)	7.2.3, 7.3.3, 7.4.3 Weiterentwicklung (S. 119, 131, 145) 7.7 Optimierung (S. 158)
Diskussion	8.1.1.1, 8.4.1 Fragebogenstudie (S. 181, 191)	8.1.1.2, 8.4.2 – 8.4.4 Evaluation der Interviewstudie (S. 181, 194)	8.2 – 8.3 Konsequenzen (S. 186)

Abbildung 1: Darstellung des Aufbaus der Arbeit. Links: Gesamtüberblick (grün: Theoretische Hintergrundaspekte, blau-violett: Fragestellung & Forschungsdesign, orange: Entwicklungsaspekte, rosa: Methodische Aspekte, violett: Ergebnisse, türkis: Diskussion). Rechts: Schwerpunktsetzung.

3 Theoretischer Hintergrund

In diesem Kapitel werden zunächst die im eigenen Projekt angewandten allgemeinen Prinzipien und Konzepte zur Didaktik und den Lernprozessen dargestellt. Darauf folgt ein Einblick in die Bedeutung der Evolution für Gesellschaft und Wissenschaft, insbesondere für die schulische Bildung. Anschließend wird der aktuelle Forschungsstand zum Verständnis der Evolution dargelegt. Dabei liegt der Schwerpunkt der Ausarbeitung auf den Präkonzepten zur Anpassung und Artbildung. Den Abschluss der theoretischen Rahmung bildet der Einblick in schulische Umsetzungen zur Förderung des Verständnisses der evolutionären Mechanismen zur Anpassung und allopatrischen Artbildung, wobei der Fokus auf den Umsetzungen didaktisch aufbereiteter Simulationen liegt.

3.1 Konstruktivismus

„Eine zentrale Frage für die Lehr-/Lernforschung ist, wie Menschen lernen können, wenn ihre Gehirne doch semantisch abgeschlossene Systeme darstellen, die bedeutungsvolle Information stets selbst konstruieren müssen.“ (Zabel & Bergmann-Gering 2023).

Gegenüber kognitivistischen Auffassungen über das Lernen, die von einem objektiven Lerngegenstand ausgehen, der von der lehrenden Person direkt auf die Lernenden übertragen werden kann (Reinmann & Mandl 2006), hat sich der moderate Konstruktivismus als ein grundlegender Denkansatz der fachdidaktischen Entwicklungsforschung herausgestellt (Riemeier 2007). Nach der moderat konstruktivistischen Betrachtungsweise geschieht Lernen individuell, indem neues Wissen in bereits vorhandene Strukturen selbstreguliert eingebaut wird (Riemeier 2007). Diese Sichtweise entspringt dem radikalen Konstruktivismus, der besagt, dass alle Erkenntnisse der Wirklichkeit eine subjektive Betrachtung des Beobachters sind und kein objektiver Zugang zur Realität möglich ist (Hubrig 2017). Da im Unterricht jedoch ein Zugang zur Wissenschaft und damit zu objektiven Prinzipien geschaffen werden soll (Berck & Graf 2018), bildet die Position des moderaten Konstruktivismus die Grundlage dieser Arbeit, um Lernendenvorstellungen mit der wissenschaftlichen Vorstellung zu verknüpfen. Dabei stehen die folgenden Merkmale im Zentrum des moderaten Konstruktivismus:

- Objektive Realität: Es gibt eine objektive Realität, aber unsere Wahrnehmung davon ist subjektiv.
- Aktive Lernende: Lernende sind aktiv an der Konstruktion ihres eigenen Wissens beteiligt (Komorek & Prediger 2013).
- Vorwissen: Dieses ist entscheidend für die Art und Weise wie neues Wissen interpretiert, eingeordnet und gespeichert wird (Kattmann 2007).
- Kultureller und sozialer Kontext: Das Verständnis und die Interpretation der Realität werden durch den kulturellen und sozialen Kontext beeinflusst (Riemeier 2007).

Neben der Auffassung, dass Wissen nach individuellen Vorerfahrungen und Emotionen selbstreguliert konstruiert wird, finden auch soziale und situationsspezifische Aspekte im moderaten Konstruktivismus Berücksichtigung (Riemeier 2007). Zabel und Bergmann-Gering (2023) beschreiben, dass Lernende ihr eigenes Denken vor allem durch den Austausch mit weiteren Positionen, die sich möglicherweise von der persönlichen Vorstellung unterscheiden, formen. Dabei kann das Lernen positiv oder negativ beeinflusst werden durch die Lernumgebung und den Kontext, in dem die neuen Informationen eingebunden sind (Riemeier 2007).

Probleme können entstehen, wenn Lehrende annehmen, dass die Lernenden das gewünschte Ergebnis beobachten, obwohl sie dies vor dem Unterricht bereits in ihrer eigenen Vorstellung konzipiert haben (Riemeier 2007). Auch, wenn zu einem bestimmten Sachverhalt keine Vorstellungen vorhanden sind, wird die neu erworbene Information in schon bestehendes Wissen aus anderen Gebieten eingebunden (Graf & Hamdorf 2011). Demnach werden Lernwege ausgehend von vorhandenen Vorstellungen beschränkt, welche bereits vor dem Unterrichten neuer Sachverhalte bestehen. Werden diese Sichtweisen in der unterrichtlichen Planung von den Lehrenden ignoriert, können fehlerhafte und somit nicht den wissenschaftlichen Erkenntnissen entsprechende Vorstellungen langfristig überdauern (Graf & Hamdorf 2011). Um die Vermittlung an die Voraussetzungen der Lernenden anzupassen und die individuellen Gegebenheiten zu berücksichtigen, sollten vorunterrichtliche Vorstellungen unbedingt ermittelt werden (Baalman et al. 2004, Gropengießer 2006). Wird der Unterricht nach konstruktivistischen Grundsätzen ausgerichtet, sollte eine kooperative Lernumgebung und ein entdeckender und handlungsorientierter Zugang zum Lerninhalt geschaffen werden (Terhart 1999).

3.2 Conceptual Change und Conceptual Reconstruction

Da Schülerinnen und Schüler mit Vorerfahrungen und Alltagsvorstellungen in die Unterrichtssituation kommen, müssen diese bei der Planung von Lehr-Lernprozessen unbedingt berücksichtigt werden (Riemeier 2007). Dabei soll den Lernenden die Einsicht über die Grenzen ihrer Vorstellung ermöglicht werden, um das Erklärungspotential des wissenschaftlichen Konzeptes hervorzuheben (Graf & Hamdorf 2011). Ein entsprechender Ansatz zur Entwicklung von wissenschaftlich korrekten Vorstellungen wird als „Conceptual Change“ bezeichnet (Posner et al. 1982). Die Autoren legen vier basale Bedingungen fest, um einen Konzeptwechsel anzuregen (Posner et al. 1982). Diese vor allem kognitiven Aspekte sollen im Folgenden beschrieben werden:

1. Zunächst sollen die Lernenden einem kognitiven Konflikt ausgesetzt werden, in dem ihre bisherige im Alltag durchaus plausible Vorstellung nicht ausreicht, um ein bekanntes Phänomen schlüssig zu erklären. So wird eine *Unzufriedenheit* ausgelöst, welche die bestehende Vorstellung anzweifeln lässt.
2. Daraufhin kann die wissenschaftlich korrekte Vorstellung eingeführt werden. Diese muss *verständlich* sein und eine hohe Erklärungskraft für die Lernenden besitzen (Weitzel 2012).
3. Außerdem muss die neue Vorstellung für die Schülerinnen und Schüler *plausibel* erscheinen, d. h. sie muss glaubwürdig sein und das vorgestellte Problem besser erklären können als die bisherige Vorstellung. Dazu sollten vorhandene Vorstellungen in das Vermittlungskonzept unbedingt einbezogen werden. Durch übereinstimmende Aspekte der vorunterrichtlichen und der wissenschaftlich korrekten Vorstellung, können Lernende neues Wissen besser in bestehende Strukturen einbauen. Plausibel wirkt die neue Vorstellung nur, wenn sie ohne Widerspruch zu den eigenen Überzeugungen steht (Krüger 2007).
4. Und schließlich muss sich die wissenschaftliche Vorstellung als *fruchtbar* erweisen, indem sie sich auf andere Bereiche übertragen und anwenden lässt. Zeigt sich die neue Vorstellung auch als Erklärungsprinzip für andere Erfahrungen, wird sie als fruchtbar angesehen (Strike & Posner 1992).

Kritisch wird die Conceptual Change Theorie hinsichtlich der fehlenden affektiven Aspekte wie Motivation und Emotion oder der Berücksichtigung von Lernumgebung betrachtet (Pintrich et al. 1993, Krüger 2007). Die ursprüngliche Theorie wurde daher zum Konzept der „Conceptual Reconstruction“ erweitert, da ein Konzeptwechsel immer mit der Erweiterung des bereits bestehenden Wissens und somit mit der Rekonstruktion der eigenen Vorstellung verbunden ist (Krüger 2007). Neue Lerngegenstände sollten also mit bereits vorhandenem Wissen aus anderen Bereichen verbunden und in schülerrelevante Situationen integriert werden (Riemeier 2007). Zudem sollten die Lernenden neue Inhalte aus verschiedenen Perspektiven betrachten, die möglichst authentisch gestaltet sind, und ihre Erfahrungen dabei reflektieren (Schnotz 2006, Gebhard 2023).

Möller (2019) definiert ausgehend von diesen Erweiterungen der Conceptual Change Theorie drei Lehr-Lernstrategien zur Entwicklung vorunterrichtlicher Vorstellungen. In einer *Konfliktstrategie* wird Schülerinnen und Schülern die Grenze ihrer individuellen Vorstellung aufgezeigt, was die Bereitschaft zur Aufnahme neuer Inhalt fördern soll. Diesen Konflikt müssen die Lernenden jedoch zunächst aktiv wahrnehmen, damit diese Strategie zum Erfolg führt. Die *Anknüpfungsstrategie* soll genutzt werden, wenn von Überschneidungen zwischen Fehlvorstellungen und wissenschaftlicher Vorstellung ausgegangen wird. Dabei werden übereinstimmende Aspekte als Ankerpunkte verwendet, um die vorhandene Vorstellung auszuweiten und an der wissenschaftlichen Vorstellung anzuknüpfen. Zuletzt beschreibt Möller (2019) die *Brücken-Strategie*. Hierbei werden erst wissenschaftliche Erklärungen vermittelt, die anschließend mit den vorhandenen Vorstellungen der Lernenden abgeglichen und reflektiert werden. So soll eine vorzeitige Festigung der Alltagsvorstellung verhindert werden, um zunächst verständlich und plausibel die wissenschaftlich korrekte Vorstellung einzuführen (Möller 2019).

Da ein Konzeptwechsel hin zu wissenschaftlichen Vorstellungen unmittelbar mit der Auseinandersetzung mit den bereits vorhandenen vorunterrichtlichen Vorstellungen der Lernenden zusammenhängt, müssen diese bei der Planung von Lehr-Lernprozessen unbedingt bedacht werden. Dies wird auch im Modell der didaktischen Rekonstruktion deutlich (Kapitel 3.3).

3.3 Didaktische Rekonstruktion

Bereits Gelerntes und die damit gesammelten Erfahrungen bestimmen, wie neue Inhalte wahrgenommen und verarbeitet werden (Duit 1995). Wird Unterricht ohne die Berücksichtigung der Schülerperspektiven entwickelt, führt dieser oftmals nicht zu einem gewünschten Konzeptwechsel hin zu wissenschaftlichen Vorstellungen (Reinfried et al. 2009). Nach den Prinzipien des Konstruktivismus (Kapitel 3.1) muss sich die Didaktik an den Einstellungen und Bedürfnissen der Lernenden orientieren, da diese die Grundbausteine sind, aus denen neues Wissen entwickelt wird (Duit 1995). Im Modell der Didaktischen Rekonstruktion werden die Vorstellungen der Lernenden und die wissenschaftlichen Vorstellungen zum Lerngegenstand aufeinander bezogen (Abb. 2) und genutzt, um den Unterricht didaktisch sinnvoll zu strukturieren (Kattmann et al. 1997).

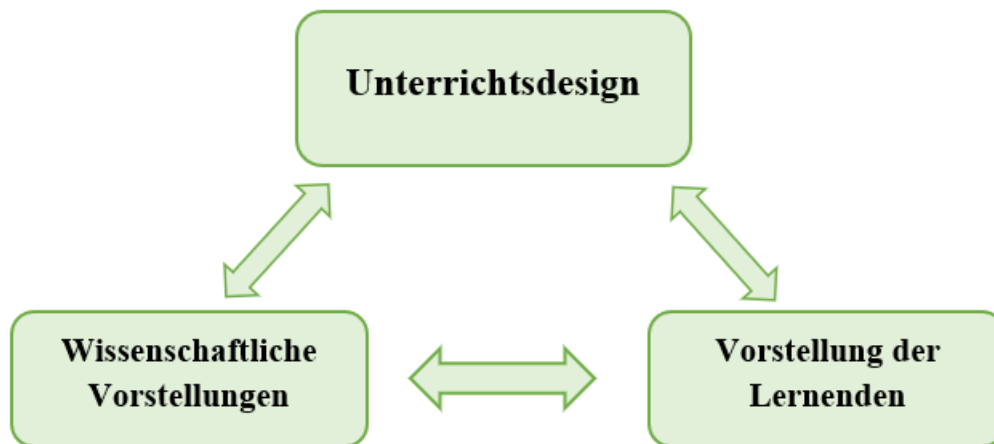


Abbildung 2: Modell zur didaktischen Strukturierung (verändert nach Kattmann et al. 1997).

Das Modell stellt ein bereits erprobtes Konzept zur Entwicklung von Unterricht dar, ausgehend von den Perspektiven der Schülerinnen und Schüler. Zur Strukturierung des Unterrichts steht zunächst die fachliche Klärung im Vordergrund (Kattmann 2007). Hierbei sollen wissenschaftliche Vorstellungen, Methoden und Theorien kritisch auf die Verwendung im Unterricht hin analysiert werden (Dannemann et al. 2021, Gropengießer & Kattmann 2023). Sowohl aktuelle als auch historische Forschungen sind von Bedeutung für die Unterrichtsplanung und müssen auf den Bezug zur Lebenswelt der Lernenden reflektiert werden (Kattmann 2007). Dabei sollen grundlegende fachliche Elemente herausgestellt und mit den vorhandenen Schülervorstellungen in Beziehung gesetzt werden (Gropengießer & Kattmann 2023). Um die Unterrichtsinhalte aufeinander aufbauend zu strukturieren, müssen

vorunterrichtliche Vorstellungen sondiert und ein fachlicher Rahmen zum Verständnisaufbau konstruiert werden (Gropengießer & Kattmann 2023).

Zur Gestaltung von Lernsituationen sollen zum einen Anknüpfungspunkte der Alltagsvorstellungen identifiziert und zum anderen die möglicherweise daraus entstehenden Lernhindernisse abgegrenzt werden (Weitzel 2006). Ein didaktisch rekonstruierter Unterricht bezieht demnach Kenntnisse und Fertigkeiten der Lernenden und fachliche Theorien und Erkenntnisse wechselseitig aufeinander, sodass Lernumgebung und unterrichtliche Angebote möglichst lernförderlich strukturiert werden können (Dannemann et al. 2021, Gropengießer & Kattmann 2023).

Nachdem die fachliche Vorstellung im Unterricht vermittelt wurde, verfügen die Schülerinnen und Schüler über eine größere Auswahl an Vorstellungen, die je nach Kontext zur Erklärung eines Phänomens eingesetzt werden können (Weitzel & Gropengießer 2009). Um einen erfolgreichen Konzeptwechsel im Sinne eines Conceptual Change (Kapitel 3.2) handelt es sich, wenn die Lernenden einem naturwissenschaftlichen Phänomen mit entsprechenden naturwissenschaftlichen Vorstellungen begegnen (Kattmann et al. 1997).

3.4 Fachdidaktische Entwicklungsforschung im Dortmunder Modell

Das Dortmunder Modell der fachdidaktischen Entwicklungsforschung bietet die Möglichkeit Lehr-Lernprozesse zu initiieren und zu erforschen. Lehrende im Schulalltag können mithilfe des Modells funktionale Produkte erstellen, um die Unterrichtspraxis weiterzuentwickeln (Prediger et al 2012). Anhand des Modells werden in einem iterativen Verfahren vier Arbeitsschritte (Abb. 3) mehrmals durchlaufen. Diese sind: Lerngegenstände spezifizieren und strukturieren, Design (weiter) entwickeln, Design-Experimente durchführen und auswerten, Lokale Theorien (weiter) entwickeln (Prediger et al. 2012).

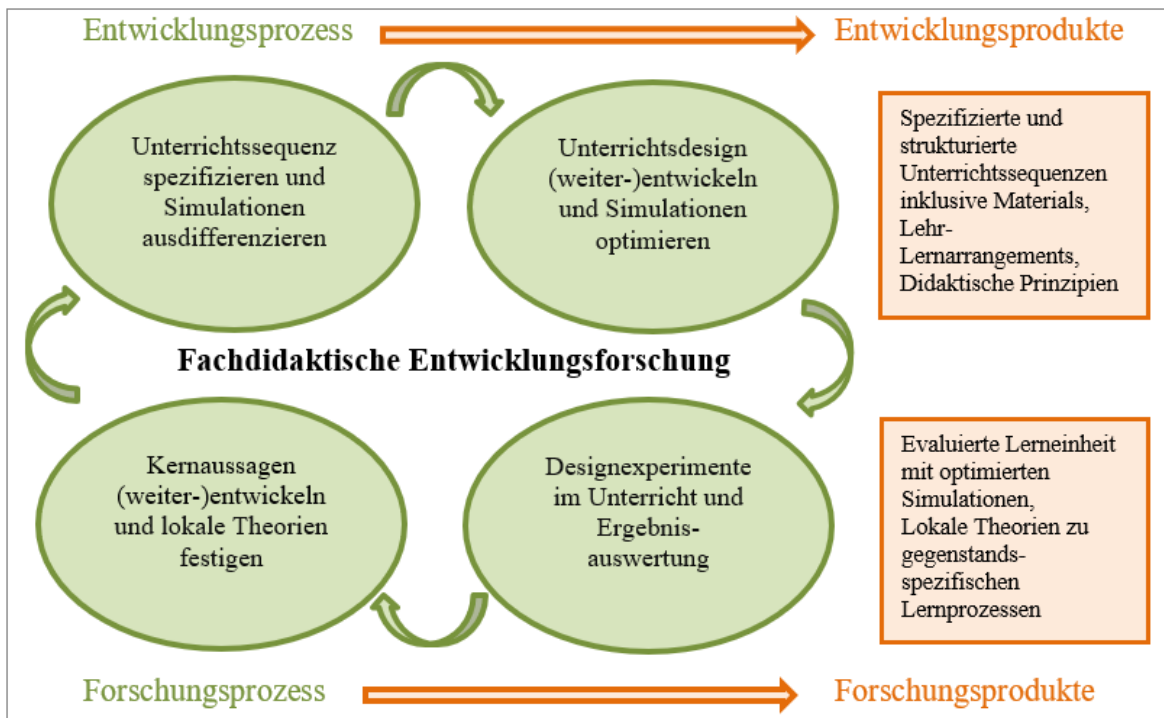


Abbildung 3: Zyklus der Fachdidaktischen Entwicklungsforschung im Dortmunder Modell (verändert nach Prediger et al 2012).

Zu Beginn eines zu durchlaufenden Zyklus steht zumeist die Entwicklung neuer Lehr-Lernarrangements. Um einen Lerngegenstand spezifizieren zu können (Abb. 3), muss dieser zunächst aus fachdidaktischer Perspektive und der der Lernenden analysiert werden (Prediger et al 2012). Im Sinne der Didaktischen Rekonstruktion (Kapitel 3.2) müssen zur anschließenden Strukturierung zum einen der wissenschaftliche Fachkontext und relevante Begriffe und zum anderen die Vorstellungen der Lernenden für den zu untersuchenden Lerngegenstand identifiziert werden (Gropengießer & Kattmann 2023). Sind diese Grundlagen erfüllt, können so genannte „Designs“ (Abb. 3) für konkrete Lehr-Lernarrangements geschaffen werden, sodass tatsächlich bestehende Entwicklungsprodukte zur weiteren Erprobung entstehen. Diese theoriegeleiteten Designs entstehen auf prozessbezogener und methodischer Ebene unter dem Prinzip der Handlungsorientierung, Kommunikation und immer wiederkehrenden Reflexionsphasen zur Optimierung der entwickelten Produkte (Prediger et al. 2012).

Sind die Designtheorien inklusive aller Materialien fertig zu einem Lerngegenstand ausgearbeitet, werden Design-Experimente (Abb. 3) durchgeführt. Prediger et al (2012) verstehen darunter mehrfach zu durchlaufende Erprobungen des Arrangements mit den Lernenden, um diejenigen Lernprozesse zu untersuchen, die währenddessen tatsächlich ablaufen. Außerdem soll verglichen werden, inwieweit die verfolgte Zielsetzung mit den

Ergebnissen übereinstimmt. Bei einer fortlaufenden Bewährung des Lehr-Lernarrangements wird tiefergreifend erforscht, wie das Verständnis der Lernenden sich bezogen auf den Lerngegenstand verändert und entwickelt (Prediger et al 2012).

Um als Forschungsprodukt eine lokale Theorie (Abb. 3) zu den Lehr-Lernprozessen zu begründen, ist es wichtig, die beobachteten Ereignisse im Denkprozess der Lernenden zu dokumentieren. Dazu gehören außerdem die Auswertung der Ergebnisse und der Vergleich mit den festgehaltenen Lernzielen (Prediger et al. 2012). Je öfter der gesamte Zyklus durchlaufen wird, umso besser kann das Lehr-Lernarrangement auf die Voraussetzungen der Lernenden und die gesetzten Ziele hin entwickelt und verbessert werden. Darauf folgend kann die lokale Theorie zunehmend ausdifferenziert und empirisch abgesichert werden, wobei „ein konkretes, für den Einsatz im Unterricht exemplarisch erprobtes Lehr-Lernarrangement entsteht“ (Prediger et al 2012, S. 7). Die fachdidaktische Entwicklungsforschung im Dortmunder Modell ermöglicht auf diese Weise, mittels wissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung, anwendbare und geprüfte Lernangebote für den Unterricht zu entwickeln. Diese Vorgehensweise hat sich bereits vielfältig bewährt und zu etlichen optimierten Unterrichtsarrangements unterschiedlicher Disziplinen geführt (für den Biologieunterricht: Wolf 2013, Roth 2017).

In der vorliegenden Arbeit wird in Anlehnung an die fachdidaktische Entwicklungsforschung im Dortmunder Modell eine Unterrichtssequenz konzipiert und optimiert. Dabei werden Lernendenvorstellungen zur innerartlichen Variation, evolutionärer Anpasstheit und der Entwicklung von Populationen erhoben, um ein evaluiertes Lernangebot mit dem Fokus auf drei handlungsorientierten Simulationen für Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I (weiter) zu entwickeln (Kapitel 5, 7.7). Somit sollen, bezogen auf den Biologieunterricht, Defizite im Verständnis evolutionärer Anpassungs- und Artbildungsprozesse abgebaut werden bei gleichzeitiger Förderung wissenschaftlich korrekter Vorstellungen.

3.5 Bedeutung der Evolution

„Die biologische Evolution ist das vereinigende, übergreifende Erklärungsprinzip der Lebenswissenschaften“ (Leopoldina 2017).

Sie ist der verknüpfende Inhalt aller biologischen Themen (Dobzhansky 1973, Kleesattel 2011) und wissenschaftlich als auch gesellschaftlich hoch relevant (Vollmer 2017). Mit ihrer Theorie stellt sie die Grundlage für jegliche Annahmen und Aussagen über das Leben und dessen Entwicklung und Veränderung dar (Zrzavý et al. 2013). Sie gibt Aufschluss über die Geschichte der Lebewesen, deren Vielfalt und Zusammenhänge im Ökosystem (Zrzavý et al. 2013).

Wird die wissenschaftliche Erkenntnis über die Entstehung des Menschen betrachtet, erscheint die Bedeutung der Evolutionstheorie ganz deutlich. Denn auch mit Einzellern hat der Mensch den chemischen Aufbau auf Kohlenstoffbasis, die gleichen mit Plasma gefüllten Zellen, sowie eine ähnliche Weise, Eigenschaften in der DNA zu verschlüsseln, gemein (Franke 1966). Die vielen Entwicklungen zwischen diesen Einzellern und dem Menschen lassen sich nur durch das Verständnis evolutionärer Anpassungs- und Artbildungsprozesse erklären. So führten auch Veränderungen in den Genvariationen früherer Affen, durch Mutation und Rekombination mit gleichzeitigem Selektionsdruck, über verschiedene Entwicklungsstufen zur Entstehung des Menschen (Kleesattel 2011.). Die Evolutionstheorie, ohne welche die Entstehung und Entwicklung der Lebewesen nicht verstanden werden kann, liefert auch die entscheidenden Erkenntnisse zum Selbstbild des Menschen oder seinen sozialen Interaktionen, was zu einer zweifelsfreien Selbstanschauung beiträgt (Futuyma 2013).

Darüber hinaus findet das Wissen um Evolutionsmechanismen in der Medizin Anwendung (Vollmer 2017). Hierbei werden nicht nur die Entwicklung von Resistenzen oder die permanente Veränderung von Krankheitserregern geklärt (Futuyma 2013). Durch die molekulare Abstammungsforschung kann auch ein möglicher Pandemieursprung und weitere Ausbrüche erkannt werden (Leopoldina 2017). Das Verständnis solcher Mechanismen ist jedoch nicht nur für die Wissenschaft und Forschung von enormer Wichtigkeit: Gerade das Artbildungskonzept, als bedeutsamer Teil evolutionärer Bildung, liefert die Basis für die Einschätzungen über den Verlust der Biodiversität (Futuyma 2013). Aufgrund sich stetig wandelnder Umweltbedingungen und zugleich wachsender Weltbevölkerung, ist das Leben auf der Erde gefährdet und die Menschen stoßen an die ökologische Belastungsgrenze der Natur (Leopoldina 2017). Durch menschliche Selektion (Zucht) können Pflanzen so manipuliert werden, dass sie für die Ernährung der Bevölkerung von Vorteil sind, da sie Resistenzen gegen Schädlinge oder schädliche Einflüsse ausbilden. Jedoch bedeutet diese künstlich erzeugte Veränderung auch, dass die Diversität im Genpool

dieser Pflanzen abnimmt (Held & Nutzinger 2001). Treten natürliche oder anthropogene Umweltveränderungen ein, entwickeln Pflanzenarten mit geringer Variabilität im Genpool eventuell keine Angepasstheit und sterben aus (Kleesattel 2011). Da von wachsender Weltbevölkerung und somit steigenden Ressourcenbedürfnissen ausgegangen werden muss, ist dieses Szenario bedenklich (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft 2023). Damit ein Bewusstsein für evolutionäre Entwicklungen geschaffen werden kann, müssen die Grundlagen der Evolutionstheorie verstanden werden, um lokale und globale Zusammenhänge zu verinnerlichen (Leopoldina 2017). Es ist somit essentiell, frühzeitig Angebote zu entwickeln, die das Verständnis für evolutionäre Anpassungs- und Artbildungsprozesse fördern, sodass die Bedeutung der Biodiversität und der Verlust dieser auch für die Gesellschaft erkannt und danach gehandelt werden kann (Leopoldina 2017).

Aus den herausgestellten Gründen wird in der vorliegenden Arbeit ein Unterrichtsdesign zu evolutionären Anpassungs- und Artbildungsprozessen zum Einsatz im unteren Sekundarbereich im Sinne der fachdidaktischen Entwicklungsforschung (Kapitel 3.4) entwickelt, beforscht und optimiert.

3.6 Stand der Forschung

Bis zum heutigen Zeitpunkt wurden vielfältige Studien zur Erforschung der evolutionsbezogenen Vorstellungen von Lernenden durchgeführt. Zusammenfassungen prominenter Forschungen finden sich z. B. bei Fenner (2013) und Brennecke (2015). Die Ergebnisse, sowohl historischer als auch aktueller empirischer Studien (Kuschmierz et al. 2021, Beniermann 2019), zeigen ein mangelndes wissenschaftliches Verständnis evolutionärer Mechanismen für Lernende im unteren Sekundarbereich und auch für junge Erwachsene mit Bildungsabschluss Abitur (Fiedler et al. 2023).

Unter „Vorstellungen“ werden gedankliche Konstrukte verstanden, die allein den individuellen Erfahrungen der Person selbst entspringen (Duit 1995, Gropengießer & Marohn 2018). Diese können sowohl lebensweltlichen als auch wissenschaftlichen Sinngebieten entstammen, wobei sie situativ angewandt werden und zudem nebeneinander existieren können (Weitzel 2006, Kattmann 2007). Synonym werden häufig auch die Termini „Alltagsvorstellungen“, „Lernendenvorstellungen“ (Hamann & Asshoff 2023),

„Präkonzepte“ oder „alternative Vorstellungen“ zur Umschreibung der Schülervorstellungen genutzt (Graf & Hamdorf 2011). Diese vorunterrichtlichen Vorstellungen entspringen oftmals der Lebenswelt der Lernenden und haben sich zumeist im Alltag als funktional erwiesen (Zabel & Bergmann-Gering 2023). Durch individuelle Erfahrungen kann evolutionäre Anpassung aus Schülerperspektive schlüssig als ein zweckgebundener Prozess erscheinen (Hammann & Asshoff 2023). Wenn lebensweltliche Vorstellungen der Lernenden zur wissenschaftlichen Verwendung im Widerspruch stehen, spricht man auch von Fehlvorstellungen (Graf & Hamdorf 2011). Wie in Kapitel 3.3 beschrieben, sollen lebensweltliche und fachliche Vorstellungen im Unterricht wechselseitig aufeinander bezogen werden, um eine Entwicklung hin zu wissenschaftlich korrekten Vorstellungen zu erreichen.

Zur Untersuchung von Schülervorstellungen werden sprachliche Ausdrücke genutzt, um gedankliche Konstrukte sichtbar zu machen (Gropengießer 2007). Dabei können die Äußerungen der Lernenden kognitive Prozesse enthüllen (Gropengießer 2007). Durch Studien zu Schülervorstellungen zu evolutionsbiologischen Themen konnten bereits vor dem Unterricht bestehende durch individuelle Erfahrungen vernetzte Vorstellungen aufgezeigt werden (Brennecke 2015, Roth 2017, Beniermann 2019, Klös 2020).

Allerdings lässt sich durch das Lehren wissenschaftlicher Inhalte die zum Teil tief vernetzte lebensweltliche Vorstellung nicht einfach ersetzen (Zabel & Bergmann-Gering 2023). Durch den Bezug der Lernendenvorstellungen auf wissenschaftliche Konzepte im Biologieunterricht können vorhandene Vorstellungen jedoch modifiziert und erweitert werden, wobei Alltagsvorstellungen weiterhin daneben bestehen können (Möller 2019, Gropengießer & Kattmann 2023). Die Erfassung vorunterrichtlicher Vorstellungen ist somit für den Vermittlungserfolg zentral, weil diese nicht allein als Lernhindernis, sondern auch als Anknüpfungspunkt für die Konstruktion neuen Wissens genutzt werden können (Baalman 2004, Möller 2019). Da die Vorstellungserhebung auch für die Konzeption von Lernangeboten unerlässlich ist (Hammann & Asshoff 2023), werden im Folgenden die für diese Arbeit relevanten Schülervorstellungen dargestellt.

3.6.1 Vorstellungen zur Entwicklung von Organismen und deren Anpasstheit

Wissenschaftliche Vorstellungen evolutionärer Anpasstheit

Wissenschaftlich korrekte Vorstellungen sind gedankliche Konzepte, die von einer Wissenschaftlergemeinschaft in einem andauernden Prozess entwickelt, verändert, kritisch überprüft und veröffentlicht werden (Gropengießer 2001). Die dahinterstehenden Hypothesen sind sowohl überprüfbar als auch nachvollziehbar und werden gegenwärtig als gültig angesehen (Krüger & Vogt 2007).

Um wissenschaftliche Vorstellungen im Themenbereich Evolution aufzubauen, müssen die Evolutionsmechanismen mit ihren komplexen und langsam ablaufenden Prozessen verstanden werden (Sommer & Graf 2024). Probleme ergeben sich bei fehlendem Verständnis von Ursachen- und Wirkungszusammenhängen evolutionärer Anpasstheit (Kattmann 2022, Gemballa & Kattmann 2024). Abbildung 4 zeigt, dass wissenschaftliche Vorstellungen zu verschiedenen Teilaspekten evolutionärer Mechanismen vorhanden sein müssen, um die Wirkung über Generationen hinweg auf eine Population zu verstehen (Sommer & Graf 2024). Der obere, grün markierte Bereich in Abbildung 3 stellt dabei die Wechselwirkung (grüner Doppelpfeil) zwischen der Variation einzelner Individuen einer Population (linker Kasten) und den vorhandenen Lebensbedingungen wie biotischen und abiotischen Umweltfaktoren und dem sich daraus ergebenden Selektionsdruck (rechter Kasten) als Ursache für die evolutionäre Entwicklung einer Anpasstheit heraus. Im unteren, blau hinterlegten Bereich der Abbildung ist die Wirkung der beschriebenen Ursachen dargestellt. Dabei beschreibt der breite Pfeil zum einen die momentane Gesamtfitness der Population aus der aufgezeigten Wechselwirkung der Ursachen und zum anderen die Wirkung dieser Fitness auf die folgenden Generationen. Der blaue Pfeil, welcher vom breiten Pfeil abgeht und zum Kasten „Variation innerhalb Population“ führt, zeigt die Wirkung unterschiedlichen Fortpflanzungserfolges auf die individuelle Variation der Nachkommen (Abb. 4). Insgesamt führt dieses komplexe Gefüge über viele Generationenabfolgen zu einer (momentanen) Anpasstheit der Population, was im blauen Kasten dargestellt ist.

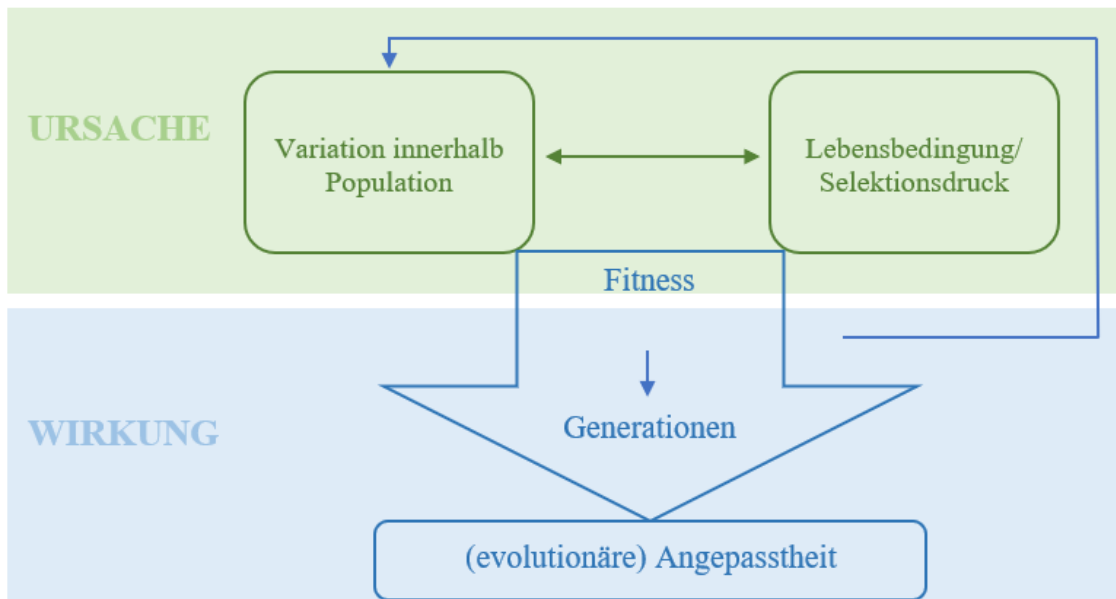


Abbildung 4: Darstellung der Ursachen- und Wirkungszusammenhänge, die zu evolutionärer Anpassung führen (nach Sommer & Graf 2024).

So beschreibt auch Darwin (1859) schon die Prozesse zur Selektion und Entwicklung von Arten über lange Zeiträume hinweg sowie die sexuelle Reproduktion und sowohl die damit verbundene Weitergabe von Merkmalen als auch die Variation der Nachkommen als Voraussetzung für evolutionären Wandel. Auf der komplexen Ebene des Verstehens (Beniermann et al. 2014) wird die Entwicklung eines Lebewesens mit seinen individuellen Merkmalen, die sich verschieden auf das Überleben und den Fortpflanzungserfolg auswirken können, von den Lernenden erkannt. Teil der wissenschaftlichen Vorstellungen zur Evolution sind demnach auch die Ursachen, die in Wechselwirkung zueinanderstehen (Abb. 4) und langfristig zu einer Anpassung der Population an die momentanen Bedingungen führen (Futuyma 20013).

Alle wissenschaftlich korrekt beschriebenen Teilaspekte evolutionärer Mechanismen werden in dieser Arbeit als wissenschaftliche (Teil-)Vorstellungen bezeichnet.

Finalistische Vorstellungen

Finalistische Vorstellungen enthalten Erklärungen zur Entwicklung eines Merkmals gerichtet auf eine Zielvorstellung hin und werden bei Beschreibungen der Entwicklung zu einem bestimmten Zweck auch als teleologische Vorstellungen bezeichnet (Graf & Hamdorf 2011, Stover & Mabry 2007). Diese Fehlvorstellung begründet sich auf der Annahme, dass Eigenschaften aus einer Notwendigkeit der Anpassung heraus funktionsgebunden entstehen

(Hammann & Asshoff 2023). Dabei können sich finalistische Vorstellungen auf den willentlichen Antrieb des Organismus selbst beziehen (Hammann & Asshoff 2023, Fenner 2013) oder durch Umwelteinflüsse gesteuert (Smith 2010) beschrieben werden, bei denen die Natur als treibende Kraft bezeichnet wird. Nach diesen Ansichten entstehen Merkmale, da die zielgerichtete Veränderung das Überleben bewahrt (Smith 2010). Jedoch vertauschen finalistische Vorstellungen die Ursache einer Anpassung mit deren Wirkung (Abb. 4) und widersprechen dabei den wissenschaftlich gesicherten Erkenntnissen zur Evolutionstheorie, welche durch Zufälligkeit, individuelle Variation und dynamische Entwicklungsprozesse gekennzeichnet ist (Graf & Hamdorf 2011, Fenner 2013).

Hinter finalistischen oder teleologischen Vorstellungen können sich außerdem Glaubensüberzeugungen verbergen, da der Entwicklungsprozess durch eine äußere Instanz wie der eines übernatürlichen Schöpfers auf einen Endzustand geführt wird (Graf & Hamdorf 2011, Stover & Mabry 2007). In ihrer Studie zu Einstellungen zu Evolution und Gläubigkeit zeigte Beniermann (2019), dass etwa ein Drittel der Befragten davon ausging, dass ein Schöpfer „[...] aktiv in den Prozess der Evolution eingreift.“ (Beniermann 2019, S. 197). Außerdem werden religiöse Vorstellungen oftmals im Zusammenhang mit Vorstellungen zur spontanen Artenentstehung vor allem von jüngeren Befragten geäußert (Evans 2000).

Anthropomorphe Vorstellungen

Von Schülerinnen und Schülern werden oftmals auch anthropomorphe Fehlvorstellungen geäußert. Hierbei werden menschliche Eigenschaften auf Tiere, Pflanzen oder unbelebte Gegenstände übertragen (Johannsen & Krüger 2005, Hammann & Asshoff 2023). Die Befragten schreiben vielen Arten ein Bewusstsein zu, wobei teilweise die Absicht sich zu entwickeln unterstellt wird. Durch die Erkenntnis einer Unangepasstheit (Fenner 2013), regulieren Tiere und Pflanzen demnach aktiv und zielgerichtet ihren Entwicklungsprozess (Lammert 2012, Hammann & Asshoff 2023). Anthropomorphe Vorstellungen negieren eine Anpassung durch Zufall und erschweren somit das korrekte Verständnis der natürlichen Selektion (Lammert 2012).

Zudem werden anthropomorphe vermischt mit lamarckistischen Vorstellungen beschrieben (Beniermann 2019, Kuszmierz et al. 2021). Nach lamarckistischen Ansichten entwickeln sich Lebewesen durch den Gebrauch oder Nicht-Gebrauch ihrer Organe, wobei eine

Merkmalsausprägung über Generationen hinweg durch die Vererbung der erworbenen Eigenschaften stattfindet (Graf & Hamdorf 2011). Beniermann (2019) beschreibt Lernendenvorstellungen, die Lebewesen ein bewusstes Wahrnehmen ihrer Defizite unterstellen (anthropomorphe Vorstellungen), wobei Eigenschaften „trainiert“ werden können, welche anschließend auf die Nachkommen übertragen werden (lamarckistische Vorstellungen).

Typologische Vorstellungen

Äußern Lernende die Vorstellung einer simultanen Entwicklung der gesamten Population, liegen typologische Fehlvorstellungen vor. Dabei werden die Individuen einer Art durch bestimmte Wesensformen beschrieben, die konstant sind und somit die Population als Ganzes kategorisieren (Fenner 2013). Nach typologischen Ansichten liegt den Individuen und somit der Population ein bestimmter Idealtypus zugrunde (Fenner 2013). Durch die Vorstellung einer einheitlichen Entwicklung von Arten, werden Merkmalsvarianten als nebensächliche Abweichung betrachtet (Beniermann 2019). Individuelle Unterschiede werden ignoriert, was ein wissenschaftlich korrektes Verständnis von Selektions- und Anpassungsprozessen behindert (Lammert 2012). Eine adäquate Vorstellung von Variationen innerhalb einer Population ist allerdings einer der bedeutendsten Faktoren (im Lehr-Lernprozess) der Evolution (Wallin 2011, Brennecke 2015, Fiedler 2018, Beniermann & Graf 2021).

Vorstellungen einer automatischen Entwicklung

In der Studie von Brennecke (2015) beschreiben die befragten Schülerinnen und Schüler häufig eine automatische Entwicklung bestimmter Merkmale. Diese Vorstellungen finden sich auch in einer Studie von Evans (2000) wieder, insbesondere bei jüngeren Lernenden im Grundschulalter. Die Lernenden, welche Vorstellungen dieser Kategorie äußern, gehen davon aus, dass sich Merkmalsvarianten „einfach entwickeln“ (Brennecke 2015). Dabei wird zumeist nicht weiter differenziert, inwieweit diese Entwicklung stattgefunden hat (Brennecke 2015). Vorstellungen einer automatischen Entwicklung stimmen somit einer Entwicklung von Individuen zu. Cypionka (2012) beschreibt zudem den Zusammenhang einer „einfachen Entwicklung“ mit den Alltagsvorstellungen der Schülerinnen und Schüler basierend auf den Erfahrungen mit der eigenen Entwicklung im Leben.

Vorstellungen zur zeitlichen Dimension

Wie Brennecke (2015) in ihrer Studie aufzeigen konnte, beschreiben nur wenige Lernende die Angepasstheit einer Population korrekt innerhalb mehrerer Generationenabfolgen. Hingegen weisen die Schülerinnen und Schüler innerhalb der Studie vielfältige Vorstellungen zur zeitlichen Dimension einer evolutionären Anpassung auf (Brennecke 2015). Diese können von Vorstellungen einer Anpassung innerhalb eines Lebenszyklus bis hin zu Vorstellungen einer Anpassung über Jahrtausende hinweg reichen (Brennecke 2015).

3.6.2 Vorstellungen zur Artbildung und zum Artenwandel

Laut dem Gemeinsamen Referenzrahmen für Naturwissenschaften (MNU 2019, S.22-23) gehört es mit zur naturwissenschaftlichen Grundbildung den Wandel von Populationen erläutern sowie Artbildung anhand genetischer Isolation definieren zu können. Dabei ist das Verständnis der Artbildung entscheidend, um ein vollständiges Bild der biologischen Vielfalt zu entwickeln. Mit dem Artbildungskonzept wird nicht nur die Herkunft und Differenzierung von Arten erklärt, es bietet auch wertvolle Einblicke in die genetische Diversität, Anpassungsprozesse und die geografische Verteilung von Arten. Diese Erkenntnisse sind fundamental für die Evolutionstheorie und haben praktische Anwendungen in vielen Bereichen der Biologie und des Naturschutzes. Mangelndes Verständnis hat seine Ursachen häufig in typologischem Denken und Vorstellungen fester Artgrenzen, die nicht mit dem Prozess der Evolution vereinbar sind (Beniermann & Graf 2021). Weitere Alltagsvorstellungen zur Artbildung und der Entwicklung von Arten werden neben der fachlichen Vorstellung im Folgenden aufgezeigt.

Wissenschaftliche Vorstellungen zur Artbildung

Dial et al. (2019) erstellten mithilfe von über 110 Experten, die einen direkten Bezug zur Evolution aufwiesen, eine Liste mit den wichtigsten Schlüsselkonzepten zur Artbildung. Diese können nicht nur als Ansatzpunkte in der Artbildungsforschung, sondern auch zur Erarbeitung von Lehrmaterialien genutzt werden (Dial et al. 2019). Nach den befragten Evolutionsexperten wird eine biologische Art als Gruppe von Populationen verstanden, die unabhängig von anderen Populationen evolutionäre Prozesse durchläuft (Dial et al. 2019) und untereinander fortpflanzungsfähige Nachkommen bildet (Hammer et al. 2022). Dieser

Artbegriff kann auf rezente Arten angewandt werden, die sich sexuell fortpflanzen. Als zentraler Aspekt bei der Artbildung wird der Mangel an Genfluss zwischen Populationen beschrieben (Coyne & Orr, 2004; Apodaca et al. 2019, Dial et al. 2019). Reproduktive Isolation entsteht häufig durch geografische Isolation von Populationen (Dial et al. 2019). Diese divergieren genetisch, da Mutation, Selektion und genetische Drift autonom wirken (Dial et al. 2019). Um die dahinterstehenden Schlüsselkonzepte korrekt einzuordnen, müssen außerdem die Ursachen- und Wirkungszusammenhänge, die zu einer evolutionären Anpasstheit führen können, verstanden werden (Abb. 4, Beniermann & Graf 2021, Gemballa & Kattmann 2024).

Alltagsvorstellungen zur Artenentstehung und zum Artenwandel

Lernende konstruieren zur Artenentstehung neben Schöpfungsvorstellungen, häufig Vorstellungen einer spontanen Entstehung (Samarapungavan & Wiers 1997, Evans 2000). In einer Studie von Samarapungavan & Wiers (1997) argumentierten die Lernenden, dass die Organismen schon immer existierten und somit Artbildungsprozesse nicht stattfinden. Unangepasste Arten sterben nach dieser Vorstellung aus, wobei sich oberflächliche, äußere Merkmale leicht verändern können, sodass heute lebende Arten beispielsweise auf Dinosauriervorfahren zurückzuführen sind (Samarapungavan & Wiers 1997). In der Studie dominierten zwar typologische Vorstellungen, die von einer Artkonstanz ausgehen, jedoch konnten auch Vorstellungen eines Artwandels auf der Grundlage von lamarckistischen Denkstrukturen gefunden werden (Samarapungavan & Wiers 1997).

In einer Studie von Evans (2000) traten, neben Schöpfungsvorstellungen, am häufigsten Erklärungen einer spontanen Entwicklung von Lebewesen auf. Jüngere Kinder argumentieren zumeist inkonsistent, wobei auch evolutionäre Vorstellungen gefunden werden konnten (Evans 2000).

In geringem Umfang traten sowohl in der Studie von Evans (2000), als auch in der Untersuchung von Fenner (2013) und Klös (2020) Vorstellungen einer artfremden Kreuzung (Hybridisierung) zur Entwicklung neuer Arten auf. Zudem stellte Fenner (2013) in ihrer qualitativen Erhebung vor einer Unterrichtsintervention fest, dass alle befragten Schülerinnen und Schüler zur Erklärung von Artenwandel finale bzw. teleologische Vorstellungen nutzten. Auch in dieser Studie äußerten die Lernenden meistens typologische Vorstellungen, wobei drei der Befragten vor dem Unterricht die Artbildung durch

Arttransformation der Vorfahren beschrieben (Fenner 2013). Auch nach der Unterrichtsintervention traten vereinzelt typologische Vorstellungen auf, was daran deutlich wurde, dass Schülerinnen und Schüler eine angepasste aber variationslose Population beschrieben (Fenner 2013).

Vorstellungen von konstanten Arten mit festen Grenzen können zu Verständnisproblemen bei der Vermittlung von evolutionären Mechanismen und speziell Artbildungsprozessen führen (Beniermann 2019). Über 70% der älteren Schülerinnen und Schüler und Studierenden als auch über 50% der Biologiereferendare und Biologiereferendarinnen zeigten wissenschaftlich nicht korrekte Vorstellungen zur biologischen Artbildung. Dabei trat zumeist die Vorstellung einer unterschiedlichen Entwicklung geografisch isolierter Populationen auf, wenn beide Lebensräume sehr unterschiedlich sind (Beniermann 2019). Dies lässt auf ein mangelndes Verständnis von individueller Variation innerhalb einer Population schließen (Beniermann 2019).

Kuschmierz et al. (2021) befragten 11723 Erstsemesterstudierende zur Akzeptanz der Evolution, dem Wissen über Evolution und untersuchten verschiedene Einflussfaktoren auf die Akzeptanz der Evolution in einer europäischen Vergleichsstudie aus 26 Ländern. Sie fanden heraus, dass den Studienanfängern grundlegendes Wissen über Evolution fehlt. Dabei zeigten Studierende eines biologiebezogenen Studienganges zwar signifikant mehr Wissen als Erstsemesterstudierende eines Studiengangs ohne biologischen Bezug, jedoch wurden auch 74,5% der Studierenden mit Biologiebezug nur mit wenig oder sehr wenig Wissen über Evolution bewertet (Kuschmierz et al. 2021). Die Frage zur Artbildung nach einer geografischen Trennung von Eidechsen (Anhang B: Fragebogen_Schule, S. 4) beantworteten nur 19,5 % der Probanden fachlich korrekt, wohingegen sich 80,5% für eine Antwortalternative entschieden. Dabei stimmten mit 50,3% der Befragten, knapp die Hälfte der Erstsemesterstudierenden, einer unterschiedlichen Entwicklung isolierter Teilpopulationen zu, wenn beide Lebensräume sehr unterschiedlich sind (Kuschmierz et al. 2021). Sowohl in der Studie von Beniermann (2019) als auch in der Untersuchung von Kuschmierz et al. (2021) gingen die meisten Befragten von einer Artenbildung hauptsächlich durch dramatische Ereignisse aus.

Ronfard et al. (2023) untersuchten in ihrer Studie die Präkonzepte von Grundschulern zur natürlichen Selektion und die Erklärungen zur Merkmalsentwicklung im Zusammenhang

mit Artbildungsprozessen anhand einer vierteiligen Unterrichtssequenz. Die Intervention enthielt Vorlesegeschichten versus animierte Geschichten zur natürlichen Selektion und Artbildung mit zusätzlichen Vor- und Nachtests. Dabei wurden die gefundenen Alltagsvorstellungen in vier Kategorien eingeordnet: Ontogenetische Entwicklung eines Merkmals, Spontane/Automatische Entwicklung, Teleologische und andere Erklärungen (Ronfard et al. 2023). Die Autoren geben an, mit beiden Typen von Geschichten (Buch, Video) eine Reduktion der Alltagsvorstellungen erreicht zu haben bei gleichzeitigem Aufbau eines Verständnisses für Selektions- und Artbildungsprozesse (Ronfard et al. 2023).

Die unterschiedlich vertretenen Fehlvorstellungen zu Artbildungsprozessen lassen vermuten, dass ein grundlegendes Verständnis von individueller Variation und der Auswirkung dieser auf das Überleben essentielle Voraussetzungen sind, um wissenschaftlich fundiertes Wissen zu evolutionärer Anpasstheit und Artbildung aufzubauen (Wallin 2011, Fiedler 2018, Beniermann & Graf 2021, Gemballa et al. 2024).

Forschungsbedarf in der fachdidaktischen Entwicklungsforschung

Die Forschung zu Lehr-Lernprozessen im Biologieunterricht hat in den vergangenen Jahrzehnten zwar fruchtbare Theorien und geprüfte Strategien zur Vermittlung evolutionärer Entwicklungsprozesse geliefert, jedoch wurden bisher noch zu wenig wirksame und für den Klassenunterricht geeignete methodische Ansätze hervorgebracht (Zabel 2020). Zudem merkt Zabel (2020) kritisch an, dass es bislang an empirischen Belegen für die Effektivität dieser mangelt.

Von Forschern, Bildungseinrichtungen und Biologiedidaktikern wird deshalb die Entwicklung und Evaluation optimierter Lehr-Lernmaterialien zu grundlegenden Evolutionsmechanismen nachdrücklich empfohlen (Lammert 2012, Fenner 2013, Brennecke 2015, Graf & Schmidt-Salomon 2017, Leopoldina 2017, Roth 2017, Zabel 2020). Als zwingende Konsequenz müssen schülernahe Lernangebote und Arbeitsmaterialien zum Einsatz im evolutionsbiologischen Unterricht zur Verfügung gestellt werden, die abstrakte und konzeptbezogene Zusammenhänge mit anschaulichen Beispielen verknüpfen (Leopoldina 2017). Dazu kann die didaktische Entwicklungsforschung im Dortmunder Modell (Kapitel 3.4) als iteratives Verfahren zur stetigen Optimierung unterrichtlicher Angebote genutzt werden, wie bereits vorangegangene Studien zeigten (z. B. Wolf 2013, Roth 2017).

Eirdosh (2022) stellt einen interdisziplinären Ansatz der Evolutionslehre zur Diskussion. In seiner Arbeit zeigt er die Chancen einer Einbindung evolutionärer Konzepte zur Erklärung der Entwicklung menschlichen Verhaltens für eine zukünftige Neugestaltung der Evolutionspädagogik auf. Im Gegensatz zu rein genzentrierten Vermittlungskonzepten plädiert er für eine allgemeine Einbindung evolutionärer Mechanismen zur Bildung eines umfassenden Evolutionsverständnisses für eine nachhaltige Zukunft (Eirdosh 2022).

3.6.3 Schulische Umsetzungen

Zur Darstellung komplexer und langsam ablaufender Prozesse, wie evolutionärer Anpassungs- und Artbildungsprozesse, werden seit einigen Jahrzehnten Simulationen eingesetzt (vgl. Sommer & Graf 2024). Durch Unterstützung unterrichtlicher Simulationen kann ein didaktischer Zugang zum Themenbereich geschaffen und eine aktive Auseinandersetzung der Lernenden mit ihrer eigenen vorunterrichtlichen Vorstellung erreicht werden (Sommer & Graf 2024, Tramowsky 2024). Da das in der Schule Gelernte nach konstruktivistischen Ansätzen individuell verarbeitet wird (Kapitel 3.1) und somit nicht kontextfrei zur Verfügung steht (Riemeier 2007), müssen Unterrichtsinhalte aus verschiedenen Perspektiven präsentiert werden (Reinmann & Mandl 2006).

Durch den Einsatz von Simulationen können vorunterrichtliche Vorstellungen geöffnet und Grenzen der eigenen Vorstellung erkannt werden bei gleichzeitiger Konstruktion neuer Wissensstrukturen (Brennecke 2015). Whitworth et al. (2018) zeigten mit ihrer Studie zur Effektivität von Simulationen als Unterstützungsinstrument im Biologieunterricht, dass hierbei ein deutlich höherer Lernzuwachs verglichen mit der Kontrollgruppe, welche ohne Simulationen arbeitete, erreicht werden konnte. Zur Entwicklung eines Verständnisses zu Selektionsprozessen wurde sowohl für ältere Probanden (Beardsley 2004, Pope et al. 2017) als auch für jüngere Lernende (Fenner 2013, Brennecke 2015) der Einsatz von Simulationsspielen positiv belegt. Um dabei auch typologischen Vorstellungen zu begegnen, fordert Fenner (2013) den Einsatz authentischer Objekte, wobei vor allem die angepasste Population Variationen aufweisen sollte.

3.6.3.1 Ausgewählte Simulationen zur Selektion und Anpasstheit

Sommer und Graf (2024) stellen einige der wichtigsten digitalen und analogen Simulationen als Lehr-Lernarrangements zur Vermittlung evolutionärer Zusammenhänge vor. Dabei

werden die spielerischen Umsetzungen jeweils historisch eingeordnet und didaktische Hinweise zur Umsetzung gegeben.

Neben klassischen Simulationen von Räuber-Beute-Beziehungen, wobei Schülerinnen und Schüler häufig die Beutegreifer simulieren und als Ergebnis am Ende mehrerer Generationen eine zumeist farblich an den Untergrund angepasste Population steht (z. B. Stebbins & Allen, 1975; Burton & Dobson, 2009, Schmidt et al., 2017), existieren auch andere handlungsorientierte Unterrichtsaktivitäten, wovon einige an dieser Stelle vorgestellt werden.

Das Spiel mit dem Feuer

Im Simulationsspiel „Das Spiel mit dem Feuer“ von Brennecke (2016) wird ein botanisches Szenario inszeniert, indem die Teilnehmenden die Angepasstheit der Riesensmammutbäume an Waldbrände durch die Entwicklung der Borkendichte dieser Bäume erfahren. Durch zufällige Abweichungen der Nachkommen während jeder neuen Spielrunde entwickelt sich die Borkendichte je nach Ereignis und ausgeführter Aktion hin zu einer an Waldbrände angepassten Population (Brennecke 2016). Da hierbei durch eine aktive Unterrichtsgestaltung Anpassungsprozesse von Pflanzen vermittelt und keine spezifischen Kenntnisse zur Genetik vorausgesetzt werden, eignet sich diese Simulation auch bereits zur Durchführung im unteren Sekundarbereich. Nach Angaben der Autorin kann das Simulationsspiel vor allem eingesetzt werden, um die vorunterrichtlichen Vorstellungen der Lernenden zu aktivieren und einen ersten Einblick in den Themenbereich „evolutionäre Angepasstheit“ zu generieren (Brennecke 2015).

„Durch die Blume“-Bestäuber-Spiel

Mit diesem Simulationsspiel schlüpfen die Schülerinnen und Schüler in die Rolle von Bienen und Erdhummeln und erkunden die Angepasstheit zwischen Bestäubern und Blüten beim Wettkampf um Nektar (Dreesmann & Kissi 2020). In einer Bastelanleitung wird der einfache Aufbau der Blütenmodelle mit verschiedenen langen Blütenrohren, in denen sich der Nektar befindet, und die Konzeption der Staubblätter, die mit Currypulver bestreut sind, anschaulich beschrieben. Die Lernenden werden in zwei ungleich große Gruppen aufgeteilt, wobei weniger Kinder die Erdhummeln und mehr Kinder die Bienen simulieren. In einer begrenzten Zeit sollen die Erdhummeln mit einem langen Rüssel und die Bienen mit kurzem

Rüssel, welcher durch unterschiedlich lange Pipetten dargestellt ist, so viel Nektar wie möglich aus den Blütenrohren saugen und ins eigene Nest transportieren (Dreesmann & Kissi 2020). In dieser Simulation lernen die Schülerinnen und Schüler nicht nur die Angepasstheit zwischen Bestäuber und Blüte kennen, sie erfahren auch die Zufälligkeit der Bestäubung am eigenen Handeln. Wie die Autoren beschreiben, eignet sich das Spiel zum Einsatz in den Klassenstufen fünf bis sieben (Dreesmann & Kissi 2020).

Using Card Games to Simulate the Process of Natural Selection

Grilliot & Harden (2014) geben einige Beispiele für kostengünstige, einfach zu organisierende Simulationsspiele zur Darstellung der natürlichen Selektion mit einem 52-Spielkarten-Deck. Dabei beschreiben sie verschiedene Varianten des Kinderkartenspiels „Krieg“, um die Zufälligkeit von Variationen in einer Population und den Prozess der natürlichen Selektion spielerisch zu erfahren (Grilliot & Harden 2014). Die Autoren geben an mithilfe der Simulationsspiele ein verbessertes Verständnis für den Prozess der natürlichen Selektion bei älteren Lernenden erreicht zu haben (Grilliot & Harden 2014).

Neben handlungsorientierten Unterrichtssimulationen und Kartenspielen, existieren auch Brettspiele zur Simulation der natürlichen Selektion. Muell et al. (2020) untersuchten elf Evolutions-Brettspiele hinsichtlich evolutionsbiologischen Themenbereichs, der Komplexität der Spiele, des pädagogischen Nutzens und des Unterhaltungswerts. In einer kritischen Bewertung der Spiele beschreiben die Autoren zwar die anschauliche Darstellung verschiedener (evolutions-)biologischer Prozesse, jedoch konnte keins der analysierten Brettspiele die Evolution überzeugend nachstellen (Muell et al. 2020). Dabei waren neben strategisch umzusetzenden Spielzügen, welche Alltagsvorstellungen noch verstärken können, auch die Komplexität und der zeitliche Umfang ein großes Hindernis für eine erfolgreiche Umsetzung im schulischen Bereich (Muell et al. 2020).

Des Weiteren zeigt sich ein breiter Bereich digitaler Simulationen zu Anpassungs- und Selektionsprozessen für den Einsatz im Biologieunterricht. Diese reichen von einfachen, abstrakten Simulationen einer Punktepopulation (z. B. EvoDots von Herron, 2022) bis hin zu komplexen Computersimulationen, in denen sich verschiedene Parameter wie Allelzahl oder Mutationshäufigkeit einstellen lassen, sodass die Auswirkungen auf die Allelfrequenz direkt sichtbar werden.

Käfoldution

Das von Manns & Graf (2018) am Institut für Biologiedidaktik der JLU Gießen entwickelte Simulationsspiel „Käfoldution“ stellt eine Variante der digitalen Simulation „EvoDots“ (Herron 2022) dar. Anstelle einer unrealistischen Punktepopulation, simulieren die Lernenden hierbei Beutegreifer, die schnellstmöglich animierte Käfer per Mausclick aufsammeln. Da eine Beutegreifer-Runde zeitlich begrenzt ist, können die Lernenden keine Käfer gezielt auswählen. Nach jeder Simulationsrunde werden die verbliebenen Käfer identisch verdoppelt, wobei die Daten über mehrere Generationen im Programm zur späteren Ansicht gespeichert werden. Zudem können eigene Einstellungen wie Geschwindigkeit, Größe oder Anzahl der Käfer sowie Mutationsrate vorgenommen werden (Manns & Graf 2018). Mit dieser digitalen Simulation können die Lernenden bereits im unteren Sekundarbereich arbeiten und ihre Erkenntnisse zu Selektions- und Anpassungsprozessen vertiefen.

Natural Selection

Hinter „Natural Selection“ verbirgt sich eine weitere digitale Simulation mit der das Verständnis für Selektions- und Anpassungsprozesse gefördert werden kann (Podolefsky et al. 2024). Durch die anschauliche und benutzerfreundliche Darstellung kann die Software gut in höheren Klassenstufen eingesetzt werden, wenn bereits Vorkenntnisse zu den Evolutionsmechanismen vorhanden sind. Die Schülerinnen und Schüler können selbstständig verschiedene Einstellungen wie das Hinzufügen von Mutationen, das Wechseln der Umgebung oder das Ein- und Ausschalten von unterschiedlichen Selektionsfaktoren während der Entwicklung einer Hasenpopulation vornehmen (Podolefsky et al. 2024). Zudem wird der Stammbaum ausgewählter Individuen sowie die Populationsgröße in einem Diagramm dargestellt.

3.6.3.2 Ausgewählte Simulationen zur Artbildung

Noch unzureichend erforscht zeigt sich der Bereich medialer unterrichtlicher Unterstützungsangebote durch Simulationen zu Prozessen der Artbildung, wobei bis zu diesem Zeitpunkt kaum handlungsorientierte Angebote für den unteren Sekundarbereich im deutschen Sprachraum vorhanden sind.

Dass es dennoch möglich ist den Artbildungsprozess bereits für Lernende der Grundschule anschaulich darzustellen, beweisen Graf & Schmidt-Salomonf (2017) mit ihrer Simulation:

Das Überleben der Pangäachen

In der Simulation „Das Überleben der Pangäachen“ wird die allopatrische Artbildung thematisiert, indem sich geografisch isolierte Teilpopulationen einer Art auf unterschiedlichen Inseln über viele Generationen entwickeln (Graf & Schmidt-Salomon 2017). Durch Aktionskarten der fünf Inseln werden den jeweils zugeordneten fünf Lerngruppen stark abweichende Umweltbedingungen auf den Inseln und zufällig entstandenen Variationen im Phänotyp der Pangäachen, die sich auf die Fitness der Individuen auswirken, aufgezeigt. In einer Malvorlage sollen die Schülerinnen und Schüler einer Lerngruppe die sich nach vielen hundert Jahren entwickelten Pangäachen auf ihrer jeweiligen Insel zeichnen. Im Anschluss stellt jeweils ein Kind jeder Gruppe den anderen Kindern die Pangäachen seiner Insel vor. Dabei soll die Frage beantwortet werden, wie es mit den Populationen weitergeht, wenn sich die Inseln durch ein Umweltereignis wieder zusammenschließen. Durch die reproduktive Isolation der wieder vereinten, stark veränderten Populationen sind aus einer Art am Ende der Simulation fünf neue Arten entstanden (Graf & Schmidt-Salomon 2017).

Eine ähnliche Simulation zur Durchführung bereits ab der Grundschule ist „Das Überleben der Nussgetiere“ (Beniermann et al. 2017). Im Beitrag von Beniermann et al. (2017) finden sich neben ausführlichen Überlegungen zum didaktischen Hintergrund auch Anweisungen zum methodischen Vorgehen und sämtliche Arbeitsmaterialien. Daneben werden Hinweise für die weiterführende Unterrichtsgestaltung zum Themenbereich Selektions- und Artbildungsprozesse gegeben (Beniermann et al. 2017). Das es zur Förderung eines Verständnisses nicht notwendig ist bereits über genetische Grundlagenkenntnisse zu verfügen, bestätigt außerdem Graf (2024).

Hands-on Laboratory Simulation of Evolution: An Investigation of Mutation, Natural Selection, & Speciation

In dieser analogen Simulation wird die Entwicklung fiktiver Kreaturen zunächst in einem gemeinsamen Lebensraum, später in isolierter Umgebung untersucht (Hildebrand et al. 2014). Die Lernenden kreieren selbst in Vierer-Gruppen die Bewohner eines fernen Planeten mithilfe von Styroporkugeln und Pfeifenputzern und halten die phänotypischen Kennzeichen in einer Tabelle fest. Nach bestimmten Regeln zur Mutation simulieren die Schülerinnen und Schüler die sich nach vielen Generationen entwickelten Kreaturen

(Hildebrand et al. 2014). Dabei treten neue phänotypische Varianten auf. Hildebrand et al. (2014) beschreiben zudem ein erweitertes Szenario, in welchem die Lernenden auf zwei isolierte Populationen der Kreaturen treffen. Um die Entwicklung der geografisch isolierten Teilpopulationen zu simulieren, teilen sich auch die Lernenden in Zweier-Gruppen auf, wobei jede Gruppe ein identisches Exemplar der entwickelten Kreatur erhält. Nach vielen Generationen mit auftretenden Mutationen und dem Einfluss natürlicher Selektion stehen am Ende der Simulation zwei neue reproduktiv voneinander isolierte Arten (Hildebrand et al. 2014). Die Autoren empfehlen die Verwendung der Simulation erst ab höheren Klassenstufen, da bereits spezifische Vorkenntnisse zu Evolutionsmechanismen und dem Artkonzept vorhanden sein sollten (Hildebrand et al. 2014).

Origami Bird Simulation: A Teaching Resource Linking Natural Selection and Speciation

Yamanoi & Iwasaki (2015) schaffen mit ihrer Computersimulation „Origami Bird Simulation“ eine digitale Ergänzung der ursprünglich analogen Simulation „Origami Bird“ von Westerling (1992). In der analogen Simulation falten die Lernenden Papier, welches verschiedene Phänotypen einer Vogelpopulation darstellt. Diese Papiervögel werden geworfen, wobei nur die in der trockenen Wüste überleben und Nachkommen bilden, welche die weiteste Flugstrecke überwinden und somit die lebensrettende Oase erreichen (Yamanoi & Iwasaki 2015). Da neben dem Verständnis des Zusammenhangs zwischen DNA-Mutationen und natürlicher Selektion auch ein Einblick in Artbildungsprozesse gegeben werden sollte, konzipierten Yamanoi & Iwasaki (2015) die digitale Lernsoftware „Origami Bird Simulation“. Hierbei werden Origami-Vogelpopulationen in geografischer Isolation mithilfe eines Computerprogramms untersucht, wobei sich die Lebensräume der getrennten Populationen stark unterscheiden. Durch die reproduktive Isolation und das Auftreten unterschiedlicher Mutationen, die sich verschieden auf die Fitness der Phänotypen auswirken, können Artbildungsprozesse veranschaulicht werden (Yamanoi & Iwasaki 2015). Die Autoren geben an, mit der Kombination aus analoger und digitaler Simulation eine Verbesserung im Verständnis der Zusammenhänge zwischen Mutation, Selektion und Artbildung bei Oberstufenschülern erreicht zu haben (Yamanoi & Iwasaki 2015).

Die hier exemplarisch vorgestellten Simulationen zeigen verschiedene Möglichkeiten für einen Verständnisaufbau von Artbildungsprozessen im schulischen Kontext. Dennoch fehlen bisher evaluierte unterrichtliche Angebote für den unteren Sekundarbereich, die nachweislich das Verständnis für Selektions- und Artbildungsprozesse fördern können

(Zabel 2020). Konkret wird zur Vermittlung von Artentwicklung empfohlen, zum einen die die innerartliche Varianz und zum anderen die Isolation zwischen Populationen zu thematisieren (vgl. Gemballa et al. 2024).

4 Fragestellungen

Um ein Unterrichtsdesign zu konzipieren, welches dynamische Entwicklungsprozesse erfahrbar macht bei gleichzeitigem Aufbau wissenschaftlicher Vorstellungen, sollen Simulationen im Fokus von drei aufeinander aufbauenden Unterrichtsdoppelstunden stehen (Kapitel 5). Dabei sollen die Präkonzepte der an der Untersuchung beteiligten Schülerinnen und Schüler in verschiedenen Szenarien erhoben werden, da Lernende in verschiedenen Kontexten unterschiedliche Vorstellungen äußern können (Brennecke 2015, Miller-Betzitza 2019). Aufgrund der Forschungslücke, insbesondere zu Lernendenvorstellungen zur Artbildung, soll folgende Frage mithilfe halboffener Leitfadeninterviews erforscht werden:

- 1. Welche vorunterrichtlichen Vorstellungen zur Angepasstheit, und speziell zur Artbildung, äußern Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I in botanischen und zoologischen Szenarien?**

Die Analyse der Lernendenvorstellungen (Kapitel 3.6) und die erarbeiteten theoretischen Prinzipien zum Lernen (Kapitel 3.1, 3.2, 3.3) sollen genutzt werden, um die Simulationen zu spezifizieren und das Unterrichtsdesign didaktisch zu strukturieren (Kapitel 5). Unter Berücksichtigung der sich daraus ergebenden Konsequenzen soll folgender Fragestellung nachgegangen werden:

- 2. Welche inhaltlichen Schwerpunkte und didaktischen Prinzipien können das Lernen zum Themenbereich Variation, Angepasstheit und allopatrische Artbildung in einem Unterrichtsdesign mittels verschiedener Simulationen unterstützen?**

Um das Unterrichtsdesign auf die Lernenden abzustimmen und möglichst lernförderlich zu gestalten, sollen Lernendenvorstellungen in Prä-Post-Tests erhoben werden (Kapitel 6). Anschließend sollen die prominenten Alltagsvorstellungen der Schülerinnen und Schüler (Kapitel 7) aktiv und wechselseitig auf das fachliche Wissen bezogen werden, um das Lernen didaktisch zu strukturieren (Kapitel 3.3). Durch die Analyse der Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler vor und nach der Durchführung der Unterrichtssequenz (Abb. 5)

sollen mögliche Verständnisschwierigkeiten und Lernhindernisse aufgedeckt werden. Diese werden genutzt, um sowohl die Didaktik als auch die Methodik und das Material des Lernarrangements zu verbessern (Kapitel 7.2.3, 7.3.3, 7.4.3).

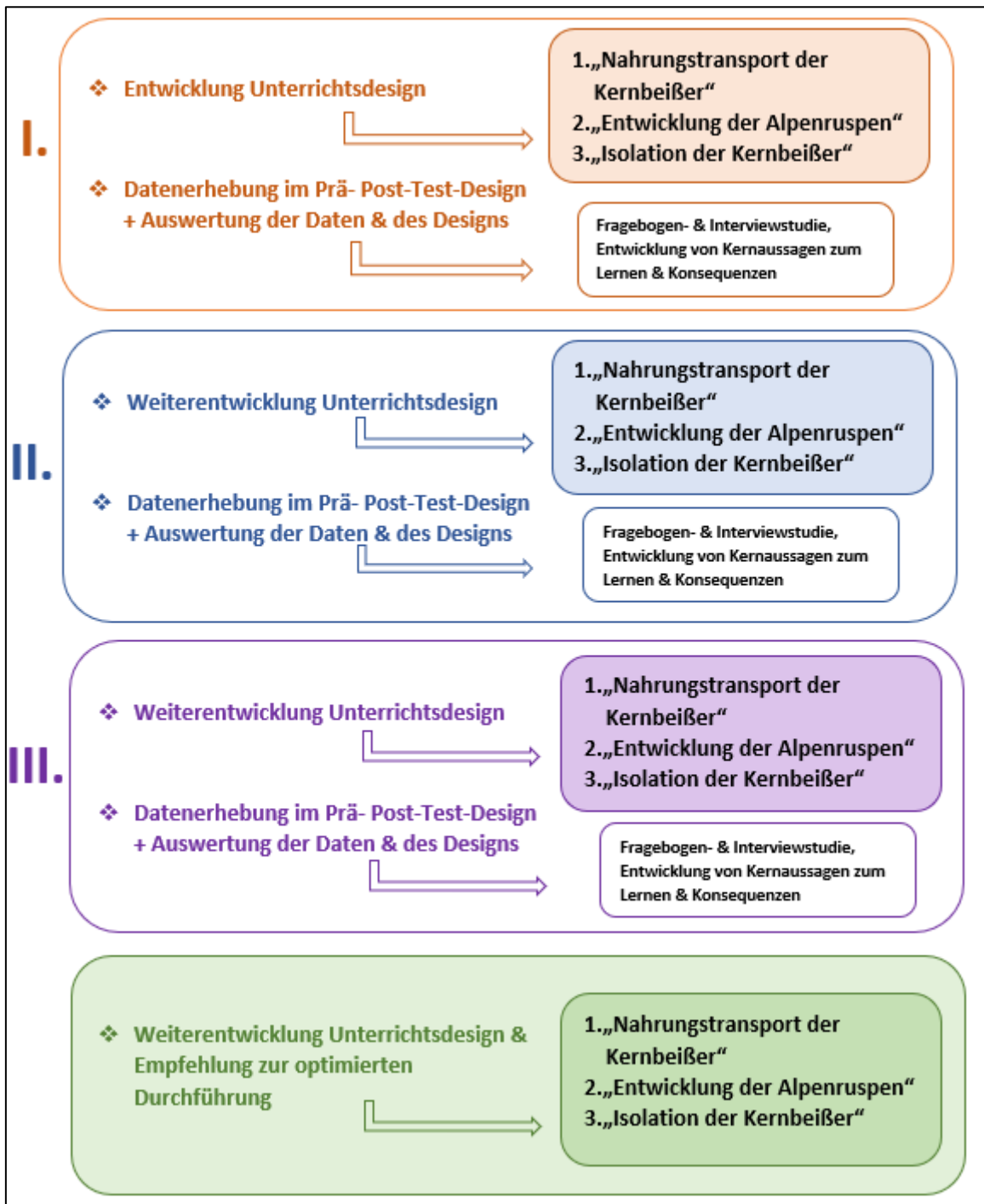


Abbildung 5: Strukturierung der Untersuchung in den Erprobungszyklen I-III und Weiterentwicklung des Unterrichtsarrangements.

Im Rahmen eines iterativen Testverfahrens der fachdidaktischen Entwicklungsforschung im Dortmunder Modell (Kapitel 3.4) wird das Lernarrangement so Schritt für Schritt weiterentwickelt (Abb. 5), wobei lokale Theorien zum Lernen von Variation, Anpasstheit und Isolationsmechanismen gefestigt werden sollen (Kapitel 7).

Dabei soll vor allem das Lernen von allopatrischen Artbildungsprozessen in den Fokus rücken, da dies bisher nur unzureichend erforscht wurde. Um das Verständnis für eine langfristige Anpasstheit und (allopatrische) Artbildungsprozesse zu fördern, soll zunächst ein Grundlagenverständnis von Variation innerhalb einer Population aufgebaut werden (Wallin 2011, Fiedler 2018, Beniermann & Graf 2021), weshalb folgende Forschungsfrage in diesem Zusammenhang untersucht werden soll:

- 3. Wie soll eine unterrichtliche Sequenz für die Sekundarstufe I strukturiert sein, um wissenschaftliche Vorstellungen von Variation und Anpasstheit zu fördern und ein Verständnis für allopatrische Artbildungsprozesse aufzubauen?**

Zur Evaluation des entwickelten Arrangements und der Beurteilung einer möglichen Vorstellungsentwicklung hin zu wissenschaftlichen Vorstellungen zur Evolution, sollen die erhobenen Daten vor und nach der Durchführung der Unterrichtssequenz durch die begleitende Fragebogen- und Interviewstudie analysiert werden. Dabei wird folgender Fragestellung nachgegangen:

- 4. Inwieweit entwickeln sich die Vorstellungen der Lernenden in der Sekundarstufe I zum Themenbereich Variation, evolutionäre Anpasstheit, Selektion und allopatrische Artbildung durch das entwickelte Unterrichtsdesign hin zu wissenschaftlichen Vorstellungen?**

5 Entwicklung des Unterrichtsarrangements

Um evolutionsbiologischen Unterricht sinnvoll zu gestalten, schlägt die Leopoldina (2017) vor, Materialien zu erstellen, welche dynamische Prozesse mit anschaulichen Beispielen verknüpfen. Einen experimentellen Zugang zu schaffen, ist dabei schwierig (Fenner 2013), da sich evolutionäre Prozesse oftmals über lange Zeiträume erstrecken, die im Unterricht kaum beobachtet werden können. Unterrichtliche Unterstützung bietet hierbei der Einsatz geeigneter Simulationen (Sommer & Graf 2024), da sie als Modell fungieren und Aspekte, gegenüber des originalen Prozesses, hervorheben und somit vereinfacht darstellen können (Trier et al. 2021). Dabei kann neben der Beobachtung dynamischer und komplexer Prozesse auch das wissenschaftliche Arbeiten eingeübt werden (Nagel 2020). So sollen evolutionäre Prozesse leichter nachvollzogen werden können (Sommer & Graf 2024).

Viele didaktisch aufbereitete Simulationen in digitaler Form eignen sich aufgrund des starken Abstraktionsgrades (z. B. EvoDots von Herron, 2022; Genie von Castillo et al., 2022) nur bedingt zur Einführung evolutionärer Mechanismen mit jüngeren Lernenden. Einige digitale Simulationen (z. B. Natürliche Selektion von Podolefsky et al. 2024) können zwar durch die Möglichkeiten der einstellbaren Funktionen wie dem An- bzw. Ausschalten von Selektionsfaktoren oder der Veränderung von Gendominanzen vielfältige Situationen schnellstmöglich abbilden, jedoch setzt dies auch spezifisches genetisches Vorwissen voraus. Dagegen können mithilfe analoger Simulationen evolutionäre Mechanismen greifbar gestaltet werden, da Schülerinnen und Schüler Selektionsprozesse selbsttätig „durchlaufen“ (Brennecke 2015). Dabei können die Lernenden direkte Auswirkungen ihrer eigenen Handlungen miterleben. Durch den Einsatz analoger Simulationsmodelle können verschiedene Situationen dargestellt und überprüft werden. Generationenabfolgen können innerhalb weniger Minuten abgebildet und so Änderungen in der Population nachgestellt werden, was die Transparenz für Lernende erhöhen und somit den Transfer auf nachfolgende Situationen erleichtern kann (Sommer & Graf 2024).

Bei der Darstellung beziehen sich die meisten unterrichtlichen Simulationen zur Evolution auf eine Räuber-Beute-Beziehung (Fenner 2013), indem beispielsweise verschiedenfarbige Spielmarken in vorgegebener Zeit oder Stückzahl durch die Lernenden von einem farbigen Untergrund aufgesammelt werden sollen. Die verbleibenden Spielmarken simulieren die überlebenden Organismen, welche sich in der nächsten Generation identisch verdoppeln (z.

B. Stebbins & Allen 1979). Somit lässt sich nach mehreren Generationen eine Verschiebung der Population hin zu einer Anpasstheit an den Untergrund beobachten. Diese Art der unterrichtlichen Simulationen stellt jedoch lediglich den Evolutionsmechanismus „Selektion“ dar und lässt eine zufällige Änderung der Organismen außer Acht, sodass sich die Varianz innerhalb der simulierten Population reduziert (Fenner 2013). Zudem werden Artbildungsprozesse in Simulationsmodellen oftmals vernachlässigt und auch botanische Szenarien werden zumeist nur wenig bedacht.

Diese Arbeit führt im Ergebnis zu einer Unterrichtssequenz mit drei optimierten Simulationen zur Einführung der Evolution mit den Mechanismen zur Selektion und allopatrischen Artbildung, sowohl in zoologischen als auch in einem botanischen Szenario. Dabei bezieht sich die erste Simulation „Nahrungstransport der Kernbeißer“ auf einen heimischen Vertreter aus der Familie der Finken. Da diese auch einen thematischen Schwerpunkt im Inhaltbereich Evolution in der Oberstufe bilden können (Hessisches Kultusministerium 2021), soll im Sinne eines Spiralcurriculums bereits in der Sekundarstufe I mithilfe der entwickelten Simulation in die Thematik eingeführt werden. Somit kann zu einem späteren Zeitpunkt unterrichtlich an das bereits vorhandene Wissen angeknüpft werden. Zudem kann die Art „Kernbeißer“ auch regional beobachtet werden. Szenarien mit heimischen und bekannten Arten können die Aktivierung von Lernendenvorstellungen unterstützen (Brennecke 2015), sodass diese zur Strukturierung des Unterrichts genutzt werden können (Kattmann 2007). In der zweiten Unterrichtsdoppelstunde sollen die Lernenden das neue Wissen aus der ersten Simulation in einem unbekanntem, botanischen Szenario anwenden. Dabei wurden zur Simulation „Entwicklung der Alpenruspen“ fiktive Organismen konzipiert. Dies soll die Unvoreingenommenheit der Lernenden zur freien Äußerung ihrer Vorstellungen zu unterstützen. Zudem ist durch die Simulation fiktiver Organismen eine differenzierte Gestaltung je nach angestrebtem Lernziel möglich, da die Komplexität durch Vereinfachung von Prozessen oder Bedingungen reduziert werden kann. So können beispielsweise symbiotische Beziehungen oder komplexe Bestäuberkonstellationen insofern reduziert werden, dass wesentliche Entwicklungsprozesse sichtbar werden, ohne dabei weitere Fehlvorstellungen zu fördern. Damit kann der Wissenstransfer auf unbekannte Sachverhalte unterstützt werden. Der Vorteil fiktiver Organismen wurde bereits in Unterrichtsarrangements erkannt und umgesetzt (z. B. „Pangäachen“ Graf & Schmidt-Salomon 2017). In der abschließenden Unterrichtsdoppelstunde des Designs soll

noch einmal Bezug genommen werden, zum bereits bekannten Szenario „Kernbeißer“. In der Simulation „Isolation der Kernbeißer“ sollen die Lernenden das Wissen aus den ersten beiden Simulationen nutzen und auf die isolierten Teilpopulationen der Kernbeißer übertragen. Dabei wird thematisch der Bezug zu den Vertretern aus der Familie der Finken erneut hergestellt, da wiederholende Inhalte das Vernetzen von Wissen fördern können (Petermann & Petermann 2018, Roelle et al. 2023).

Das konzipierte Unterrichtsdesign wurde im Rahmen der fachdidaktischen Entwicklungsforschung nach dem Dortmunder Modell für den Einsatz im Unterricht in einem iterativen Verfahren mit Schülerinnen und Schülern erprobt und weiterentwickelt (Prediger et al. 2012). Die dabei entstandenen und empirisch geprüften lokalen Theorien zu den Lehr-Lernprozessen im entwickelten Design ergänzen das Ergebnis dieser Arbeit auf der Theorieebene.

Im Folgenden werden die Prototypen der Simulationen und das Unterrichtsdesign vorgestellt. Dabei gestaltet sich der didaktische Aufbau der Unterrichtssequenz nach den Strukturen der Conceptual Reconstruction (Kapitel 3.2) und der didaktischen Rekonstruktion (Kapitel 3.3), wobei die prominenten Alltagsvorstellungen der Schülerinnen und Schüler (Kapitel 3.6, Kapitel 7) den Ausgangspunkt für die Lernendenperspektive bilden (Kattmann 2007). Nach einer fachlichen Rahmung des Unterrichtsgegenstandes erfolgt der Verständnisaufbau schrittweise hin zu fachlichen Vorstellungen evolutionärer Anpassungs- und allopatrischer Artbildungsprozesse. Dabei soll durch den Bezug zur Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler eine lernförderliche Struktur entwickelt werden, die das Verstehen der elementaren Konzepte erleichtern soll (Gropengießer und Kattmann 2023). Weitzel (2024) schlägt zur strukturierten Vermittlung außerdem Leitlinien vor, die in die Entwicklung des Unterrichtsdesigns einfließen. Dabei wird vor allem Bezug genommen zu dem „Äußern von eigenen Vorstellungen und der Reflexion dieser“, „Verstehen von Variation als Voraussetzung für Entwicklung“ und „Begreifen von Anpassung als selektionsbedingten Prozess“ (Weitzel 2024).

5.1 Prototypen der Simulationen

Bevor die Simulationen im Klassenverband eingesetzt wurden, ist jeweils ein Testdurchlauf durchgeführt worden, um die grundsätzliche Tauglichkeit für den Unterricht zu prüfen. Die Vorstudie zu den Simulationen „Nahrungstransport der Kernbeißer“ und „Isolation der

Kernbeißer“ wurde 2017 im Rahmen der wissenschaftlichen Hausarbeit der Autorin (Sommer 2017) umgesetzt. Getestet wurde hierbei alleinig die Simulation ohne weitere Unterrichtsintervention in einer fünften Klasse. Die Studie beinhaltete einen Vorfragebogen, ein Transferarbeitsblatt zur Anwendung des Erlernten und einen Nachfragebogen zur Überprüfung des Verständnisses und Wissenszuwachses der Lernenden. Die Ergebnisse deuteten auf einen Lernzuwachs hin, da sich nach der Durchführung der Simulation deutlich mehr Schülerinnen und Schüler für die wissenschaftliche Erklärung evolutionärer Fragestellungen entschieden (Sommer 2017). Anhand der Nachfragebögen und der Situationsbeobachtung wurden Optimierungsvorschläge aufgezeigt.

Die Vorstudie zur ersten Version der neu entwickelten Simulation „Entwicklung der Alpenruspen“ wurde als Expertenbefragung Anfang des Jahres 2021 am Institut für Biologiedidaktik der Justus-Liebig-Universität in Gießen umgesetzt. Sieben Experten wurden befragt, sie waren zu diesem Zeitpunkt als Mitarbeiter am Institut für Biologiedidaktik in Gießen in verschiedenen Bereichen mit dem Schwerpunkt „Evolutionsdidaktik“ tätig. In der Expertenbefragung ergaben sich erste Optimierungsschritte zur Durchführung in einer Schulklasse der Sekundarstufe I, welche im Kapitel 5.1.2, Abschnitt e) aufgeführt werden.

5.1.1 Simulation „Nahrungstransport der Kernbeißer“

a) Didaktisch-methodische Hinweise

In der ersten Unterrichtsdoppelstunde des Arrangements sollen die Lernenden fachliche Konzepte zur individuellen Varianz innerhalb einer Population und den Auswirkungen dieser auf den Fortpflanzungserfolg kennenlernen. Nach Brennecke (2015) und Weitzel (2024) ist das einer der Schwerpunkte zur Erstellung geeigneter Lernangebote für die Sekundarstufe I, um ein grundlegendes evolutionsbiologisches Verständnis zu entwickeln. Der Einstieg in die Thematik soll durch ein bekanntes biologisches Phänomen geschaffen werden, da Lernende hierbei zumeist differenziertere Vorstellungen äußern (Brennecke 2015). In der Unterrichtssequenz gelingt dies, indem den Schülerinnen und Schülern das Phänomen des großen, kräftigen Schnabels der Kernbeißer vorgestellt wird. Die Lernenden sollen Vermutungen anstellen, wie dieser entstanden sein könnte und sich nach der Vorstellung der Simulation auf eine Hypothese zur Untersuchung einigen. Dabei soll die eigene Vorstellung aktiviert werden. Durch die Diskussion mit weiteren Personen kann diese

mit anderen Ansichten in Konflikt geraten (Möller 2019, Gropengießer & Marohn 2018). Die kollaborativ erarbeitete Untersuchungshypothese wird auf dem Unterrichtsprotokoll unter Punkt zwei notiert (Abb. 9) und im Plenum erläutert. Dabei wird durch das kooperative Lernen die Vorstellungsentwicklung angeregt (Lin et al. 2016). Nach dem Prinzip der Conceptual Reconstruction (Kapitel 3.2) kann im folgenden Unterrichtsgeschehen die wissenschaftliche Vorstellung zur plausiblen Beantwortung des vorgestellten Phänomens genutzt werden (Gropengießer & Marohn 2018). Auftretende Alltagsvorstellungen, wie beispielsweise finalistische oder anthropomorphe Fehlvorstellungen (Kapitel 3.6.1), können im Sinne der Didaktischen Rekonstruktion (Kapitel 3.3) sinnvoll integriert werden, indem die Lernenden ihre Vermutungen zunächst schriftlich formulieren und nach der Simulation zur Entwicklung der Kernbeißer reflektieren. Diese Reflexionsphase ist wichtig, damit sich die Lernenden nochmals mit ihren Vorstellungen aktiv auseinandersetzen und mögliche Differenzen zum simulierten Phänomen beobachten können. Nach dem Prinzip der Didaktischen Rekonstruktion sollen durch den wiederholten Einbezug der Schülervorstellungen zum einen Anknüpfungspunkte zur fachlichen Vorstellung hergestellt und zum anderen der präsentierte Kontext zur Alltagssituation abgegrenzt werden (Gropengießer & Kattmann 2023).

Da ein generationenübergreifendes Experiment im Unterricht kaum möglich ist, wird die Simulation „Nahrungstransport der Kernbeißer“ als Modell zum Einsatz im Unterricht präsentiert, um die Unterrichtsfrage „Wie ist der große und kräftige Schnabel der Kernbeißer entstanden?“ zu beantworten. Dabei simulieren die Lernenden selbst Kernbeißer einer Population, die individuelle Unterschiede des Schnabels aufweisen. Die Verwendung von Besteck als Schnabelwerkzeug wurde bereits in vorangegangenen Simulationen erfolgreich umgesetzt (z. B. Spork and Beans von Burton & Dobson 2009) und soll auch in der entwickelten Simulation zur Darstellung individueller Schnabelvarianten genutzt werden, um den Nahrungstransport von Nüssen zu simulieren. Die Handlungsorientierung der Simulation und damit verbundene Interaktionsprozesse können sich positiv auf die Bildung fachlicher Konzepte auswirken (Lindgren et al. 2016).

Die instruktionale Unterstützung durch vorformulierte Fragen im Unterrichtsprotokoll (Abb. 9) soll eine kognitive Überforderung vermeiden (Eckhardt & Harms 2018). Durch den Austausch der Vorstellungen und Begründungen zur Beantwortung der Stundenfrage wird die Konstruktion neuen Wissens gefördert (Gropengießer & Marohn 2018, Weitzel 2012).

In der Simulation sind die unterschiedlich vorkommenden Schnabelvarianten stark verdeutlicht, um individuelle Unterschiede der Kernbeißer zu simulieren und einen Effekt im Transporterfolg zu generieren. Dazu wurde außerdem die Nahrung der Kernbeißer aufgrund der Praktikabilität im Unterricht modifiziert.

Dies soll unter anderem in der stundenabschließenden Modellkritik reflektiert und zur Wirklichkeit hin abgegrenzt werden (Saari & Viiri 2003, Trier et al. 2021). Essentiell ist das Verständnis über dieselbe Artzugehörigkeit aller dargestellten Kernbeißervarianten, um



zusätzliche Fehlvorstellungen zu vermeiden. Die Lernenden sollen erkennen, dass die Kernbeißer individuelle Unterschiede aufweisen, aber dennoch einer Population angehören.

Zur besseren Übersicht über die individuellen Schnabelvarianten, zugehörigen Werkzeuge, Nester und Mutationssäckchen sollte alles gleich eingefärbt sein. Beispielsweise kann das Tafelprotokoll für die Schnabelvariante „flach“ mit gelber Kreide beschriftet werden, die Becher für die Aufbewahrung des Schnabelwerkzeuges (Messer) sowie das dazugehörige Nestschälchen und

Abbildung 6: Materialien der Schnabelvariante „flach“.

Mutationssäckchen gelb gefärbt sein (Abb. 6).

Wichtig für das Verstehen von Anpassungs- und Artbildungsprozessen ist zudem die Erkenntnis, dass durch das zufällige Auftreten (hier: das zufällige Ziehen des Schnabelwerkzeuges aus Mutationssäckchen) unterschiedlicher Merkmalsausprägungen neue Varianten gegenüber bereits vorkommenden in der Generationenabfolge dominieren oder bereits verschwundene Merkmale in der Population erneut auftreten können (Graf & Hamdorf 2011). Aus diesem Grund soll in der Simulation der Schritt „Variation zufällig ziehen“ besonders im Unterrichtsgeschehen hervorgehoben und reflektiert werden, sodass alle Lernenden die Zufälligkeit der Entstehung von individuellen Variationen innerhalb einer Population selbst beobachten können.

b) Simulation: Aufbau, Regelwerk, Material

Die Simulation „Nahrungstransport der Kernbeißer“ stellt die umweltbedingte Selektion zufällig entstandener Schnabelvarianten in einer Kernbeißerpopulation dar, indem die Lernenden Kernbeißer simulieren, die mit individuellen Unterschieden des Schnabels (symbolisiert durch Gabel, Messer, Löffel, Löbel) Nüsse aus einer Kiste aufsammeln und in ihr Nest transportieren. Je nach transportierter Menge an Nüssen werden die überlebenden Kernbeißer und ihre Nachkommen nach jeder Transportrunde bestimmt. Durch das zufällige Ziehen von Mutationen können dabei neue Varianten entstehen oder bereits existierende Merkmale wiederholt auftreten. Nach mehreren simulierten Generationen- bzw. Transportrunden ergibt sich so eine Änderung der Population im Vergleich zur Ausgangspopulation.

Gestartet wird mit jeweils zwei Kindern je Schnabelvariante „spitz“ und „rund“ (Abb. 7). Zu Beginn der Simulation stehen die Lernenden mit ihrem jeweiligen Schnabelwerkzeug an der Tafel vor ihrer Schnabelvariante, welche groß im Tafelprotokoll aufgeführt ist, sodass am Anfang zwei Kinder mit einer Gabel vor der Schnabelvariante „spitz“ und zwei Kinder mit einem Löffel vor der Schnabelvariante „rund“ stehen (Abb. 7).

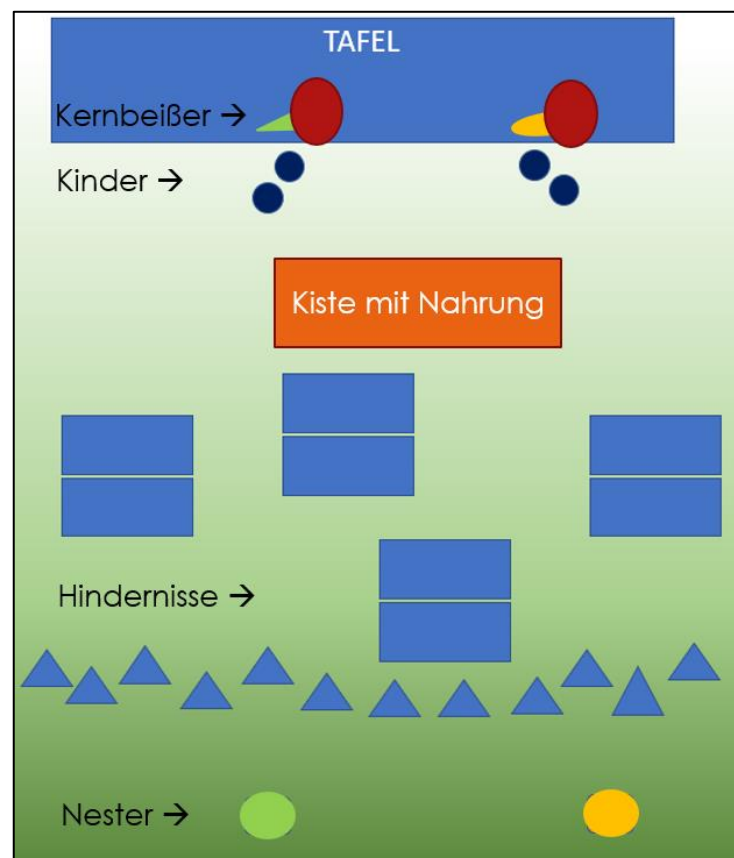


Abbildung 7: Aufbau der Simulation im Klassenraum.

Außerdem steht in geringem Abstand eine flache Kiste mit Stöcken, Haselnüssen und Playmais darin, was den Waldboden simuliert. Auf diesem suchen die Kernbeißer ihre Nahrung, die Nüsse. Ertönt ein vereinbartes Startsignal dürfen die Kinder zeitgleich von der Tafel zur Kiste laufen und genau eine Nuss mit ihrem Schnabelwerkzeug aufnehmen. Die Nuss darf dabei nur mit der Hand, welche das Schnabelwerkzeug hält, aufgenommen werden. Anschließend soll die Nahrung um Tische und über Stühle, welche Hindernisse im Wald verkörpern, bis ins eigene Nest transportiert werden. Dieses befindet sich am Ende des Raumes und ist farblich dem jeweiligen Schnabelwerkzeug zugeordnet (Abb. 7). Dort hinein wird die Nahrung abgelegt und der Nahrungstransport beginnt erneut, indem die Kinder eine Nuss aus der Kiste aufnehmen. Die Teilnehmer haben für den Nahrungstransport genau zwei Minuten Zeit. Fällt eine Nuss beim Transport herunter, beginnt der Nahrungstransport erneut ab der aufgestellten Nahrungskiste. Dies stellt die Interaktion mit anderen Waldbewohnern dar, welche sich die heruntergefallene Nuss greifen. Des Weiteren werden vor dem Nahrungstransport zwei Kinder bestimmt, die sich neben die Nester am Ende des Raumes stellen und darauf achten, dass die transportierten Nüsse nur mit dem Schnabelwerkzeug im Nest abgelegt werden. Ertönt das Endsignal „Stopp!“ darf keine weitere Nuss mehr im Nest abgelegt werden.

Anschließend wird die Nahrung von den zuvor eingesetzten Kindern am Nest ausgezählt, sodass im Plenum die überlebenden Kernbeißer je Schnabelvariante bestimmt werden können. Um zu überleben, müssen genau zwei Nüsse pro Kernbeißer ins Nest transportiert werden. Eine Nuss stellt die Nahrung für sich selbst dar und eine Nuss die Nahrung für einen Nachkommen. Nachdem zunächst die überlebenden Kernbeißer an der Schultafel (bzw. Smartboard, Flipchart etc.) protokolliert werden, können die Nachkommen bestimmt werden. Wurden beispielsweise drei Nüsse ins Nest der Schnabelvariante „spitz“ gebracht, überlebt nur ein Kernbeißer der Schnabelvariante „spitz“, da je Kernbeißer mindestens zwei Nüsse transportiert werden sollen. Wurden dagegen vier oder mehr Nüsse ins Nest der Schnabelvariante „rund“ gebracht, überleben beide Kernbeißer dieser Schnabelvariante. Nach der Auszählung der Nüsse im Nest und der Bestimmung der überlebenden Vögel, verdoppeln alle überlebenden Kernbeißer ihre Anzahl in der nächsten Generation. Zudem wird je vorkommender Schnabelvariante jeweils eine Mutation aus dem farblich passenden Mutationssäckchen gezogen, sodass neben den bereits vorkommenden auch weitere

Schnabelvarianten in der Population entstehen können. Nachdem auch die zufällig gezogenen Varianten bestimmt und im Protokoll in der nächsten Generation eingetragen wurden, können die Schülerinnen und Schüler ausgewählt werden, die in der nächsten Generation starten sollen. Stehen die Lernenden mit ihrer jeweiligen Schnabelvariante an der Tafel, kann die nächste Simulationsrunde beginnen.

Für die Durchführung der Simulation werden folgende Materialien benötigt:

- Powerpoint-Präsentation „Kernbeißer“ (Anhang A: 2.Kernbeißer_neu)
- unterrichtsbegleitendes Protokoll (Abb. 9)
- Tafel & bunte Kreide (bspw. gelb, blau, grün, rot)
- Besteck als Schnabelwerkzeug: Gabeln, Löffel, Messer, Löbel (Mischung aus Löffel und Gabel)
- vier verschiedenfarbige Becher (bspw. gelb, blau, grün, rot)
- Schälchen in den jeweils passenden Farben
- flache Kiste gefüllt mit Haselnüssen, Stöckchen, Playmais
- vier Mutationssäckchen in den jeweils passenden Farben (Abb. 6), gefüllt mit der eigenen und den jeweils anderen drei Schnabelvariante(n)

c) Durchführung der Unterrichtsdoppelstunde

Mit der PowerPoint-Präsentation „Kernbeißer“ (Anhang A: 2.Kernbeißer_neu) werden die Lernenden in die Unterrichtsdoppelstunde des Arrangements eingeführt. Die Schülerinnen und Schüler sollen sich zunächst mit den Unterschieden im äußeren Erscheinungsbild der Kernbeißer beschäftigen (Abb. 8). Dazu werden verschiedene Kernbeißerindividuen abgebildet und durch gezielte Fragen auf individuelle Merkmale aufmerksam gemacht. Außerdem lenkt die Lehrkraft die Aufmerksamkeit auf den besonderen Schnabel des Kernbeißers. Folgend sollen die Lernenden zum einen die Frage beantworten, ob die Kernbeißer schon immer so aussahen wie sie heute aussehen und zum anderen, wie der besondere Schnabel der Kernbeißer entstanden sein könnte. Die Antworten sollen im Plenum besprochen werden. Im Sinne der Didaktischen Rekonstruktion (Kapitel 3.3) werden vorhandene Vorstellungen somit aktiviert und in den Unterrichtsverlauf eingebunden.

Individuelle Unterschiede

3



Abbildung 8: Ausschnitt aus der Powerpoint-Präsentation „Entwicklung der Kernbeißer“. Gezeigt werden individuelle Unterschiede im äußeren Erscheinungsbild der Kernbeißer (KI Midjourney, eigene Bearbeitung).

Nach der Besprechung der Antworten im Plenum soll das Unterrichtsprotokoll (Abb. 9) ausgeteilt werden. Dieses dient den Schülerinnen und Schülern zur Orientierung im Stundenverlauf. Anschließend soll die unterrichtsleitende Frage „Wie ist der kräftige Schnabel der Kernbeißer entstanden?“ auf dem Unterrichtsprotokoll notiert und die Simulation zur Klärung der Stundenfrage vorgestellt werden.

Darauffolgend sollen die Materialien und Regeln der Simulation erklärt und der Aufbau (Abb. 9) und Ablauf besprochen werden. Um die Formulierung und Abgrenzung der eigenen Vorstellungen im jeweiligen Kontext zu unterstützen, soll jede Schülerin und jeder Schüler zwei Vermutungen zum Simulationsergebnis selbstständig mit einer Begründung notieren. So soll nicht nur das Aufstellen von Hypothesen geübt, sondern vor allem die eigene Vorstellung zur Entwicklung einer Merkmalsausprägung formuliert werden. Am Gruppentisch soll anschließend darüber diskutiert und sich auf eine Hypothese zur Untersuchung geeinigt werden.

Name:	Nahrungstransport der Kernbeißer	Klasse:
1. Unterrichtsfrage		
<hr/>		
<hr/>		
<hr/>		
2. Vermutungen zum Spielverlauf (Hypothesen):		
<hr/>		
<hr/>		
<hr/>		
<hr/>		
3. Erkenntnisse aus den Spielrunden		
Warum sehen die Kernbeißer so unterschiedlich aus?		
<input type="checkbox"/> Sie sehen so unterschiedlich aus, weil sie verschiedenen Arten angehören.		
<input type="checkbox"/> Die unterschiedlichen Merkmale sind bei der Fortpflanzung zufällig entstanden.		
<input type="checkbox"/> Sie passten ihre Schnabelform an, damit mehr Nachkommen überleben.		
Warum haben einige Kernbeißer nicht überlebt?		
<input type="checkbox"/> Die Natur hat einige nicht an ihre Umwelt angepasst, sodass diese nicht überlebt haben.		
<input type="checkbox"/> Einige haben nicht überlebt, weil sie sich nicht anpassen wollten.		
<input type="checkbox"/> Einige konnten mit ihrer Schnabelform nicht genug Nahrung zum Nest transportieren und somit ihren Nachwuchs nicht ernähren.		
4. Überprüfe deine aufgestellten Vermutungen! Markiere welche sich bestätigen und welche sich widerlegen lassen!		
5. Beantwortung der Unterrichtsfrage!		
<hr/>		
<hr/>		
<hr/>		

Abbildung 9: Unterrichtsprotokoll zur Simulation „Nahrungstransport der Kernbeißer“.





Im Zentrum der Unterrichtsdoppelstunde steht die Simulation „Nahrungstransport der Kernbeißer“. Diese soll im Folgenden zur Überprüfung der Untersuchungshypothese durchgeführt werden. Wie im obigen Abschnitt beschrieben, startet die Simulation mit jeweils zwei Kindern, die als Kernbeißer die Schnabelvarianten „spitz“ und „rund“ (Tab. 1) simulieren. Diese sollen nun versuchen in zwei Minuten so viele Nüsse wie möglich in ihr eigenes Nest zu transportieren. Nach Beendigung der ersten Simulationsrunde, wird zur Reflexion des Nahrungstransportes im Plenum kurz die Beobachtung diskutiert, wie schwierig der Transport der Nüsse zum Nest mit der entsprechenden Schnabelvariante war

und inwiefern die teilnehmenden Kinder selbst Einfluss auf das Ergebnis hatten. Das aktiviert wiederholt die eigene Vorstellung und richtet den Fokus auf die individuellen Merkmale, die sich in einer gegebenen Umwelt unterschiedlich auswirken können.

Anschließend werden die überlebenden Kernbeißer sowie die Nachkommen und jeweiligen Mutationen der Generation 2, wie oben beschrieben, bestimmt und in das Tafelprotokoll eingetragen. Dies bedeutet für das oben genannte Beispiel, indem ein Kernbeißer der Schnabelvariante „spitz“ und zwei Kernbeißer der Variante „rund“ überlebt haben, dass zwei Kernbeißer für die Schnabelvariante „spitz“ und vier Kernbeißer für die Schnabelvariante „rund“ in der Generation 2 den Nahrungstransport starten werden (Tab. 1). Dabei wird zur Reflexion der Ziehung von Nachkommensvarianten der Vergleich zum Menschen hergestellt, indem die Schülerinnen und Schüler gedanklich ihre eigenen Merkmale mit denen ihrer Eltern vergleichen sollen. So können individuelle Merkmalsausprägungen direkt sichtbar gemacht und das Verständnis der Simulation gefördert werden. Im angeführten Beispiel wird für die Schnabelvariante „spitz“ und „rund“ beide Male ein Löbel gezogen, welcher die zufällig entstandene Schnabelvariante „spitz-rund“ simuliert, sodass vor dem erneuten Nahrungstransport, außer den bereits beschriebenen Varianten, zudem zwei Kinder für die neu entstandene Schnabelvariante „spitz-rund“ ausgewählt werden und sich mit dem entsprechenden Schnabelwerkzeug vor der Tafel platzieren dürfen. Anschließend beginnt der Nahrungstransport wiederholt mit einem Startsignal. Dieser Simulationsablauf wird fünf Transportrunden fortgesetzt, sodass eine Verschiebung der Schnabelvarianten in der Kernbeißerpopulation sichtbar wird (Tab. 1). Zur Reflexion des Geschehenen soll nach drei Generationen die Frage beantwortet werden, wie sich die Gruppe der Kernbeißer aufgrund der individuellen Gegebenheiten weiter entwickeln könnte. Nachdem jeder Schüler und jede Schülerin Zeit hatte, sich selbstständig mit dieser Frage auseinanderzusetzen, werden die Antworten im Plenum diskutiert.

Auch am Ende der fünften Simulationsrunde wird zunächst jeder Schüler und jede Schülerin aufgefordert, der Frage nachzugehen, wie sich die Kernbeißerpopulation aufgrund der individuellen und ökologischen Gegebenheiten verändert hat, bevor dies im Plenum diskutiert wird. Durch die aktive Unterrichtsgestaltung kann die vorhandene Vorstellung an die Erfahrungen aus der Simulation anknüpfen (Möller 2019), um fachliche Vorstellungen aufzubauen und eine Festigung der Alltagsvorstellung zu vermeiden.

Tabelle 1: Beispiel für einen protokollierten Ablauf der Simulation „Nahrungstransport der Kernbeißer“. Je zwei Schüler starten in Generation 1 mit der Schnabelform „spitz“ und der Schnabelform „rund“. Ein „+“ vor der Zahl zeigt die zufällig gezogene Variation an.

	Schnabel „spitz“	Schnabel „rund“	Schnabel „spitz-rund“	Schnabel „flach“	
Generation 1	2	2			
Überlebende:	1	2			x 2 
Generation 2	2	4	(zufällige Variation) + 2		
Überlebende:	2	2	1		x 2 
Generation 3	4	4	2 + 2	+ 1	
Überlebende:	3	3	4	1	x 2 
Generation 4	6 + 1	6	8 + 1	2 + 2	
Überlebende:	2	5	3	1	x 2 
Generation 5	4	10 + 1	6 + 2	+ 1	
Überlebende:	1	7	7	0	

Jeder Schüler und jede Schülerin soll nach der Durchführung der Simulation die Untersuchungshypothese (z. B. „Kernbeißer mit runder Schnabelform können mehr Nachkommen ernähren, da sie mehr Nüsse zum Nest transportieren können.“) eigenständig auswerten und folgend die Stundenfrage beantworten. Auch diese Auswertung soll für die aktive Auseinandersetzung mit der eigenen Vorstellung sorgen, bevor diese im Plenum zusammen mit den Erkenntnisfragen (unter Punkt drei im Unterrichtsprotokoll) diskutiert wird, um nochmals das soeben Erfahrene zu reflektieren und die eigene Vorstellung zu hinterfragen.

Abschließend soll ein Vergleich zwischen dem Simulationsmodell und der Wirklichkeit stattfinden, um mit den Schülerinnen und Schülern die Grenzen der Simulation und die Unterschiede zur Realität zu reflektieren. Dabei sollte Bezug zur zeitlichen Abfolge der Generationen genommen werden, um Fehlvorstellungen dieser Dimension vorzubeugen. Auch die stetig wachsende Population der Kernbeißer im Simulationsmodell sollte unbedingt zur Wirklichkeit hin abgegrenzt und besprochen werden. Außerdem sollte thematisiert werden, dass die Simulation lediglich ein Merkmal individueller Variation abbildet, welches stark verdeutlicht dargestellt wird (Trier et al. 2021). An dieser Stelle können wiederholt die Bilder der Kernbeißer in der Präsentation gezeigt werden, um den Abstand zum Realobjekt zu verkleinern. Weitere Aspekte, wie beispielsweise biotische und

abiotische Faktoren, welche die Entwicklung der Kernbeißer beeinflussen können, sollten je nach Lernstand der Gruppe reflektiert werden.

d) Übersicht der Unterrichtsdoppelstunde

Zur Übersicht werden folgend die unterrichtlichen Phasen mit Zeitvorschlägen und kurzen inhaltlichen Schwerpunkten tabellarisch dargestellt (Tab. 2). Ein ausführlicher didaktisch-methodischer Kommentar sowie eine Materialliste befinden sich jeweils unter Punkt a) bzw. b) in diesem Unterkapitel.

Tabella 2: Übersicht über Phasen, Zeit und inhaltliche Schwerpunkte zur Unterrichtsdoppelstunde „Nahrungstransport der Kernbeißer“.

Phase	Zeit	Inhaltliche Schwerpunkte
Begrüßung und Vorstellung	3 min	Klasse ansprechen, Stundenablauf vorstellen
Einführung in die Thematik	10 min	Aktivierung der Vorstellungen zu Selektion und Angepasstheit, Variabilität der Kernbeißer präsentieren, Phänomen des kräftigen Schnabels vorstellen
Stundenfrage	5 min	Stundenfrage formulieren: Wie ist der große, kräftige Schnabel der Kernbeißer entstanden?
Simulations-einführung	10 min	Vorstellen der Simulation inklusive des Materials, Erklärung des Ablaufes und der Regeln
Vermutungen aufstellen	8 min	Vermutungen in Einzelarbeit notieren, Gruppentische einigen sich auf Hypothese zur Untersuchung
UMBAU	3 min	Simulationsaufbau im Klassenraum
Simulations-durchführung	25 min	Simulieren des Nahrungstransportes der Kernbeißer, Thematisieren der zufälligen Entstehung neuer Varianten und der daraus resultierenden individuellen Fitness
Ergebnis-auswertung	8 min	Reflexion der Ergebnisse, Erkenntnisfragen beantworten
Hypothesen-auswertung, Beantwortung der Stundenfrage	12 min	Auswertung der aufgestellten Hypothesen, Beantwortung der Stundenfrage
Modellkritik	6 min	Vergleich Modell-Wirklichkeit

5.1.2 Simulation „Entwicklung der Alpenruspen“

a) Didaktisch-methodische Hinweise

Da Schülerinnen und Schüler Schwierigkeiten haben, Vorstellungen zur Evolution in unbekanntem Beispielen zu äußern (Brennecke 2015) und andererseits in der bisherigen

Literatur botanische Simulationen für den Einsatz im Unterricht wenig Beachtung finden, soll in der nächsten Unterrichtsdoppelstunde des Arrangements das bereits erlernte Wissen zu Selektions- und Anpassungsprozessen in einem unbekanntem botanischen Szenario angewendet werden. Zudem ist die Wiederholung der Schlüssel zum Lernen (Petermann & Petermann 2018, Roelle et al. 2023), sodass durch mehrfache Anwendung die wissenschaftliche Erklärung evolutionärer Mechanismen gefestigt werden kann. Zusätzlich soll vorbereitend auf das Thema „Artbildung“ ein Verständnis für allopatrische Isolationsmechanismen aufgebaut werden, indem die Schülerinnen und Schüler die Entwicklung geografisch isolierter Teilpopulationen untersuchen. Da bisher keine evaluierten, praktisch umsetzbaren deutschsprachigen Simulationen zu allopatrischen Artbildungsprozessen vorliegen, soll diesem Defizit mit der Simulation „Entwicklung der Alpenruspen“ entgegengewirkt und eine Simulation zur Verwendung im Unterricht der Sekundarstufe I vorgestellt werden.

Mit der in dieser Arbeit konzipierten Simulation erfahren die Lernenden anhand fiktiver Organismen zum einen wie sich ein gegebenes Merkmal unter verschiedenem Selektionsdruck auswirken kann, zum anderen untersuchen sie die Auswirkungen geografischer Isolation auf die Entwicklung der Teilpopulationen und sammeln somit erste Erfahrungen mit allopatrischen Artbildungsprozessen. Wichtig ist im Vorhinein noch einmal dieselbe Artzugehörigkeit der Blütenvarianten zu verdeutlichen, um Fehlvorstellungen vorzubeugen. Außerdem sollte genügend Zeit bei der Vorstellung des Materials und des Ablaufs der Simulation eingeplant werden, damit die Schülerinnen und Schüler diese im weiteren Verlauf eigenständig durchführen können.

Eine Drehscheibe repräsentiert den Pool aus Varianten der bisher vorkommenden Alpenruspen (fiktive Organismen). Den Lernenden soll dadurch aufgezeigt werden, dass bereits aus der Population verschwundene Merkmale erneut auftreten können. Durch das Drehen des Pfeils soll die Zufälligkeit einer möglichen Variation bei der Fortpflanzung dargestellt werden.

Durch den Aufbau der Unterrichtsdoppelstunde im experimentellen Stil wird erneut die Auseinandersetzung mit der eigenen Vorstellung zu evolutionären Mechanismen gefördert, indem die Schülerinnen und Schüler zunächst selbstständig Vermutungen zum Simulationsergebnis formulieren sollen, bevor diese in der Tischgruppe diskutiert werden. Zudem sollte der/die Simulationsleitende den Reflexionsprozess jederzeit mit aktivierenden Fragen anregen können, sodass die Schülerinnen und Schüler in den Lernprozess

eingebunden werden und eine Überforderung vermieden wird (Eckhardt & Harms 2018). Dies ist von besonderer Bedeutung beim Vergleich der Simulationsergebnisse der isolierten Teilpopulationen der Alpenruspen beider Gebirgsseiten. Um eine Entwicklung der vorunterrichtlichen Vorstellungen zu initiieren (Lin et al. 2016, Osborne 2010), soll zunächst in Einzelarbeit und darauffolgend in der Tischgruppe reflektiert werden, wie sich die Verschiebung der Zusammensetzung der geografisch isolierten Teilpopulationen im Simulationsverlauf ergeben hat. Durch die Auseinandersetzung mit anderen Vermutungen und den Austausch in der Gruppe kann die eigene Vorstellung an die Grenzen der Erklärungskraft stoßen, wodurch im Sinn eines Conceptual Change (Kapitel 3.2) die im Unterrichtsverlauf aufgezeigte wissenschaftliche Erklärung des Phänomens als plausible Vorstellung angenommen werden kann (Gropengießer & Marohn 2018, Möller 2019). Vor allem beim Vergleich aller Gruppenergebnisse an der Tafel sollen die Lernenden beschreiben können, dass die Entwicklung der getrennten Populationen nicht vorhersehbar ist, da sich sowohl Umweltereignisse als auch Variationen der Pflanzen zufällig ergeben. Die Diskussion der gewonnenen Erkenntnisse ist besonders wichtig, da hierbei ein Verständnis für allopatrische Isolationsmechanismen aufgebaut werden soll.

b) Simulation: Aufbau, Regelwerk, Material

In „Entwicklung der Alpenruspen“ soll die Entwicklung zweier, voneinander geografisch isolierter Teilpopulationen der Alpenruspen simuliert werden. Auf einem großen Simulationsfeld (Abb. 10) wird in Generation „0“ eine gemeinsame Anfangspopulation beschrieben, die sich durch die geografischen und umweltbedingten Besonderheiten im Gebirge in zwei isolierte Teilpopulationen spaltet. Dies ist auf dem Simulationsfeld dargestellt durch die Abfolge von Generationen auf einem oberen „Weg“, der Trockenseite, und einem unteren „Weg“, der Wetterseite, des Gebirges (Abb. 10). Die Generationenabfolgen sollen, angeleitet durch einen Spielleiter am Gruppentisch, gleichzeitig auf der Trocken- und Wetterseite des Gebirges simuliert werden. Dabei ist nach Generation „5“ die Abfolge der Generationen in der Darstellung (Abb. 10) absichtlich nicht beendet, da hierbei finalistischen Alltagsvorstellungen (Kapitel 3.6.1), welche evolutionären Entwicklungen einen Zielzustand zuschreiben, vorgebeugt werden soll. Außerdem befindet sich am oberen Rand ein Zeitstrahl, um in einer abschließenden Modellkritik über die zeitlichen Aspekte der Entwicklung zu reflektieren und somit präventiv Fehlvorstellungen der zeitlichen Dimension (Kapitel 3.6.1) entgegenzuwirken.

Gestartet wird die Simulation auf dem Blütenfeld „0“ mit der Anfangsgeneration, welche aus jeweils einer Blüte je Alpenruspenvariante besteht. Die Simulation beginnt für die obere Trockenseite und die untere Wetterseite mit den jeweils gleichen Bedingungen, sodass die Anfangsgeneration zweimal gelegt wird (Abb. 10).

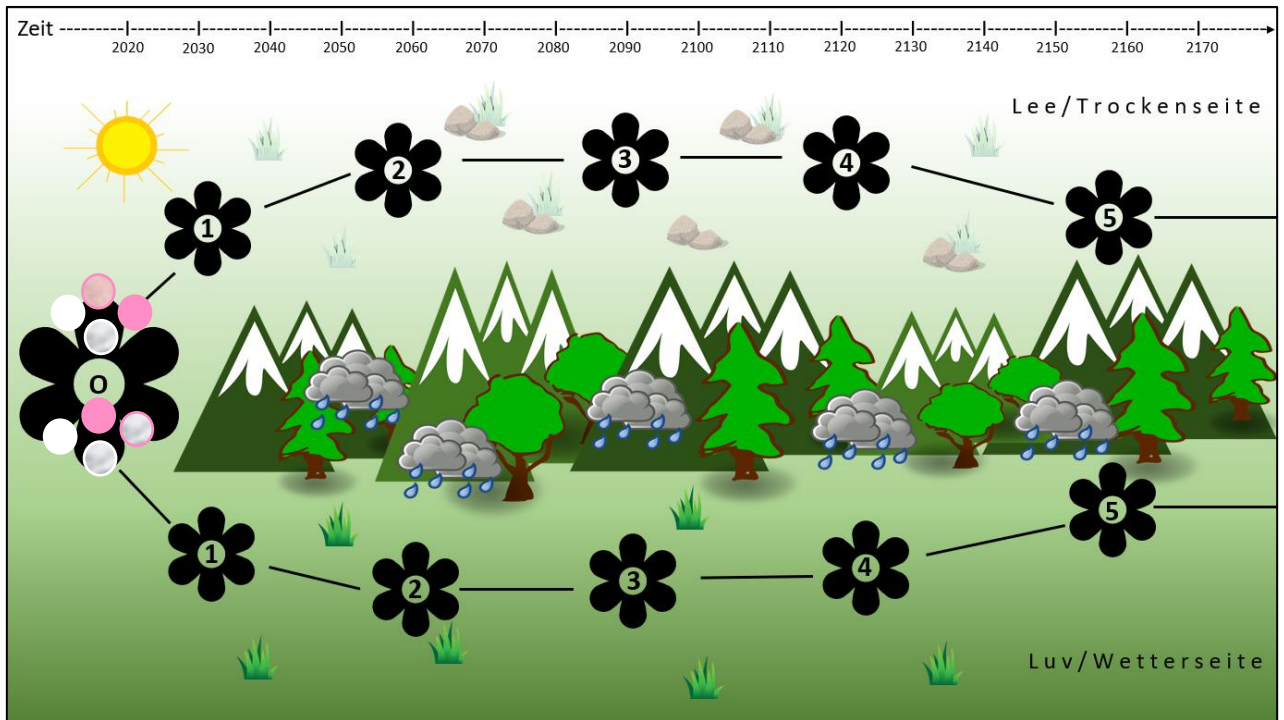


Abbildung 10: Simulationsfeld „Entwicklung der Alpenruspen“.

Da jede Blütenvariante (Abb. 11) zu Beginn vorkommt, liegt für die Trocken- und



Abbildung 11: Vorsortierte Blütenvarianten: weiß glitzernd – duftend (oben links), weiß - ohne Duft (unten links), pink glitzernd – duftend (oben rechts), pink - ohne Duft (unten rechts).

Wetterseite jeweils eine Blüte in der Varianten weiß, weiß-duftend, pink und pink-duftend auf Feld „0“ (Abb. 10). Daraufhin wird ein Ereignis je Gebirgsseite zufällig ausgewürfelt, vom Ereignisblatt der jeweiligen Gebirgsseite abgelesen (Abb. 12 und Abb. 13) und ausgeführt. Die Pflanzen mit den Blüten, die dabei nicht überleben, werden vom Simulationsfeld entfernt. Die

übrigen Blüten werden ein Feld weitergeschoben auf Blüten-Nummer „1“ der jeweiligen Bergseite. An dieser Stelle sollen die Lernenden reflektieren, warum genau diese Pflanzen mit den jeweiligen Blüten überlebt haben. Jede übrige Pflanze (dargestellt durch die Blüten) bekommt jetzt einen Nachkommen. Diese werden aus den vorsortierten Blüten (Abb. 11) direkt auf Blütenfeld „1“ zu den verbliebenen Blüten gelegt.








 Ereigniskarten der Wetterseite der Alpen		
<p>EREIGNIS </p> <p>Ein Vogelschwarm lässt sich nieder und frisst alle Samen aus den Kapsel Früchten. Da weiße Blüten eher blühen und Samen bilden, werden diese Pflanzen gefressen.</p>	<p>EREIGNIS </p> <p>Die Wetterfliege findet perfekte Bedingungen auf dieser Alpenseite vor und richtet große Schäden an weißen Blüten an, sodass diese nicht überleben.</p>	<p>EREIGNIS </p> <p>Der starke Wind lässt nur noch Rothummeln als Bestäuber zu, welche ausschließlich stark duftende Blüten bestäuben. Alle Pflanzen mit wenig duftenden Blüten überleben nicht.</p>
<p>EREIGNIS </p> <p>Der Alpenrüssler hat sich ausgebreitet und ist ein Käfer, der an Pflanzen mit weißen Blüten große Fraßschäden anrichtet. Pflanzen mit dieser Blütenfarbe überleben nicht.</p>	<p>EREIGNIS </p> <p>Eine Schneedecke hat sich gebildet, welche nur klein gewachsene Pflanzen vor dem Erfrieren schützt. Da Alpenruspen mit wenig duftenden Blüten größer werden, überleben nicht.</p>	<p>EREIGNIS </p> <p>Bei rauer Witterung werden Ruspenfalter aktiv, wenn sie durch starken Duft angelockt werden. Alpenruspen mit wenig duftenden Blüten werden nicht bestäubt, sodass sie nicht überleben.</p>

Abbildung 12: Ereignisblatt der Wetterseite.








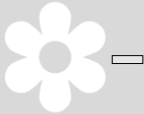
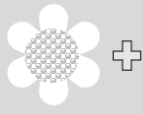

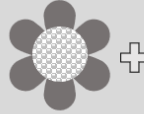
 Ereigniskarten der Trockenseite der Alpen		
<p>EREIGNIS </p> <p>In diesem Sommer ist der Boden der Alpen besonders trocken. Alpenruspen mit wenig duftenden Blüten können Wasser besser speichern und überstehen diese Dürre. Alle Pflanzen mit stark duftenden Blüten überleben nicht.</p>	<p>EREIGNIS </p> <p>Stark duftende Blüten locken vermehrt Ruspenfliegen an. Diese Fliegen richten große Fraßschäden an, sodass stark duftende Pflanzen nicht überleben.</p>	<p>EREIGNIS </p> <p>Pinke Blüten werden bevorzugt von Ruspenfliegern gefressen. Auf der Trockenseite der Alpen breiten sie sich aus, sodass Alpenruspen mit pinken Blüten nicht überleben.</p>
<p>EREIGNIS </p> <p>Im Sommer genießen die Bergziegen die Sonne in den Alpen. Angelockt durch den Duft der Blüten verzehren sie alle Alpenruspen mit stark duftenden Blüten.</p>	<p>EREIGNIS </p> <p>Ein Vogelschwarm lässt sich nieder und frisst alle Samen aus den Kapsel Früchten pinken Blüten. Da weiße Blüten eher Samen bilden, sind diese bereits verbreitet und somit geschützt.</p>	<p>EREIGNIS </p> <p>Bei starker Sonneneinstrahlung können weiße Blüten die Strahlung besser reflektieren. Pinke Blüten überhitzen und überstehen den Sommer nicht.</p>

Abbildung 13: Ereignisblatt der Trockenseite.

Anschließend wird eine Blüte je Gebirgsseite durch Drehen des Pfeils auf der Drehscheibe (Abb. 14) bestimmt. Die zufällig bestimmte Blüte wird ebenfalls zu den Blüten auf Feld „1“ gelegt. Nun wird die Anzahl der Blüten auf Feld „1“ im Protokoll der jeweiligen Gebirgsseite unter „Generation 1“ notiert (Tab. 3).

Tabelle 3: Protokollbogen zur Simulation „Entwicklung der Alpenruspen“ mit den vier Blütenvarianten weiß, wenig Duft (-); weiß, starker Duft (+); pink, wenig Duft (-); pink, starker Duft (+) (erste Zeile gelesen von links nach rechts).

				
Generation 0	1	1	1	1
Generation 1	2	2		+1
Generation 2				
Generation 3				
Generation 4				
Generation 5				

Wurde beispielsweise das Ereignis „6“ der Trockenseite ausgewürfelt (Abb. 13), überleben ausschließlich Alpenruspen mit weißen Blüten. Alle pinken Blüten auf Feld „0“ werden entfernt, wohingegen alle weißen Blüten auf Feld „1“ rücken. Anschließend bekommt jede übrige Pflanze (dargestellt durch die Blüten) einen Nachkommen, sodass nun zwei Blüten der Variante „weiß, wenig Duft“ und zwei Blüten der Variante „weiß, starker Duft“ auf Feld „1“ liegen. Zudem wird als Variation der Nachkommen zufällig eine Blüte der Variante „pink, starker Duft“ mithilfe der Drehscheibe bestimmt, sodass diese ebenfalls auf Feld „1“ gelegt wird. Im Protokoll (Tab. 3) werden anschließend alle Blüten, die sich auf Feld „1“ befinden, notiert.

Folgend wird wieder ein Ereignis ausgewürfelt und alle Alpenruspen (dargestellt durch die Blüten) vom Simulationsfeld entfernt, die dieses Umweltereignis nicht überleben. Alle übrigen Blüten werden wiederum ein Feld weitergeschoben. Erneut soll hierbei am Gruppentisch reflektiert werden, warum genau diese Pflanzen überlebt haben. Die Simulation „Entwicklung der Alpenruspen“ wird wie beschrieben fortgesetzt bis die

Teilpopulationen auf beiden Gebirgsseiten jeweils Feld „5“ erreichen (Abb. 10). Hier werden letztmalig die Nachkommen und Variation bestimmt und die Anzahl jeder Blütenvariante im Protokoll notiert.

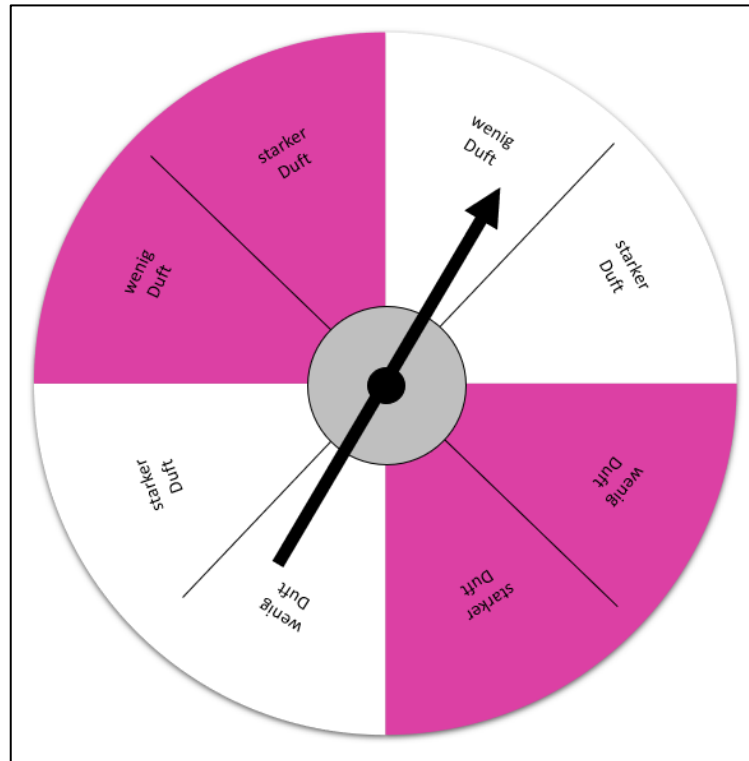


Abbildung 14: Drehscheibe zur zufälligen Ermittlung einer Blütenvariante.

Abschließend werden die Materialien zur Durchführung der Unterrichtsdoppelstunde aufgelistet:

- Powerpoint-Präsentation „Alpenruspen“ (Anhang A: 3.Alpenruspe)
- Simulationsfeld (Abb. 10) Größe A1
- Ereigniskarten (Abb. 12 & 13)
- Protokollbogen jeweils für die Trocken- & Wetterseite des Gebirges (Tab. 3)
- Ablaufschema (Abb. 16)
- Unterrichtsprotokoll (Abb. 17)
- vorsortierte Blütenvarianten (weiß – ohne Duft, weiß glitzernd – duftend, pink – ohne Duft, pink glitzernd – duftend) und Würfel (Abb. 11)
- Drehscheibe (Abb. 14)

c) Durchführung der Unterrichtsdoppelstunde

Die Einführung in die Unterrichtsdoppelstunde gelingt mithilfe der Powerpoint-Präsentation „Alpenruspen“ (Anhang A: 3.Alpenruspe). Hierbei werden die Pflanze und ihre Merkmale, wie Aussehen und Vorkommen, zunächst vorgestellt. Anschließend sollen die Lernenden in die besonderen Gegebenheiten der Vegetation im Gebirge eingeführt werden und die unterschiedlichen Standortbedingungen der Trocken- und Wetterseite des Gebirges anhand der Powerpoint-Präsentation beobachten (Abb. 15).

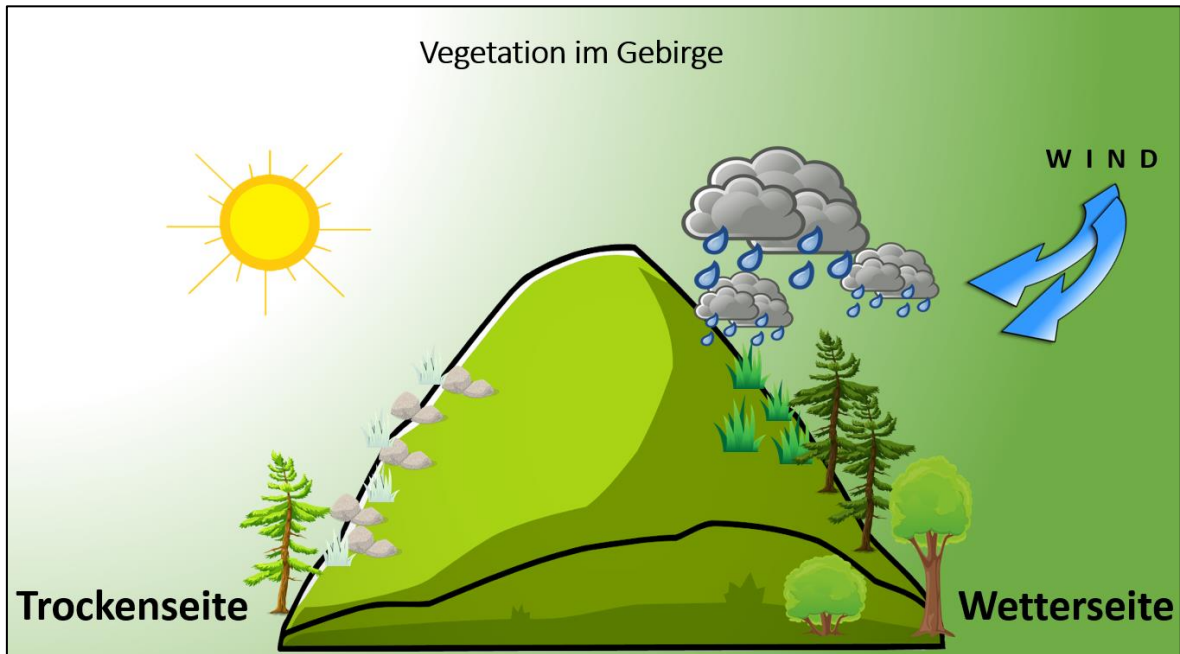


Abbildung 15: Abbildung aus der Powerpoint-Präsentation, welche unterschiedliche Umweltverhältnisse im Gebirge zeigt.

Hiernach wird das Phänomen beschrieben, dass die neu angesiedelte Art der „Alpenruspen“ aktuell sowohl auf der wetterzugewandten als auch auf der sonnenzugewandten Seite des Gebirges in geografisch voneinander isolierten Teilpopulationen vorkommt. Dieses Phänomen führt zur Unterrichtsfrage „Wie entwickeln sich die Alpenruspengruppen auf den beiden Gebirgsseiten?“. Dabei soll mehrfach darauf aufmerksam gemacht werden, dass die getrennten Teilpopulationen der Alpenruspen voneinander isoliert sind. Anschließend wird als Modell zur Beantwortung der Unterrichtsfrage die Simulation „Entwicklung der Alpenruspen“ vorgestellt und erklärt. Wichtig ist es, den Lernenden an dieser Stelle genügend Zeit für Fragen zum Material und Simulationsablauf einzuräumen, um Fehlvorstellungen, die aus Verständnisproblemen resultieren, vorzubeugen.

Anschließend soll das Simulationsfeld (Abb. 10) ausgeteilt und im Plenum besprochen werden, bevor der Ablauf der Simulation (Abb. 16) geklärt und das zu verwendende Material vorgestellt wird.

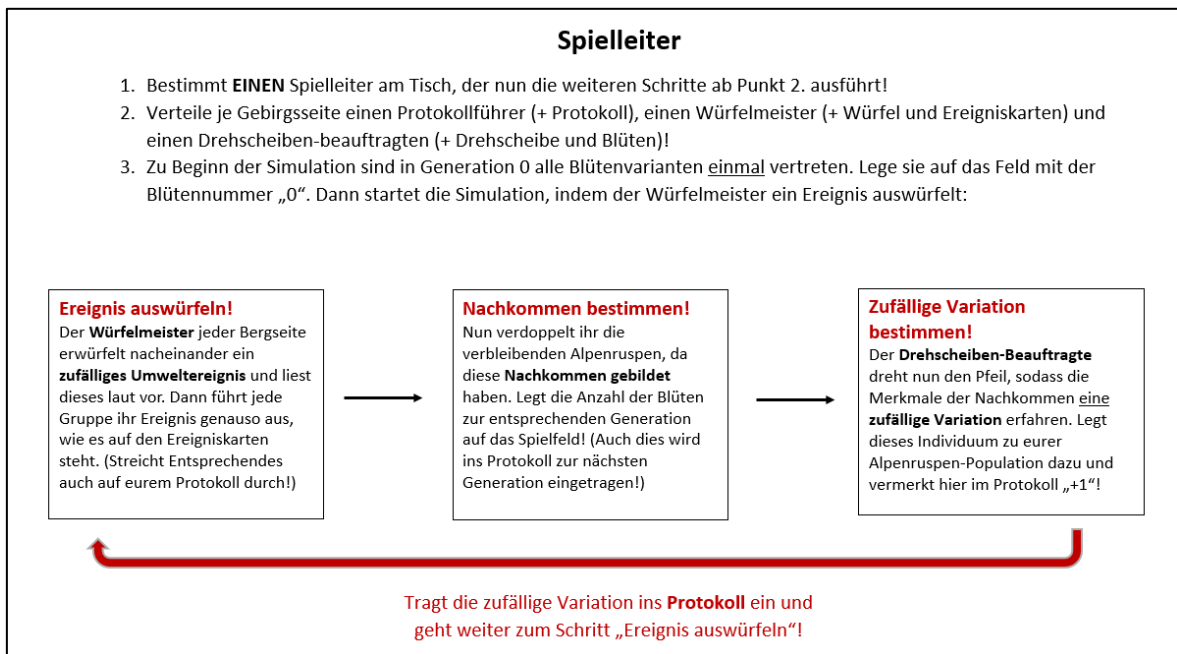


Abbildung 16: Ablaufschema zur Simulation „Entwicklung der Alpenruspen“.

Anschließend wird die Anweisung zur Aufteilung der Rollen während der Simulation gegeben, wobei in Gruppen von jeweils sieben Schülerinnen und Schülern gearbeitet wird. Dabei soll ein Spielleiter bestimmt werden, welcher die durchzuführenden Simulationsschritte vorliest, sodass die Generationenabfolgen auf jeder Gebirgsseite parallel durchlaufen werden können. Unter den verbleibenden sechs Lernenden werden die Rollen wie folgt für jede Gebirgsseite eingeteilt: ein Kind würfelt die Ereignisse aus und liest diese vor, ein Kind setzt die Blüten und dreht zufällig eine Variante auf der Drehscheibe und ein Kind führt den Protokollbogen (Abb. 13). Sodass jeweils drei Kinder auf der Trockenseite und drei Kinder auf der Wetterseite die Entwicklung der Teilpopulationen der Alpenruspen simulieren und von einem gemeinsamen Spielleiter am Tisch dabei begleitet werden.

Nachdem der Ablauf der Simulation geklärt ist, soll jeder Lernende zwei Hypothesen zum Simulationsergebnis in Einzelarbeit notieren. Das sorgt für die Auseinandersetzung mit der eigenen Vorstellung zum Untersuchungsgegenstand, bevor diese in der Gruppe mit weiteren konfrontiert wird.

Name:	Entwicklung der Alpenruspen	Klasse:
<p>1. Unterrichtsfrage</p> <hr/> <hr/> <hr/>		
<p>2. Vermutungen zum Simulationsverlauf (Hypothesen):</p> <hr/> <hr/> <hr/>		
<p>3. Kreuze deine Erkenntnisse aus den Simulationsrunden an:</p> <p>Warum haben die Alpenruspen so unterschiedliche Merkmale?</p> <p><input type="checkbox"/> Sie haben so unterschiedliche Merkmale, weil sie verschiedenen Arten angehören.</p> <p><input type="checkbox"/> Die Natur hat einige Alpenruspen verändert, damit sie überleben.</p> <p><input type="checkbox"/> Die unterschiedlichen Merkmale sind bei der Fortpflanzung zufällig entstanden.</p> <p>Warum haben genau diese Alpenruspen in Generation 4 überlebt?</p> <p><input type="checkbox"/> Weil sie zufällig an die vorherrschenden Umweltbedingungen angepasst waren und somit einen Vorteil hatten.</p> <p><input type="checkbox"/> Weil diese Alpenruspen gemerkt haben, dass sie sich anpassen müssen, um zu überleben.</p> <p><input type="checkbox"/> Weil die Natur sie angepasst hat, damit sie einen Vorteil haben und überleben.</p>		
<p>4. Überprüfung der Vermutungen! Markiere, welche sich bestätigen und welche sich widerlegen lassen?</p>		
<p>5. Beantwortung der Unterrichtsfrage</p> <hr/> <hr/> <hr/>		

Abbildung 17: Unterrichtsbegleitendes Protokoll zur Simulation "Entwicklung der Alpenruspen".

Anschließend soll am Gruppentisch kollaborativ eine Hypothese zur Untersuchung festgelegt werden, welche mithilfe der Simulation überprüft werden kann. Somit soll im folgenden Unterrichtsverlauf die Simulation „Entwicklung der Alpenruspen“ zum Aufbau eines Verständnisses von allopatrischen Artbildungsprozessen eingesetzt werden. Nach der Durchführung der Simulation sollen die Schülerinnen und Schüler ihre Ergebnisse anhand des Protokolls reflektieren und beantworten, wie sich die Verschiebung der Teilpopulation hin zu einer Anpasstheit an die vorherrschenden Standortbedingungen entwickelt hat. Wichtig zum Verständnisaufbau allopatrischer Artbildungsprozesse ist die Erkenntnis zufälliger Entwicklung der isolierten Teilpopulationen in einer zufällig gegebenen Umwelt.

Dieses Verständnis soll geschaffen werden, indem die Schülerinnen und Schüler die Entwicklung der voneinander getrennten Teilpopulationen der Alpenruspen miteinander vergleichen und die Zufälligkeit der Entwicklungsschritte, die zu der momentanen Angepasstheit geführt haben, erkennen. Dafür soll die Untersuchungshypothese zunächst in Einzelarbeit und anschließend in der Tischgruppe ausgewertet und begründet werden. Im Anschluss werden die Ergebnisse aller Gruppen an der Tafel gesammelt. Die Lernenden sollen den Grund der unterschiedlichen Ergebnisse diskutieren und die Unvorhersehbarkeit der Entwicklung der isolierten Populationen erkennen, da sich sowohl Umweltereignisse als auch Variationen der Pflanzen zufällig ergeben. Da das kooperative Lernen und der aktive Austausch zum Phänomen zur Entwicklung der eigenen Vorstellung beitragen (Osborne 2010, Lin et al. 2016), soll anschließend die Unterrichtsfrage nochmals in der Tischgruppe beantwortet werden. Um wiederholt die eigene Vorstellung zum Unterrichtsgegenstand zu überprüfen, werden die Erkenntnisfragen des Unterrichtsprotokolls (Abb. 17) zunächst in Einzelarbeit beantwortet und darauffolgend im Plenum besprochen.

In der abschließenden Modellkritik sollen die Kinder die Simulation bewusst von der Wirklichkeit abgrenzen. Dazu muss der oder die Simulationsleitende unterstützende Gesprächsimpulse geben. Zum einen soll der Zeitstrahl am oberen Rand des Simulationsfeldes als Anregung genutzt werden, um über die Unterschiede der zeitlichen Dimension der Simulation im Gegensatz zur Realität zu reflektieren. Außerdem sollen der stetige Anstieg der Teilpopulationen und die eingeschränkte Möglichkeit der Variation in der Simulation diskutiert werden. Weitere zur Wirklichkeit abzugrenzende Aspekte des Simulationsmodells, wie die vollständige Reduktion einiger Varianten aufgrund bestimmter Ereignisse, sollen dabei unbedingt besprochen werden.

d) Übersicht der Unterrichtsdoppelstunde

Zur Übersicht werden folgend die unterrichtlichen Phasen mit Zeitvorschlägen und kurzen inhaltlichen Schwerpunkten tabellarisch dargestellt (Tab. 4). Ein ausführlicher didaktisch-methodischer Kommentar sowie eine Materialliste befinden sich jeweils unter Punkt a) bzw. b) in diesem Unterkapitel.

Tabelle 4: Übersicht über Phasen, Zeit und inhaltliche Schwerpunkte zur Unterrichtsdoppelstunde „Entwicklung der Alpenruspen“.

Phase	Zeit	Inhaltliche Schwerpunkte
Begrüßung und Vorstellung	3 min	Klasse ansprechen, Stundenablauf vorstellen
Einführung	12 min	Alpenruspen vorstellen und Standortbedingungen im Gebirge erklären
Stundenfrage ableiten	5 min	Stundenfrage formulieren: Wie entwickeln sich die getrennten Teilgruppen der Alpenruspen auf den beiden Gebirgsseiten?
Einführung Simulation	10 min	Material und Simulationsablauf vorstellen, Dokumentation erklären
Hypothesen aufstellen	10 min	Hypothesen in Einzelarbeit formulieren lassen, Gruppen einigen sich auf Hypothese zur Überprüfung
Simulationsdurchführung	20 min	Simulieren der Entwicklung der Teilpopulationen auf den beiden Gebirgsseiten
Ergebnisbewertung	14 min	Ergebnisse der Gruppen vergleichen und diskutieren lassen, Erkenntnisse aus den Simulationsrunden an der Tafel sammeln
Hypothesenbewertung, Beantwortung der Stundenfrage	10 min	Untersuchungshypothese auswerten, Beantwortung der Stundenfrage
Modellkritik	6 min	Grenzen des Simulationsmodells besprechen, Vergleich: Modell – Wirklichkeit

e) Hinweise der Expertenbefragung

Im Vortest der Simulation „Entwicklung der Alpenruspen“, als Expertenbefragung (wie oben beschrieben), ergaben sich folgende Schritte zur Optimierung dieser vor der ersten Erprobung mit Lernenden der Sekundarstufe I:

- Simulationsdurchführung: Anstatt die Lernenden in großen Gruppen auf wenigen Spielfeldern simulieren zu lassen, sollen kleine Gruppen mit fester Aufgabenzuteilung festgelegt werden. Durch eine kleinere Gruppengröße wird die aktive Teilnahme aller Gruppenmitglieder unterstützt. Zudem soll das Ablaufschema (Abb. 16) so angepasst werden, dass die Lernenden Schritt für Schritt durch die Simulation geführt werden und zu jeder Zeit wissen, was genau sie zu tun haben.
- Reflexionsfragen: Die Fragen zur Reflexion der eigenen Vorstellungen sollen besser vor Simulationsbeginn als Anregung zur Hypothesenbildung und danach zur Reflexion des Modells gestellt werden, da sie ansonsten den Spielfluss unterbrechen.

- Ereigniskarte: Für den Einsatz der Ereigniskarten sollen Symbole zur Unterstützung genutzt werden, um Formulierungen möglichst kurz und die Komplexität so gering wie möglich zu halten. Dies ist essentiell für das Spielverständnis.
- Protokoll: Das unterrichtsbegleitende Protokoll (Abb. 17) soll einfache, angeleitete Aufgabenstellungen beinhalten, welche das Lernen evolutionärer Mechanismen während der Durchführung der Unterrichtssequenz unterstützen und das Verständnis der Simulation fördern können. Dabei sollen die eigenen Vorstellungen aktiviert und hinterfragt werden können.

Die aufgeführten sowie weitere Optimierungen, welche sich aus den Erprobungsdurchgängen I-III (Kapitel 7.2.3, 7.3.3, 7.4.3) ergeben, sollen in der Präsentation der Ergebnisse (Kapitel 7.7) dargestellt werden.

5.1.3 Simulation „Isolation der Kernbeißer“

a) Didaktisch-methodische Hinweise

Der Ablauf dieser Unterrichtsdoppelstunde orientiert sich an denen der vorangegangenen Stunden, um gezielt das Verständnis für Selektions- und Anpassungsprozesse zu fördern. Auch die Methode von wechselnden Phasen der Einzel- und Gruppenarbeit (Bruckermann & Schlüter 2017) wiederholt sich, damit jeder Lernende in den Unterrichtsprozess eingebunden wird und sich dennoch mit weiteren Argumenten auseinandersetzen muss, um die Vorstellungsentwicklung zu fördern (Lin et al. 2016).

Im Unterrichtsgeschehen soll das bisher Erlernte genutzt werden, um allopatrische Isolationsmechanismen bei geografisch isolierten Teilpopulationen konkret zu thematisieren.

Für das Verständnis der Simulation „Isolation der Kernbeißer“ müssen sich die Lernenden sowohl mit der zufälligen Varianz innerhalb einer Population als auch mit den Merkmalen einer gemeinsamen biologischen Art und dem Prozess einer geografischen Isolation intensiv auseinandersetzen. Im Plenum sollen zunächst zentrale Aussagen wie die Zufälligkeit von Mutationen und die Auswirkungen individueller Unterschiede auf den Fortpflanzungserfolg aus der Simulation „Nahrungstransport der Kernbeißer“ wiederholt werden, um den Schülerinnen und Schülern das Anknüpfen an die neuen Unterrichtsinhalte zu erleichtern und den Zugang zu dem neuen Wissen zu erhöhen (Roelle et al. 2023).

Da verschiedene Alltagsvorstellungen im Zusammenhang mit der Merkmalsentwicklung und auch der Variation von Individuen geäußert werden (Kapitel 7), ist während der Einführung besonders dieselbe Artzugehörigkeit der isolierten Teilpopulationen hervorzuheben. Außerdem muss genügend Zeit für Fragen zum Aufbau und dem Ablauf der Simulation eingeplant werden. Um zunächst die eigene Vorstellung zum Themeninhalt zu aktivieren, sollen Vermutungen zum Simulationsergebnis notiert werden, wobei diese durch den anschließenden argumentativen Austausch in der Tischgruppe überdacht werden können, was die eigene Konzeptentwicklung unterstützen soll (Osborne 2010).

Speziell beim Vergleich der Ergebnisse nach der Durchführung der Simulation sollen die Lernenden die Unvorhersehbarkeit der Entwicklung der isolierten Teilpopulationen mit der Zufälligkeit der Merkmalsvariation und der gegebenen Umweltsituation in Verbindung bringen. Das Erlernte soll darauffolgend zur Diskussion über allopatrische Artbildungsprozesse genutzt werden. In der abschließenden Modellkritik ist die Abgrenzung zur Realität besonders wichtig, um den Schülerinnen und Schülern die Grenzen des Modells aufzuzeigen (Saari & Viiri 2003, Trier et al. 2021).

b) Simulation: Aufbau, Regelwerk, Material

Der Aufbau und Ablauf der Simulation „Isolation der Kernbeißer“ folgt dem Ablaufschema der Simulation „Nahrungstransport der Kernbeißer“ (Kapitel 5.1.2). Die Erweiterung besteht in der Trennung der Ausgangspopulation der Kernbeißer. Somit soll auch die Schulklasse in zwei Gruppen aufgeteilt werden, sodass eine Gruppe im Klassenraum und die andere Schülergruppe nach Möglichkeit in einem benachbarten Raum (oder im Schulhof) die Entwicklung der getrennten Teilpopulationen der Kernbeißer ohne Sichtkontakt zur anderen Gruppe untersucht. Dabei simuliert eine Schülergruppe veränderte Umweltbedingungen, da diese Teilpopulation der Kernbeißer auf einer Insel geografisch isoliert wurde. Dort finden die Kernbeißer als Nahrung nur noch kleine Nüsse/Kerne vor (dargestellt durch Kürbiskerne in der Nahrungskiste). Die Lernenden sollen demnach Kürbiskerne mit dem Schnabel ins eigene Nest transportieren. Währenddessen simuliert die andere Schülergruppe den Nahrungstransport der Kernbeißer in gewohnter Umgebung, sodass dieser (wie in Kapitel 5.1.1 beschrieben) simuliert wird, indem Haselnüsse transportiert werden sollen. Die Simulation läuft in beiden Räumen parallel ab, sodass die Lernenden mit ihrem jeweiligen Schnabelwerkzeug so viel Nahrung wie möglich nach den bekannten Regeln der Simulation „Nahrungstransport der Kernbeißer“ (Kapitel 5.1.1) zum Nest transportieren sollen. Ist die

Zeit einer Transportrunde abgelaufen, soll die Nahrung im Nest und folgend die überlebenden Kernbeißer nach bekanntem Schema (Kapitel 5.1.1) ausgezählt werden. Anschließend sollen die Nachkommen der überlebenden Kernbeißer bestimmt und eine Mutation je Schnabelvariante zufällig aus dem Mutationssäckchen gezogen werden. Die Ergebnisse jeder Simulationsrunde werden dabei am Tafelprotokoll notiert. Nach vier bis fünf Generationen sollte bereits eine Verschiebung der Ausgangspopulation zu beobachten sein. Die Lernenden sollen nach der Durchführung der Simulation zunächst in der isolierten Teilpopulation reflektieren, wie sich die Kernbeißer aufgrund der zufälligen Gegebenheiten entwickelt haben. Um im späteren Unterrichtsverlauf die Ergebnisse beider Teilpopulationen miteinander zu vergleichen, werden die Ergebnisse aus den Simulationsrunden beider Gruppen an der Tafel festgehalten. Damit alle Lernenden veränderte Umweltbedingungen simulieren und die Zufälligkeit der Anpasstheit erfahren können, sollen die Schülergruppen den Raum tauschen und die Umweltbedingungen der jeweils anderen Kernbeißergruppe simulieren. Nach der erneuten Durchführung der Simulation „Isolation der Kernbeißer“ (parallel in beiden Räumen) werden alle Ergebnisse der simulierten Entwicklung der geografisch getrennten Teilpopulationen festgehalten und zusammen reflektiert. Dabei sollen die Schülerinnen und Schüler, als Ursache der unterschiedlichen Ergebnisse, die zufällige Variation der Individuen mit der zufälligen Anpasstheit an momentan herrschende Umweltbedingungen in Verbindung bringen und die Unvorhersehbarkeit der Entwicklung der isolierten Teilpopulationen erkennen können. Nachfolgend kann über die Entwicklung der Teilpopulationen bei anhaltender Isolation und die Artzugehörigkeit dieser nach Jahrhunderten gemeinsam im Plenum diskutiert werden.

Das Material der Simulation „Isolation der Kernbeißer“ gleicht dem Material der Simulation „Nahrungstransport der Kernbeißer“ (Kapitel 5.1.1). Dabei muss das Simulationsmaterial in doppelter Ausführung vorhanden sein, da die Simulation „Isolation der Kernbeißer“ parallel in zwei Schülergruppen durchgeführt werden soll. Die Nahrungskiste einer Schülergruppe wird hierbei mit Kürbiskernen (anstatt der Haselnüsse) bestückt. Dies simuliert die veränderten Umweltbedingungen, welche eine der geografisch getrennten Teilpopulation der Kernbeißer vorfindet.

c) *Durchführung der Unterrichtsdoppelstunde*

Die Simulation „Isolation der Kernbeißer“ sollte die zuvor behandelte Simulation „Nahrungstransport der Kernbeißer“ ergänzen und das bereits Erlernte aus den vorangegangenen Unterrichtsstunden in einem Szenario mit nun geografisch isolierten Teilpopulationen der Kernbeißer erweitern. Die Lernenden sollen beobachten wie sich isolierte Teilpopulationen bei veränderten Umweltverhältnissen entwickeln können und dabei ihr Wissen aus dem vorangegangenen botanischen („Entwicklung der Alpenruspen“) auf das bekannte zoologische Szenario transferieren. Die Unterrichtsdoppelstunde beginnt mit einer kurzen Wiederholung der Erkenntnisse aus der Simulation „Nahrungstransport der Kernbeißer“, indem die Lernenden im Plenum zunächst diskutieren sollen, wie sich der Schnabel der Kernbeißerpopulation nach vielen Generationen entwickelt hat. Dazu soll noch einmal das ausgefüllte Tafelprotokoll der Simulation „Nahrungstransport der Kernbeißer“ angehängt werden, um die Entwicklung der Population aufzuzeigen und die zentralen Erkenntnisse zu wiederholen.

Über die PowerPoint-Präsentation „Isolation der Kernbeißer“ (Anhang A: 4.Isolation der Kernbeißer) werden folgend männliche und weibliche Blaukehlchen gezeigt. Die Lernenden sollen Gemeinsamkeiten und Unterschiede der präsentierten Vögel notieren und die Frage nach der Artzugehörigkeit beantworten. Die Antworten werden im Plenum diskutiert. So sollen Vorstellungen zum Artbegriff sichtbar gemacht werden, bevor der biologische Artbegriff eingeführt wird. Anschließend sollen wesentliche Kennzeichen einer gemeinsamen biologischen Art besprochen werden, um zum Abschluss der Unterrichtsdoppelstunde über die Artzugehörigkeit der isolierten Teilpopulationen diskutieren zu können.

Im Anschluss wird die geografische Trennung einer Kernbeißerpopulation beschrieben, die während ihres Vogelzuges in einen heftigen Sturm geraten und in weit entfernte Gebiete verweht worden ist. Dabei wurde eine Teilpopulation der Kernbeißer auf eine Insel verweht, wo diese als Nahrung nur noch sehr kleine Nüsse vorfinden. Mithilfe der PowerPoint-Präsentation soll die geografische Isolation mit der Konsequenz einer Fortpflanzungsbarriere anschaulich beschrieben werden (Anhang A: 4.Isolation der Kernbeißer). Folgend soll die Unterrichtsfrage „Wie entwickeln sich die getrennten Teilgruppen der Kernbeißer?“ gemeinsam formuliert und in das Unterrichtsprotokoll (Abb. 18) eingetragen werden.

Name: _____ Klasse: _____

Isolation der Finken

1. Unterrichtsfrage(n)

2. Vermutungen zum Spielverlauf (Hypothesen):

3. Erkenntnisse aus den Spielrunden

Warum sind es ZWEI Finken-Gruppen und nicht mehr nur eine Population?

Die beiden Finken-Gruppen wurden durch ein Umweltereignis zufällig getrennt.

Die Finken-Gruppen haben sich aufgeteilt, damit sie bessere Überlebenschancen haben.

Die Finken-Gruppen wollten ein neues Gebiet besiedeln, um sich weiter auszubreiten.

Welcher Kontakt besteht zwischen den beiden Finken-Gruppen?

Die beiden Gruppen können sich jederzeit begegnen und miteinander kommunizieren.

Die beiden Gruppen leben zwar getrennt, können sich aber noch miteinander fortpflanzen.

Die beiden Gruppen leben soweit voneinander getrennt, dass kein Austausch stattfindet.

4. Überprüfe deine Vermutungen! Welche lassen sich bestätigen, welche widerlegen?

Name: _____ Klasse: _____

Isolation der Finken

Merkmale einer biologischen Art:

- ❖ **Fortpflanzung** der erwachsenen Tiere möglich
- ❖ **Nachkommen** entstehen
- ❖ Nachkommen sind **fortpflanzungsfähig**
- ❖ Räumliche Trennung der Fortpflanzungsgemeinschaft (Isolation)

Abbildung 18: Beidseitiges Unterrichtsprotokoll zur Simulation „Isolation der Kernbeißer“.

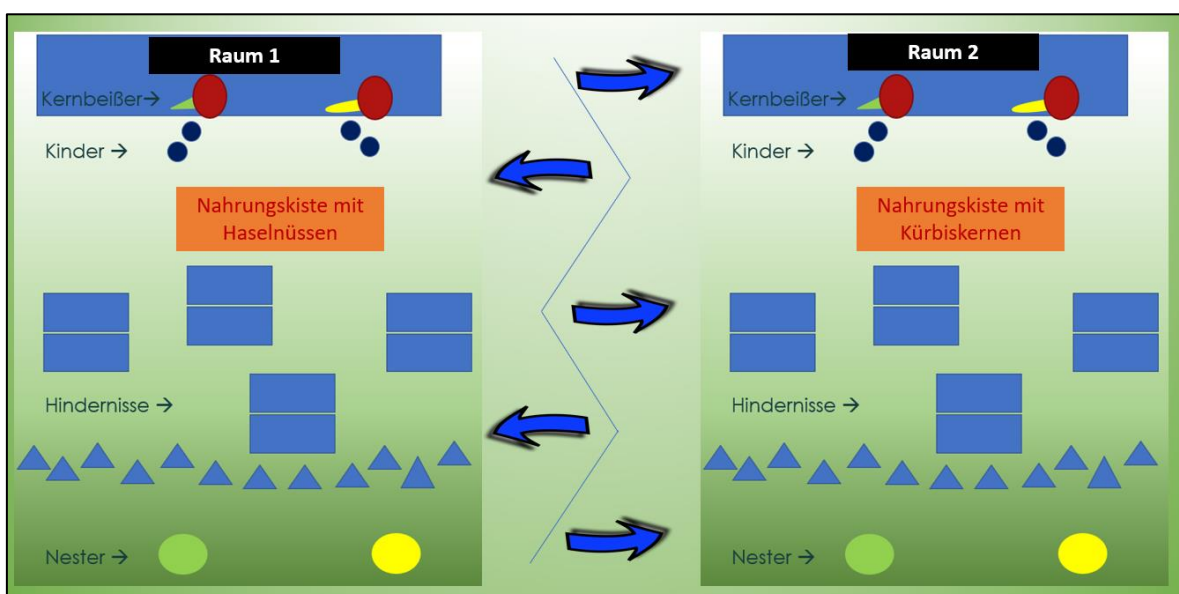


Abbildung 19: Schematische Darstellung der Simulation „Isolation der Kernbeißer“.

Anschließend wird die Simulation zur Klärung der Frage vorgestellt (Abb. 19). Die Lernenden sollen nach der Einführung in die Simulation in Einzelarbeit zwei Hypothesen zur Entwicklung der Teilpopulationen aufstellen und sich am Gruppentisch gemeinsam auf eine Hypothese zur Untersuchung einigen.

Nachfolgend wird die Schulklasse in zwei Gruppen in verschiedene Räume aufgeteilt. Jede Schülergruppe soll eine Teilpopulation der Kernbeißer nach bekanntem Ablauf der Simulation „Nahrungstransport der Kernbeißer“ (Kapitel 5.1.1) simulieren. Durch die geografische Trennung der Teilpopulationen herrschen hierbei veränderte Umweltbedingungen, welche durch das unterschiedliche Nahrungsangebot simuliert werden. Die Entwicklung der isolierten Teilpopulationen soll nach mehreren Generationen zunächst in der geteilten Schülergruppe reflektiert werden. Anschließend tauschen die Lerngruppen den Raum, sodass sie jeweils die Umweltbedingungen der anderen Teilpopulation der Kernbeißer simulieren und selbst erfahren wie diese sich entwickeln können. Nach der erneuten Durchführung der Simulation „Isolation der Kernbeißer“ sollen die Schülerinnen und Schüler erst ihre gesammelten Erkenntnisse aus der Teilgruppe besprechen. Im folgenden Unterrichtsgeschehen soll die Schulklasse gemeinsam alle Gruppenergebnisse diskutieren, indem die Tafelprotokolle zusammengeführt werden. Beispielsweise können diese durch ein Foto auf die Powerpoint-Präsentation übertragen und für alle sichtbar dargestellt werden. Der/die Simulationsleitende soll die Diskussion der Ergebnisse durch instruktionale Unterstützung in Form von reflexionsanregenden Fragen begleiten, um den Erkenntnisprozess zu fördern. Jede/r Lernende soll daraufhin die zuvor festgelegte Untersuchungshypothese in Einzelarbeit auswerten. Das sorgt für eine erneute Konfrontation mit der eigenen Vorstellung und ordnet diese im unterrichtlichen Kontext ein. Auch die Unterrichtsfrage soll jeder Schüler und jede Schülerin eigenständig beantworten, nachdem verschiedene Beiträge zur Hypothesenauswertung gemeinsam im Plenum diskutiert wurden. Im Anschluss sollen Argumente zur Artzugehörigkeit der getrennten Teilpopulationen zusammengetragen und die Möglichkeit zur Artbildung durch geografische Isolation besprochen werden.

Zum Abschluss der Unterrichtsdoppelstunde findet eine Modellkritik statt. Dabei sollen neben wiederholenden Aspekten aus der Modellkritik der Simulation „Nahrungstransport der Kernbeißer“, vor allem Unterschiede zu den veränderten Umweltbedingungen in Folge einer geografischen Isolation von Teilpopulationen herausgestellt werden.

d) *Übersicht der Unterrichtsdoppelstunde*

Zur Übersicht werden folgend die unterrichtlichen Phasen mit Zeitvorschlägen und kurzen inhaltlichen Schwerpunkten tabellarisch dargestellt (Tab. 5). Ein ausführlicher didaktisch-methodischer Kommentar sowie eine Materialliste befinden sich jeweils unter Punkt a) bzw. b) in diesem Unterkapitel.

Tabelle 5: Übersicht über Phasen, Zeit und inhaltliche Schwerpunkte zur Unterrichtsdoppelstunde „Isolation der Kernbeißer“.

Phase	Zeit	Inhaltliche Schwerpunkte
Begrüßung und Vorstellung	2 min	Klasse ansprechen und Stundenablauf vorstellen
Wiederholung	6 min	Wiederholung der zentralen Erkenntnisse der Simulation „Nahrungstransport der Kernbeißer“
Einführung	8 min	Vogelbilder zeigen und Unterschiede & Gemeinsamkeiten diskutieren, biologischen Artbegriff einführen
Phänomen	8 min	Geografische Trennung der Teilpopulationen und die damit verbundene Fortpflanzungsbarriere erklären
Stundenfrage ableiten	4 min	Stundenfrage formulieren: Wie entwickeln sich die getrennten Teilgruppen der Kernbeißer?
Simulations-einführung	5 min	Erklärung des Ablaufes der Simulationsrunden & Regeln, Veränderte Umwelt (Nahrung) thematisieren
Hypothesen aufstellen	10 min	Hypothesen in Einzelarbeit formulieren, Untersuchungshypothese in Gruppe festlegen
Aufbau der Simulation	5 min	Schulklasse in zwei Gruppen und separate Räume aufteilen
Simulations-durchführung	22 min	Simulieren der Entwicklung der Teilpopulationen parallel ohne (Sicht-) Kontakt, Reflexion der Transportrunden zunächst in den (räumlich) getrennten Gruppen, Tausch der Lerngruppen und erneute Simulations-durchführung
Ergebnisauswertung	10 min	Ergebnisse über Foto auf Powerpoint übertragen, Unterschiedl. Gruppenergebnisse reflektieren, Ergebnisse zur Thematisierung der Unvorhersehbarkeit der Entwicklung nutzen,
Hypothesen-auswertung, Stundenfrage	10 min	Auswertung der aufgestellten Hypothesen und Beantwortung der Stundenfrage, Erkenntnisfragen in Einzelarbeit beantworten und im Plenum besprechen
Artbegriff Modellkritik	Haus-auf-gabe	Diskussion über Artzugehörigkeit der isolierten Teilpopulationen, Möglichkeit zur Artbildung bei anhaltender Isolation besprechen, Vergleich: Modell – Wirklichkeit

5.2 Verankerung in den Bildungsstandards und Kompetenzschwerpunkte

Bereits 2004 wurden von der Kultusministerkonferenz bundesweit geltende Bildungsstandards auch für den Biologieunterricht des Mittleren Bildungsabschlusses verabschiedet (Beschlüsse der Kultusministerkonferenz 2004). Bildungsstandards legen fachspezifische Ziele in Form von anzustrebenden Lernergebnissen fest (Beschluss der Kultusministerkonferenz 2020). Diese Standards sind den Kompetenzbereichen des Faches zugeordnet. Dabei beschreibt eine Kompetenz sowohl die notwendigen Lernergebnisse als auch die Bereitschaft spezifische Probleme zu lösen und dieses neue Wissen in einem variablen Kontext erfolgreich einsetzen zu können (vgl. Berck & Graf 2018, Weinert 2002). Obwohl die evolutionäre Entwicklung und die Anpasstheit und Variabilität von Lebewesen in den formulierten Standards des Faches Biologie enthalten sind, zeigten die exemplarisch bereits analysierten hessischen Lehrpläne oftmals ein gegenteiliges Bild (Sommer 2017). Hier wurde Evolution zumeist erst in höheren Klassen als eigenständiger Inhalt unterrichtet. Es wurde somit versucht, das Grundverständnis im Nachhinein zu legen. Zu diesen Defiziten findet die Leopoldina klare Worte: In ihrer umfassenden Stellungnahme zur evolutionsbiologischen Bildung in Schule und Hochschule (Leopoldina 2017) empfiehlt sie Konzepte der Evolutionstheorie in den Curricula der Schulen früher und umfassender zu berücksichtigen (Hacker 2017). Zur nachhaltigen Umgestaltung des evolutionsbiologischen Unterrichts sollte ein alle Klassenstufen umfassendes Curriculum konzipiert werden, welches abstrakte und auch konzeptionelle Zusammenhänge mit anschaulichen Beispielen verknüpft (Leopoldina 2017). Um notwendige Veränderungen einzuleiten, wurden Maßnahmen vorgeschlagen wie die Erarbeitung von Unterrichtsmaterialien jenseits von traditionellen Schulbüchern (Leopoldina 2017).

Im Juni 2024 wurden Weiterentwicklungen der Bildungsstandards in den Naturwissenschaften für die Sekundarstufe I veröffentlicht (KMK 2024). Hierbei wurden die verbindlichen Inhalte auch um Aspekte zur „Vielfalt und Veränderung von Lebewesen“ erweitert, wobei in diesem Zusammenhang auch die „Anpasstheit“ und „Artbildung“ gesondert genannt werden (KMK 2024). Um die Fachinhalte aus unterschiedlichen Perspektiven zu betrachten und miteinander zu vernetzen, wurden außerdem die Basiskonzepte zur Erarbeitung dieser Inhalte ausgeweitet. Hierbei ist neben der „Individuelle[n] Entwicklung“ und anderen vor allem die „Evolutive Entwicklung“

hervorzuheben (KMK 2024). Durch den Bezug auf grundlegende Konzepte wie genetische Variabilität und Selektion sollen Ursachen für die Entwicklung von Arten erarbeitet werden (KMK 2024).

Um die in dieser Arbeit entwickelten Materialien sinnvoll in den Unterricht einzubinden, sollen im Folgenden spezifische Bildungsstandards aufgezeigt werden, die bei den Lernenden während der Durchführung des Unterrichtsarrangements aufgebaut und gefestigt werden sollen. Dabei sind die inhaltlichen Aspekte dem Basiskonzept „Evolutive Entwicklung“ zugeordnet, da die Schülerinnen und Schüler lebendige Systeme und ihre dynamischen Veränderungen in einem Ursachen-Wirkungsgefüge untersuchen (Kapitel 5). Im Bereich „Erkenntnisgewinnungskompetenz“ sollen die Lernenden in der Unterrichtssequenz Fragestellungen von einem Phänomen ableiten und darauf bezogene Untersuchungshypothesen formulieren (KMK 2024). Anschließend führen sie die jeweilige Simulation durch, um die aufgestellten Hypothesen zu untersuchen und die Fragestellung zu beantworten. Die Simulationen stellen dabei Modellversuche eines komplexen und sich wandelnden Systems dar, wobei die Lernenden zum Teil selbst als Akteure in der Simulation fungieren (Kapitel 5). Dabei reflektieren sie die Generationenabfolgen kriterienbezogen, bestimmen die Überlebenden und vergleichen die Population am Ende der jeweiligen Simulation mit der Ausgangspopulation. Abschließend werten die Schülerinnen und Schüler die erarbeiteten Daten aus und beantworten die Fragestellung. Durch die Handlungsorientierung im Unterricht wird den Lernenden ermöglicht, die Wirkung von zufälligen Merkmalsausprägungen selbst wahrzunehmen (Sommer & Graf 2024). Hier muss zum Abschluss der jeweils konzipierten Simulation zwingend eine Modellkritik erarbeitet werden, um die Eigenschaften zum Realobjekt abzugrenzen (Saari & Viiri 2003, Beschlüsse der Kultusministerkonferenz 2004, Trier et al. 2021).

Im Bereich „Sachkompetenz“ sollen die Lernenden nach den jeweiligen Simulationen den Verlauf und die Ursache der entsprechenden Merkmalsverschiebung in einer Population erklären können. Dazu sollen sie die zufällige Variabilität von Individuen einer Art beschreiben (Beschlüsse der Kultusministerkonferenz 2004). Zudem sollen sie beobachten, wie sich ein Merkmal unter gegebenen Bedingungen auf den Fortpflanzungserfolg auswirkt, um den Prozess einer Anpasstheit zu erklären. Die Lernenden sollen des Weiteren den Artbildungsprozess bei geografischer Isolation von Teilpopulationen beobachten und beschreiben, unter welchen Bedingungen eine neue Art entstehen kann.

Im Bereich „Kommunikationskompetenz“ sollen die Schülerinnen und Schüler die zuvor durchlaufenen Simulationen situationsgerecht beschreiben können. Dabei sollen sie die Ergebnisse der Simulationen im eigenen Protokoll festhalten und mit den gewonnenen Daten zur Fragestellung argumentieren (KMK 2024). Außerdem sollen die Lernenden das jeweilige biologische Phänomen erklären, die eigene Vorstellung dazu abrufen und im jeweiligen Kontext darüber verfügen können.

Dabei ist die Evolution mit ihren komplexen Mechanismen zu Selektions-, Anpassungs- und Isolationsprozessen das Inhaltsfeld, welches den Bildungsstandards und Kompetenzbereichen für dieses Unterrichtsarrangement zugeordnet ist.

Mögliche Unterrichtsziele, die sich aus den zuvor dargestellten Standards ergeben können, werden beispielsweise von Graf & Schmidt-Salomon (2017) für die Unterrichtsstunde „Kugelhausschnecke“ (Kapitel 7.7.1) beschrieben. Nach den Autoren sollen die Schülerinnen und Schüler „einen ersten Einblick erhalten, dass Evolution durch einen selektiven Fortpflanzungserfolg bedingt und bestimmt wird.“ (Graf & Schmidt-Salomon 2017, S. 69). Zudem sollen die Abhängigkeit der Anpasstheit von Umweltbedingungen sowie der bessere Fortpflanzungserfolg von besser angepassten Individuen erfahren werden (Graf & Schmidt-Salomon 2017). Die Autoren beschreiben weiterhin, dass die Lernenden nach der Durchführung der Simulation zum einen in der Lage sind, den Anpassungsprozess über die Generationenabfolge darzustellen und zum anderen zu beschreiben, inwiefern sich die Zusammensetzung dieser im Laufe der Simulationsrunden verändert hat (Graf & Schmidt-Salomon 2017). Weitere Unterrichtsziele sind, dass die Schülerinnen und Schüler sowohl die zeitliche Entwicklung einer Population unter Selektionsdruck sowie die Verschiebung dieser bei veränderten Umweltbedingungen erklären können (Graf & Schmidt-Salomon 2017). An dieser Stelle muss erwähnt werden, dass die Unterrichtsziele im Einzelnen an das Vorwissen und das Leistungsniveau der einzelnen Kinder angepasst werden müssen. Denn mit dem Erwerb dieser Kompetenzen und Standards sollen die Lernenden nicht nur das spezifische Wissen zu komplexen Sachverhalten erwerben, sie sollen es auch mit anderen Inhalten vernetzen und für ein umfassendes Verständnis biologischer Prozesse nutzen (Beschlüsse der Kultusministerkonferenz 2004, KMK 2024).

6 Material und Methoden der Untersuchung

Im nachfolgenden Kapitel wird der Aufbau der Studie, der Ablauf und das verwendete Material zur Untersuchung und die Aufbereitung der gewonnenen Daten beschrieben.

6.1 Ablauf der Untersuchung

Der Ablauf der Studie orientiert sich im Rahmen der fachdidaktischen Entwicklungsforschung am Dortmunder Modell (Kapitel 3.4). Dabei wird das im Forschungsprozess entwickelte Unterrichtsdesign evaluiert, modifiziert und optimiert (Kapitel 7) und das Antwortverhalten der Schülerinnen und Schüler anhand der geplanten Interviews und Fragebögen im Prä-Posttest-Design analysiert. Die Datenerhebung mittels Fragebogen dient dabei der Erfassung der Vorstellungen der gesamten Schulklasse, wobei die Datenerhebung mittels Interviews einzelne Schülervorstellungen detailliert aufzeigen soll. Durch die verschiedenen Methoden der Datenerhebung sollen zum einen Veränderungen in der Antwortstruktur der Lernenden sichtbar gemacht und zum anderen das Unterrichtsdesign hinsichtlich des verwendeten Materials, der eingesetzten Methodik und Didaktik evaluiert und weiterentwickelt werden. In der hiesigen Studie soll der Zyklus der Fachdidaktischen Entwicklungsforschung im Dortmunder Modell mehrfach durchlaufen werden. Dabei legen die Autoren (Prediger et al. 2012) keine allgemein gültige Zahl an Erprobungszyklen fest. Diese Arbeit sieht drei Erprobungszyklen vor (Abb. 20). Hierbei sollen zunächst Einblicke in die Vorstellungen der Lernenden und die Interaktion untereinander gesammelt und die Unterrichtssequenz auf ihre Tauglichkeit im Unterricht hin untersucht werden. Im zweiten Zyklus soll getestet werden, ob sich die entwickelte Strukturierung und die Simulationen eignen, um fachlich korrekte Vorstellungen zu initiieren. Nach der Auswertung der gewonnenen Daten sollen Verbesserungen am Material, der Didaktik und Methodik (Kapitel 7.2.3, 7.3.3, 7.4.3) vorgenommen werden, um nach drei Erprobungszyklen eine Veränderung in der Antwortstruktur der Lernenden hin zu wissenschaftlichen Erklärungsmustern zu erzielen (Kapitel 8). Dabei soll die lokale Theorie zum Lernen von Ursachen- und Wirkungszusammenhängen evolutionärer Entwicklung weiterentwickelt werden, sodass am Ende der Untersuchung als Forschungsprodukt ein optimiertes und evaluiertes Unterrichtsdesign zur Verwendung im Unterricht zur Verfügung steht.

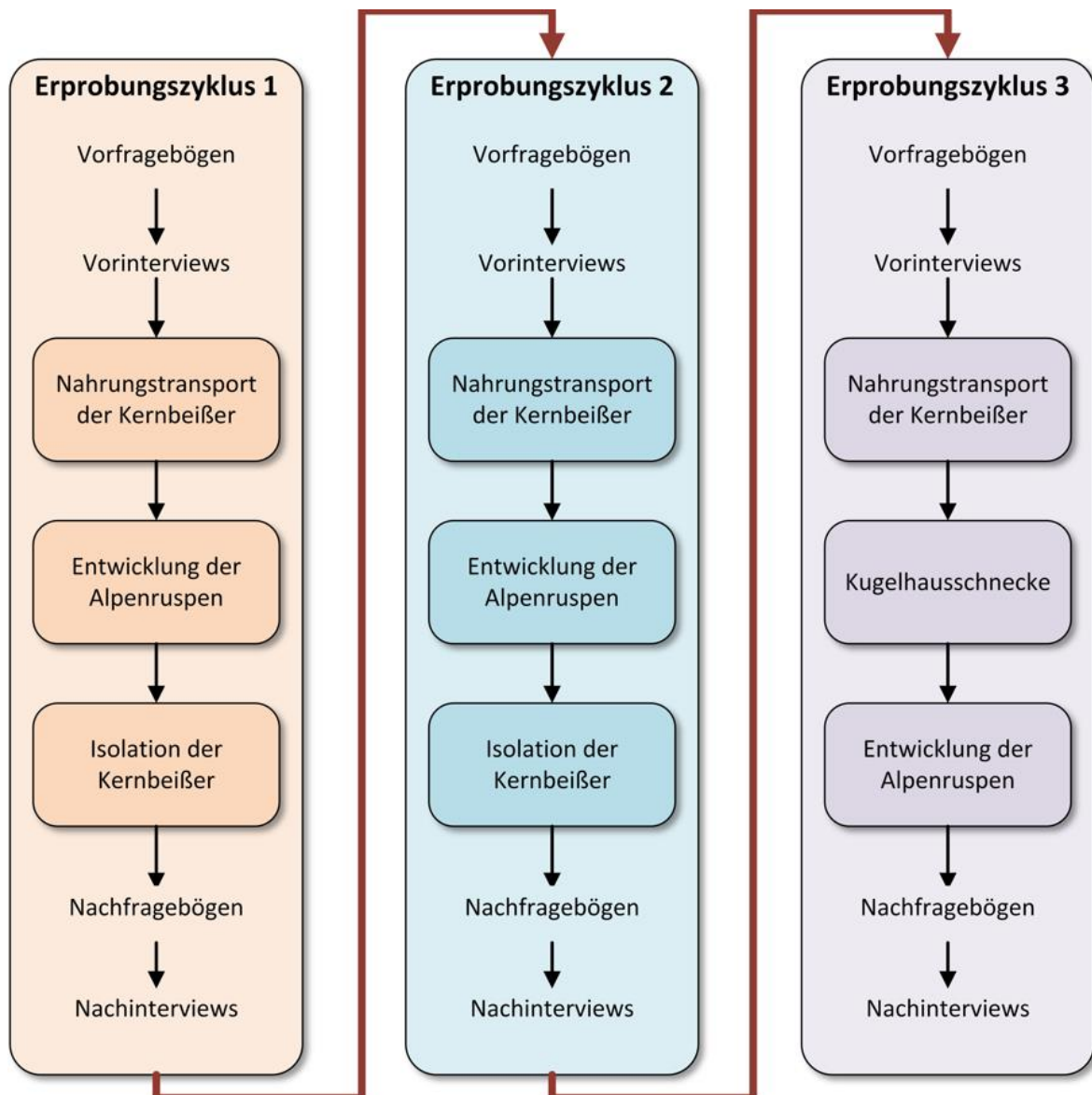


Abbildung 20: Darstellung der Strukturierung der Erprobungszyklen I-III.

Während der Erprobung der Unterrichtssequenz wird außerdem untersucht, ob und wie sich die Antwortstruktur der Lernenden verändert. Jeder Erprobungszyklus soll jeweils mit einer Schulklasse im regulären Unterricht durchgeführt werden. Da die bereits vielfach bestätigten prominenten Alltagsvorstellungen von Lernenden erarbeitet wurden (Kapitel 3.6, 7), die Unterrichtssequenz in Abstimmung mit diesen konzipiert wurde (Kapitel 5) und die jeweils eingesetzten Simulationen zuvor evaluiert wurden (Kapitel 5.1), fand die Erprobung direkt im Klassenverband statt. So sollen Aussagen zur Durchführung und zum Einsatz der Unterrichtssequenz im regulären Biologieunterricht ermöglicht werden.

Zu Beginn jeder Erprobung werden zunächst die Lernendenvorstellungen aller Schülerinnen und Schüler zur Entstehung einer Angepasstheit, sowohl in zoologischen als auch botanischen Szenarien, erhoben (Kapitel 7.2.1, 7.3.1, 7.4.1). Anschließend werden Einzel-Interviews mit zufällig ausgewählten Kindern durchgeführt (Kapitel 7.2.2, 7.3.2, 7.4.2). Daraufhin soll die Unterrichtssequenz nach den vorhandenen Vorstellungen spezifiziert werden, sodass das im Unterricht eingesetzte Material, die Methodik und Didaktik insofern angepasst wird, dass sich jeder Lernende mit der eigenen Vorstellung auseinandersetzen kann (vgl. Didakt. Rekonstruktion). Nach der Durchführung der drei Unterrichtsdoppelstunden mit den entwickelten Simulationen (Kapitel 5) soll die Auswertung der Sequenz stattfinden. Dafür werden zunächst nochmals die Fragebögen im Klassenverband eingesetzt und abschließend Interviews mit den bereits zuvor interviewten Schülerinnen und Schülern geführt. Durch die erhobenen Daten soll ein möglicher Wissenszuwachs in Form einer Veränderung der Begriffsstruktur hin zu wissenschaftlichen Erklärungen erkannt werden.

6.2 Entwicklung des Fragebogens

Zur Überprüfung eines möglichen Lernzuwachses aus der Unterrichtssequenz wurde ein Fragebogen (Anhang B: Fragebogen_Schule) erstellt, der von allen Schülerinnen und Schülern im jeweiligen Erprobungszyklus bearbeitet werden soll. Dabei wurde auf die Fragen A1, A3, A4, A5 und A6 des validierten Fragebogens „KAEVO 2.0“ nach Beniermann (2019) und Kuszmierz et al. (2020) zurückgegriffen (Anhang B: Fragebogen_Schule). Die dargestellten Szenarien beinhalten evolutionäre Phänomene, wobei in den Antwortkategorien die jeweils fünf bzw. sechs häufigsten Alltagsvorstellungen der Lernenden vertreten sind (Kuszmierz et al. 2020). Das sind finalistische Vorstellungen (die zum einen die Notwendigkeit ausgehend vom Organismus selbst und zum anderen ausgehend von der Natur betreffen), Vorstellungen einer automatischen Entwicklung, anthropomorphe Vorstellungen, anthropomorphe vermischt mit lamarckistischen Vorstellungen und wissenschaftliche Vorstellungen (Anhang B: Fragebogen_Schule). Zudem steht die Antwortkategorie „Ich weiß nicht.“ zur Auswahl.

Außerdem wurde zur weiteren Spezifikation der Schülervorstellungen (Prediger et al. 2012) der Fragebogen vor der dritten Erprobung um ein weiteres Szenario „Kernbeißer“ ergänzt (Anhang B: Fragebogen_Schule_neu). Dieses neu eingefügte Szenario (Abb. 21) steht in direktem Zusammenhang zur ersten Lerneinheit (Kapitel 5.1.1) und wurde nach dem bereits

verwendeten Fragebogen von Beniermann (2019) und Kuschmierz et al. (2020) so angepasst, dass alle in den verwendeten Szenarien A1, A3, A5 und A6 vorkommenden Vorstellungskonzepte auch für dieses Szenario formuliert wurden (Abb. 21).

Kernbeißer können mit ihrem großen, kräftigen Schnabel sehr harte Nüsse knacken. Da sie Nüsse das ganze Jahr über finden, können sie sich und ihre Nachkommen sehr gut ernähren. Ihre Vorfahren hatten vermutlich nur kleine Schnäbel. **Wie hat sich der große und kräftige Schnabel im Laufe der Zeit entwickelt?**



Kernbeißer (erzeugt mit Midjourney).

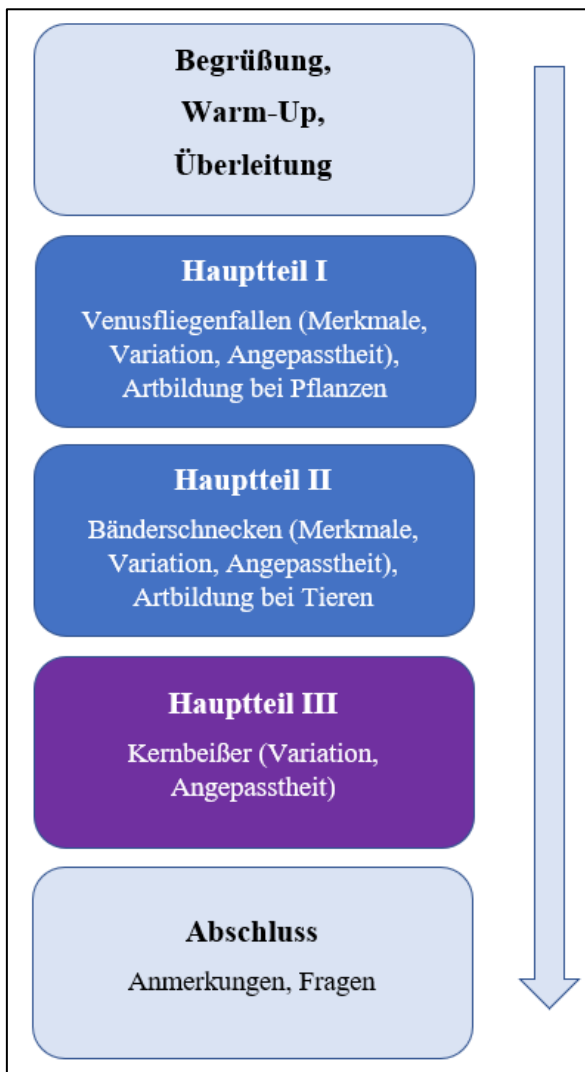
Die Kernbeißer passten ihre Schnäbel an, damit sie Nüsse knacken können.	<input type="checkbox"/>
Die Natur hat die Schnäbel der Kernbeißer angepasst, damit sie Nüsse knacken können.	<input type="checkbox"/>
Einige Kernbeißer hatten zufällig einen großen, kräftigen Schnabel und konnten Nüsse knacken. Deshalb konnten mehr Kernbeißer mit diesem Schnabel überleben und sich fortpflanzen.	<input type="checkbox"/>
Einige Vorfahren der Kernbeißer merkten, dass sie nicht genug Nahrung bekamen. Daher vergrößerten sie ihren Schnabel. Dadurch konnten sie Nüsse knacken und besser überleben.	<input type="checkbox"/>
Die Schnäbel änderten sich automatisch, weil sie so Nüsse knacken konnten. Somit hatten sie einen Überlebensvorteil.	<input type="checkbox"/>
Einige Vorfahren der Kernbeißer merkten, dass sie nicht genug Nahrung bekamen. Daher trainierten sie ihren Schnabel, damit er größer und kräftiger wird und Nüsse knacken kann.	<input type="checkbox"/>
Ich weiß nicht.	<input type="checkbox"/>

Abbildung 21: Neu eingefügtes Szenario „Kernbeißer“ im Fragebogen des Erprobungszyklus III.

Mit diesem zusätzlichen Szenario kann ein möglicher Erkenntniszuwachs direkt auf die Lerneinheit zurückgeführt und gleichzeitig überprüft werden, inwiefern ein Transfer auch auf andere Szenarien gelingt. So können Lernprozesse spezifiziert und nachvollzogen werden (Kapitel 7.4).

6.3 Interview und Leitfaden

Um Lernendenvorstellungen während der Durchführung der Unterrichtssequenz differenziert zu untersuchen, werden halboffene Leitfadeninterviews (Anhang B: Interviewleitfaden) zur Erhebung einzelner Schülervorstellungen eingesetzt. Dieses Interviewformat gibt eine Strukturierung durch einen Leitfaden vor (Reinders 2016), der zu einer besseren Vergleichbarkeit der erhobenen Aussagen führt, er lässt jedoch so viel



Offenheit zu, dass Nachfragen gestellt werden können und die Teilnehmenden auch außerhalb des Leitfadens argumentieren können (Dresing & Pehl 2018). Durch gezielte Fragen im Interview sollen die Schülervorstellungen tiefergehend erforscht werden. Dabei ergibt sich die Chance auch Vorstellungen jenseits der formulierten Konzepte im Fragebogen (Kapitel 6.2) aufzudecken und zu untersuchen. Die Schülerinnen und Schüler sollen möglichst zeitnah vor der ersten bzw. nach der Durchführung der letzten Unterrichtsdoppelstunde des Arrangements im Einzelinterview befragt werden, um die Einflussnahme durch weitere Informationen möglichst gering zu halten. Der Gesprächsleitfaden (Anhang B: Interviewleitfaden) zur Durchführung der halboffenen Leitfadeninterviews (Dresing & Pehl 2018, Helfferich 2011) gliedert sich

Abbildung 22: Schematische Darstellung der Struktur des Interviewleitfadens.

in einen Anfang, Hauptteil und Abschluss (Abb. 22) und soll an dieser Stelle im Einzelnen vorgestellt werden:

Anfang

Der Anfang des Interviewleitfadens umfasst eine Begrüßung, ein Warm-Up und eine Überleitung. Somit sollen die Lernenden in der Interviewsituation zunächst willkommen geheißen werden und im Gespräch ankommen (Reinders 2016). Hierbei wird zu Beginn erläutert, dass es um ein Forschungsprojekt geht und hervorgehoben, dass vor allem die einzelnen Vermutungen und Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler interessant für den Interviewer sind und keine Antwort nach „richtig“ oder „falsch“ bemessen wird. Anschließend folgt eine kurze Warm-Up-Phase, in der nach dem aktuell unterrichteten Fach und dem Interesse am Fach Biologie gefragt wird. In der überleitenden Phase soll die Aufmerksamkeit auf den nachfolgenden Themenbereich gelenkt werden, indem nach dem bereits beantworteten Fragebogen, der zuvor bearbeitet werden sollte, gefragt wird (Kapitel 6.2).

Hauptteil

Der Hauptteil des Interviewleitfadens gliedert sich in zwei (Erprobung I und Erprobung II) bis drei Phasen (Erprobung III). Da die konzipierte Unterrichtssequenz zoologische und botanische Szenarien beinhaltet (Kapitel 5 bzw. Kapitel 7.7), sollen auch im Interview die Vorstellungen zu evolutionären Anpassungen und Artbildungsprozessen sowohl in einem



botanischen als auch in einem zoologischen Szenario untersucht werden. So soll eine mögliche Veränderung in der Antwortstruktur der Lernenden sichtbar gemacht werden.

Im Hauptteil I sollen die Lernenden zunächst beantworten, ob die dargestellte Pflanze (Abb. 23) bekannt ist.

Abbildung 23: Venusfliegenfalle (Aufnahme: Dittmar Graf).

Anschließend sollen die Interviewten benennen, was ihnen besonders auffällt. Damit soll der Fokus auf die Merkmale dieser Art gelegt werden. Um das Verständnis für evolutionäre Anpassungsprozesse zu überprüfen, wird nach der Veränderbarkeit dieser Art gefragt (Anhang B: Interviewleitfaden). Außerdem soll nach der Möglichkeit und gegebenenfalls Entstehung individueller Merkmale der einzelnen Pflanzen gefragt werden. Hierbei wird überprüft, inwieweit Grundlagenverständnis zur Evolution vorhanden ist, damit die ablaufenden langsamen und komplexen Prozesse verstanden werden können (Kapitel 3.6.1). Des Weiteren sollen die Schülerinnen und Schüler ihre Vorstellungen zur Entstehung einer Anpasstheit an den mineralstoffarmen Boden äußern. Die offene Gestaltung der Fragen ohne Vorwegnahme von Antwortmöglichkeiten soll die Breite an vorhandenen Konzepten aufdecken. Nachdem in einem Szenario die Isolation der Venusfliegenfallenpopulation in zwei Teilpopulationen beschrieben wird (Anhang B: Interviewleitfaden), sollen die Interviewten ihre Vermutungen zur Entwicklung dieser erläutern. Hierbei und mit der anschließenden Frage nach der Entstehung einer Pflanzenart sollen Vorstellungen von Artbildungsprozessen aktiviert und aufgedeckt werden.

Im Hauptteil II wird den Lernenden eine helle und eine dunkle Bänderschnecke vorgestellt (Anhang B: Interviewleitfaden). Die Schülerinnen und Schüler sollen beschreiben, was ihnen auffällt und gegebenenfalls vermuten, wie Unterschiede entstanden sein könnten. Durch die Zuordnung zu einem Lebensraum (Wald oder Wiese) soll eine Anpasstheit erklärt und die Entwicklung dieser beschrieben werden. So sollen vorhandene Vorstellungen zu evolutionärer Anpasstheit formuliert werden. Zudem soll beantwortet werden, ob sich alle Schnecken zur gleichen Zeit entwickeln. Dies soll Aufschluss darüber geben, inwiefern typologisches Denken (Kapitel 3.6) ausgeprägt ist. Nachdem auch im zoologischen Szenario „Bänderschnecken“ die Isolation der Schneckenpopulation in zwei Teilpopulationen beschrieben wird, sollen die Lernenden ihre Vorstellungen zur Entwicklung dieser äußern. Dies und die Frage nach der Artenentstehung im Tierreich soll das Äußern von Vermutungen zu Artbildungsprozessen anregen.

Außerdem wurde auch der Interviewleitfaden zur Diagnose der vor- und nachunterrichtlichen Vorstellungen vor dem dritten Erprobungszyklus um das neue Szenario „Kernbeißer“ im Hauptteil III ergänzt (Abb. 24). Durch die Nähe dieses Szenarios zur Simulation „Nahrungstransport der Kernbeißer“ sollen Lernprozesse weiter spezifiziert werden (Prediger et al. 2012).

Hauptteil III

Das ist ein Kernbeißer. Welche Besonderheit fällt dir bei diesem Vogel auf?

- Sah diese Vogelart schon immer so aus?
- Haben sich alle Vögel zur gleichen Zeit entwickelt?
- Wie vermutest du, würde sich die Vogelart in Zukunft entwickeln?
- Sehen alle Kernbeißer einer Gruppe genau gleich aus?
- Wie sind individuelle Unterschiede entstanden?

Wie vermutest du, dass sich der große, kräftige Schnabel entwickelt hat?



Abb. 8: Kernbeißer (erzeugt mit Midjourney).

Abbildung 24: Ausschnitt aus dem Interviewleitfaden zum Szenario Kernbeißer.

Im Hauptteil III soll zunächst nach den Auffälligkeiten dieser Vogelart gefragt werden. Wiederholt sollen die Lernenden ihre Vermutungen darüber äußern, ob diese Art veränderlich ist und ob sich alle Vögel einer Population zeitgleich entwickeln. Dabei soll im Verlauf des Nachinterviews untersucht werden, ob und inwiefern sich die Antwortstruktur der Lernenden im Bezug zur durchlaufenen Unterrichtssequenz möglicherweise ändert. Gezielt soll nach der Entwicklung des großen und kräftigen Schnabels gefragt werden, da dies den inhaltlichen Schwerpunkt der ersten Simulation darstellt (Kapitel 5.1).

Abschluss

In der abschließenden Phase des Interviews sollen die Schülerinnen und Schüler offen gebliebene Fragen klären können oder ihnen noch wichtig erscheinende Vermutungen äußern. Dies soll den Lernenden eine zusätzliche Möglichkeit geben, Vorstellungen auch außerhalb der vorgestellten Szenarien zu beschreiben.

Die Vor- und Nachinterviews wurden dabei mittels Audioaufnahmegerät und der Aufnahmefunktion eines Handys aufgezeichnet.

6.4 Stichprobe

Die Designexperimente wurden in der Gesamtschule Gießen-Ost durchgeführt. Dabei haben insgesamt 59 Schülerinnen und Schüler den Fragebogen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz bearbeitet. Zusätzlich wurden davon zufällig 15 Lernende, genauer fünf Teilnehmende in jedem Erprobungsdurchgang, zu ihren Vorstellungen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz befragt.

Der erste Erprobungsdurchgang fand in einer siebten Schulklasse vom 06.09.2021 bis zum 07.10.2021 mit insgesamt 21 Schülerinnen und Schülern statt. Nachdem die gewonnenen Daten analysiert und ausgewertet wurden, erfolgte der zweite Erprobungszyklus mit einer sechsten Schulklasse vom 12.01.2022 bis zum 02.02.2022 mit insgesamt 19 Lernenden. Nach der Auswertung und Optimierung der erhobenen Daten wurde der dritte Erprobungsdurchlauf mit einer weiteren sechsten Schulklasse vom 24.06.2022 bis zum 13.07.2022 mit gesamt 19 Schülerinnen und Schülern durchgeführt.

Um zu überprüfen, ob das Unterrichtsdesign während der Integration in den Biologieunterricht einer Gesamtschule zu einer Veränderung in der Antwortstruktur der Lernenden hin zu wissenschaftlichen Erklärungen führen kann, wurden die Erprobungen jeweils im Gesamtklassenverband durchgeführt. Alle beteiligten Schulklassen hatten bis zum Zeitpunkt der durchgeführten Unterrichtssequenz noch keinen Unterricht zum Thema Evolution. Es wurden lediglich spezifische Anpasstheiten von Lebewesen thematisiert. Im dritten Erprobungszyklus äußerte der Biologielehrer und ein Schüler (S13), dass neben der Thematik „Wolf und Hund“ auch bereits die Anpasstheit bei Vögeln unterrichtet und dabei die Evolution der Vögel angesprochen wurde.

Vor der Erprobung des entwickelten Designs im Unterricht wurde das Einverständnis der Erziehungsberechtigten aller Teilnehmenden eingeholt.

6.5 Aufbereitung und Analyse der Daten

Alle Fragebögen wurden mit dem Programm zur statistischen Datenanalyse SPSS Version 28.0.1.0 verarbeitet und ausgewertet. Um die erhobenen Audiodaten zu archivieren und zu analysieren (Reinders 2016), erfolgte die Aufbereitung durch eine Transkription der Interviewmitschnitte mittels der Software F2 Transkript. Dafür wurden die in Tabelle 6 dargestellten Notationsregeln festgelegt. Sowohl die quantitativ als auch die qualitativ erhobenen Daten wurden anonymisiert, wobei der Buchstabe „S“ für Schülerin oder Schüler und die angefügte Zahl für die jeweilige Person steht. Dabei sind die Teilnehmenden S1 bis S15 in Fragebogen- und Interviewstudie vertreten, wohingegen das Antwortverhalten von S16 bis S44 nur mittels Fragebogen untersucht wurde.

Tabelle 6: Notationsregeln.

Notation	Bedeutung
..	Kurze Sprechpause: Ein Punkt meint ca. eine Sekunde.
(6 sek)	Längere Sprechpause: Die Anzahl der Sprechpause in Sekunden steht in Klammern.
(lächelt)	Charakterisierung einer parasprachlichen Handlung wird in Klammern dargestellt.
-	Wort- oder Satzabbruch wird mit einem Bindestrich signalisiert.
(unverständlich 2 sek)	Unverständliche Sequenzen werden mit Sekundenangabe in Klammern gesetzt.

Die qualitative Auswertung der Interviewstudie wurde mithilfe des Programms zur qualitativen Daten- und Textanalyse MAXQDA durchgeführt. Dabei wurde sich an dem allgemeinen Ablaufschema einer inhaltlich strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse von Kuckartz & Rädiker (2022) orientiert. Eine ausführliche Beschreibung des Vorgehens findet sich bei Brennecke (2015) und soll im Folgenden nur kurz vorgestellt werden: Nach einer fallbezogenen Textarbeit, bei der für jeden Lernenden eine thematische Zusammenfassung durch Ordnen der Aussagen erstellt wurde (Mayring 2023), wurden im eigenen Projekt zunächst übergeordnete Kategorien deduktiv anhand des Interviewleitfadens abgeleitet. Anschließend wurden die Daten mit diesen Ordnungskategorien codiert. Nachdem wiederholt fallbezogen mit dem Text gearbeitet wurde, konnten induktiv Kategorien gebildet (Kapitel 7.1) und die Daten mit diesen codiert werden. Während des gesamten

Prozesses der qualitativen Inhaltsanalyse wurde sich auf die forschungsleitenden Fragestellungen (Kapitel 4) fokussiert, wobei die Spezifikation auf der Analyse der Einzelfälle lag, um die jeweiligen Schülervorstellungen und deren mögliche Veränderung während der Unterrichtssequenz im Detail zu untersuchen (Kapitel 7.2.2, 7.3.2, 7.4.2). Dazu wurden die prominenten Vorstellungen aus allen kategorisierten Aussagen herausgestellt und jeweils vor und nach dem getesteten Unterrichtsdesign mithilfe des entwickelten Kategoriensystems (Kapitel 7.1) analysiert. Eine tabellarische Zusammenfassung aller kategorisierten Aussagen der gesamten Interviewstudie findet sich im Anhang (Anhang C: Einzelfallanalyse_gesamt).

7 Ergebnisse

In diesem Kapitel wird zunächst das entwickelte Kategoriensystem zur Analyse der Lernendenvorstellungen aus den geführten Interviews vorgestellt, woran sich die quantitative Auswertung prominenter Kategorien anschließt. Die qualitative Auswertung der Schüleraussagen erfolgt über eine kategorienbasierte Einzelfallanalyse in den Kapiteln 7.2, 7.3 und 7.4. Dabei werden auch die Ergebnisse der Vor- und Nachfragebögen jeweils in den drei durchgeführten Erprobungszyklen aufgezeigt. Den Abschluss der Ergebnisdarstellung bildet eine Zusammenfassung (Kapitel 7.5) und Einordnung der Ergebnisse (Kapitel 7.6). Darauf folgt die Präsentation der optimierten Simulationen und des Unterrichtsdesigns in Kapitel 7.7. Hierbei werden an vereinzelt Stellen bereits Referenzen ausgewiesen (z. B. Kapitel 7.2.3, 7.3.3, 7.4.3, 7.6, 7.7). Dies begründet sich aus dem Vorgehen anhand der didaktischen Entwicklungsforschung im Dortmunder Modell (Kapitel 3.4). Da die Ergebnisse im iterativen Verfahren genutzt werden, um Kernaussagen zu entwickeln und das Unterrichtsarrangement in den jeweiligen Erprobungszyklen weiterzuentwickeln, bedingt sich die Diskussion mit den angeführten Referenzen an entsprechender Position. So gelingt es die Erkenntnisse aus den durchlaufenen Zyklen des Modells anwendungsgerecht zu präsentieren und dabei die Lesbarkeit der Arbeit insgesamt zu fördern.

7.1 Kategoriensystem

Das im Folgenden beschriebene Kategoriensystem (Anhang C: Kategoriensystem_tabellarisch) soll die Schüleraussagen, welche im Rahmen der Interviewstudie erhoben wurden, strukturieren und zu derer Vergleichbarkeit beitragen. Es besteht aus fünf Ordnungskategorien, welche die Schülervorstellungen – in Anlehnung an die Strukturebenen der Biologie – nach übergeordneten Erklärungen zur evolutionären Entwicklung, Äußerungen zur Entwicklung einer neuen Art, der Entwicklung von Populationen, Teilpopulationen und zur Individualentwicklung unterteilen. Diese Ordnungskategorien (Tab. 7) beinhalten jeweils zwei bis zwölf induktiv entwickelte Kategorien, welche die erhobenen Lernendenvorstellungen widerspiegeln. Jede der 36 Kategorien ist definiert, und es wurden idealtypische Schülerzitate festgelegt, welche die Kategorien verständlich abbilden.

Tabelle 7: Ordnungskategorien und Kategorien im Überblick.

Ordnungskategorie: Übergeordnete Erklärungen zur evolutionären Entwicklung
<p>Kategorien:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Nichtwissen ▪ Vergleich mit Bekanntem
Ordnungskategorie: Entwicklung einer neuen Art
<p>Kategorien:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Konstanz der Arten ▪ Entwicklung von Arten ▪ Erschaffung ▪ Artenentstehung aus Notwendigkeit ▪ Verstorbenes Individuum ▪ Hybridisierung ▪ Artenentstehung durch Bakterien ▪ Trennung der Ursprungsart ▪ Mutation der Nachkommen ▪ Artenentstehung durch Fortpflanzung ▪ Artenentstehung durch Umwelt
Ordnungskategorie: Entwicklung von Populationen
<p>Kategorien:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Automatismus ▪ Stufenweise Entwicklung ▪ Natur ▪ Umwelt ▪ Notwendigkeit ▪ Typenwechsel ▪ Bakterien ▪ Fortpflanzung ▪ Variation der Nachkommen ▪ Vererbung von Merkmalen ▪ Mutation ▪ Überleben der besser Angepassten
Ordnungskategorie: Entwicklung von Teilpopulationen
<p>Kategorien:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Gleichartigkeit ▪ Differenziertheit ▪ Differenziertheit, gleiche Art ▪ Differenziertheit, verschiedene Arten ▪ Unterart ▪ Keine Vorhersehbarkeit

Ordnungskategorie: Entwicklung von Individuen

Kategorien:

- Größenänderung
- Selbstständige Anpassung
- Entwicklung Individuum, Überlebensvorteil (und Fortpflanzung)
- Individuelle innerartliche Varianz
- Anthropomorphismus

Ordnungskategorie: Übergeordnete Erklärungen zur evolutionären Entwicklung

Diese Ordnungskategorie repräsentiert Schülervorstellungen, die sich in allen Ordnungskategorien wiederfinden und aus diesem Grund als übergeordnete Aussagen herausgestellt wurden. Es konnten zwei induktiv gebildete Kategorien ermittelt werden (Tab. 7).

Kategorie: Nichtwissen

Die Probanden geben an, dass sie die Antwort nicht kennen oder keine Vorstellung dazu haben. Im Originaltext lassen sich z. B. folgende Zitate zuordnen: „[...] Das weiß ich nicht.“ (1.S10, Pos.25), „[...] Ich kann es mir nicht so gut vorstellen.“ (1.S1, Pos.26).

Kategorie: Vergleich mit Bekanntem

Auch diese Kategorie lässt sich in allen Ordnungsbereichen der Interviewstudie, sowohl vor als auch nach der Unterrichtssequenz wiederfinden. Die Befragten erklären einen Sachverhalt, indem sie Vorwissen aus anderen Bereichen einbeziehen. Dabei vergleichen die Probanden häufig Sachverhalte mit zuvor bereits Bekanntem aus der Humanbiologie: „Und bei und das passiert auch bei Säugetieren und so und dadurch ko- und deshalb sehen Menschen sich auch nur ähnlich, genau wie- genauso wie sich Zwillinge auch nur ähnlich sehen und nicht gleich aussehen. Es gibt immer Unterschiede.“ (1.S9, Pos.50).

Ordnungskategorie: Entwicklung einer neuen Art

Hier sind alle Schülervorstellungen vertreten, die sich mit der Entwicklung von Arten beschäftigen (Tab. 7). Es lassen sich elf Kategorien definieren, die von der Erschaffung einer Art bis hin zur Artenentwicklung durch Mutation der Nachkommen reichen.

Kategorie: Konstanz der Arten

Die Probanden erklären, dass die heute lebende Art noch genauso oder sehr ähnlich aussieht wie vor Jahrhunderten oder sich auch in einigen Jahrhunderten nicht ändern wird: „Ich glaub die sind schon eigentlich immer so gewesen.“ (2.S15, Pos.10).

Kategorie: Entwicklung von Arten

In der Kategorie sind Vorstellungen beschrieben, die der Veränderung von Arten in einem großen Zeitraum zustimmen: „Also bestimmt sahen die anders aus vor paar Jahrzehnten sahen die wahrscheinlich sehr anders aus und haben sich dann zu dieser Art entwickelt.“ (2.S14, Pos.6).

Kategorie: Erschaffung

Die Entwicklung einer neuen Art wird in dieser Kategorie durch eine Erschaffung beschrieben, wobei der Prozess der Erschaffung nicht weiter definiert wird: „Ja. Und der Boden is halt dann nährstoffreicher und darauf könn halt ne neue Art äh erschaffen werden [...]“ (2.S5, Pos.42).

Kategorie: Artenentstehung aus Notwendigkeit

In diese Kategorie wurden Schüleraussagen eingeordnet, die eine zweckgebundene Entwicklung neuer Arten beschreiben: „[...] Z. B. in der Wüste ist es ja schwer sowas mit viel Wasser zu finden. Also sind da eher so welche, die se- die das Wasser speichern. Und da müssen die sich erstma halt . um - wie soll man das sagen - also die müssen sich dann halt ähm neufinden. [...]“ (1.S13, Pos.20).

Kategorie: Verstorbenes Individuum

Die Probanden beschreiben in dieser Kategorie die Entwicklung neuer Arten aus verstorbenen Lebewesen. Auf die Frage nach der Entstehung einer neuen Tierart antwortet Schüler 6: „Vielleicht wenn ein anderes Tier stirbt und dann ein neues Tier daraus wird.[...]“ (1.S6, Pos.70).

Kategorie: Hybridisierung

Die Probanden beschreiben die Entwicklung neuer Arten durch die Verpaarung von Individuen verschiedener Arten: „Mhh, also s kann sein, dass zwei unterschiedliche Tiere ähm sich halt paarn und dann kann daraus eine neue Tierart z. B. wenn sich jetzt ähm . sag

ich man Löwe und n Nilpferd paaren würden. Das is ja sehr komisch. Ähm dann kann das z. B. sein, dass es einfach ähm ein grö- ein kl- etwas kleinerer aber dafür kräftigerer Löwe ist mit riesigen Zähnen z. B. [...]“ (1.S13, Pos.36).

Kategorie: Artenentstehung durch Bakterien

Die Entwicklung einer neuen Art wird in dieser Kategorie durch Bakterien beschrieben, wobei dies nicht näher erläutert wird. Ein Beispiel schildert Schülerin 1, indem sie auf die Frage nach der Entstehung einer neuen Pflanzenart antwortet: „Ähm, .. durch .. Bakterien.“ (1.S1, Pos. 48).

Kategorie: Trennung der Ursprungsart

In dieser Kategorie beschreiben die Probanden die Entwicklung neuer Arten durch eine räumliche Trennung (und damit einhergehenden veränderten Lebensbedingungen) der Ursprungsart: „Hmm, ich glaube so wenn die Schnecken so getrennt werden und dann manche so auf der Seite leben, dann entwickelt sich ja auch neue Umstände und dann ähm ich glaube dann entwickelt sich so neue Arten [...]“ (1.S8, Pos. 62).

Kategorie: Mutation der Nachkommen

Die Schülerinnen und Schüler erklären die Entwicklung einer neuen Art durch Merkmalsänderung der Nachkommen: „Ich glaub das einfach s-ähm ne veränderte Art von ner alten Pflanze. Also, dass die sozusagen dann bei den Genen is dann irgendwas kaputt, dann kommt was andres raus: größere Blätter, kleinere Br-B-Blätter, anders geformt, irgendwelche andren Stängel oder so. Und die hat dann den gleichen Erbbauplan sozusagen, gibt das an die Nachkommen dann auch weiter und die sehen dann genauso aus. Dann vermehren die sich immer weiter und so gibts dann ne neu, ne Pflanzenart.“ (2.S12, Pos. 8).

Kategorie: Artenentstehung durch Fortpflanzung

Die Probanden beschreiben die Entwicklung neuer Arten durch den Prozess der Fortpflanzung ohne dies weiter zu definieren: „Also, wenn halt wenn man jetzt irgendwie Hunde hat. Und dann immer irgendwie so kleine Hunde nimmt, die irgendwie gerne rennen und dann irgendwie die immer miteinander paart. Dann wird, wird das ja irgendwie so eine A-Art, oder so [...]“ (1.S7, Pos. 56).

Kategorie: Artenentstehung durch Umwelt

Die Schülerinnen und Schüler schildern die Entstehung einer neuen Art durch die Umwelt. Auf die Frage nach der Entwicklung einer neuen Art antwortet Schüler 5: „Äh, durch den Boden. Z. B. is einer nährstoffreicher. Z. B. hier hab ich vergessen zu sagen z. B. wird da ne neue Pflanzenart entwickelt durch den Nähr- äh durch den Boden halt. [...]“ (2.S5, Pos. 18).

Ordnungskategorie: Entwicklung von Populationen

In dieser Ordnungskategorie sind zwölf Kategorien definiert. Hierbei sind alle Schülervorstellungen repräsentiert, die sich mit der Entwicklung und der Anpasstheit von Populationen beschäftigen (Tab. 7). Diese reichen von einer automatischen Entwicklung über die Entwicklung durch Bakterien bis hin zum Überleben der besser Angepassten.

Kategorie: Automatismus

In diese Kategorie wurden Schüleraussagen eingeordnet, die eine automatische Entwicklung bestimmter Merkmale „einfach so“ beschreiben: „Ich glaub das hat sich halt so entwickelt. [...]“ (1.S2, Pos. 28).

Kategorie: Stufenweise Entwicklung

Probanden beschreiben eine stufenweise oder allmähliche Entwicklung bestimmter Merkmale: „Ich glaube es waren ähm vielleicht erst mal nur n paar und dann also ich glaub nicht, dass alle auf einmal ähm sich umgewandelt ham, sondern erst mal eine Schnecke und dann ähm nach und nach die anderen.“ (1.S8, Pos. 50).

Kategorie: Natur

In dieser Kategorie wurden alle Antworten zugeordnet, bei denen die Probanden der Natur die Fähigkeit zur Merkmalsausprägung zuschreiben: „Ähm. . vielleicht irgendwie über die Natur, dass die Natur das irgendwie so ähm dass das sich so entwickelt hat dass das das sie das halt so machen können. Also dass die Natur damit was zu tun hat.“ (1.S11, Pos. 10).

Kategorie: Umwelt

Die Probanden beschreiben die Anpassung von Lebewesen in dieser Kategorie durch die Umwelt: „Vielleicht weil sie andere Sachen fressen. Di- s Gras is ja dunkler und dann kann sich das Haus ja vielleicht auch dunkler entwickeln.“ (1.S6, Pos. 62).

Kategorie: Notwendigkeit

In dieser Kategorie sind alle Antworten zusammengefasst, die eine zweckgebundene Entwicklung von Populationen beinhalten: „Ich glaub das ist so gewesen: die waren dann am Anfang normal und dann äh ham die Blätter sind vielleicht größer geworden, damit die mehr Nährstoffe aufnehmen können [...]“ (1.S12, Pos. 14).

Kategorie: Typenwechsel

In den Antworten zu dieser Kategorie beschreiben die Probanden eine simultane Entwicklung der ganzen Population: „Also sie verändern sich glaub ich - nich jeder sieht dann anders aus, sondern verändern sich alle zusammen n bisschen. [...]“ (1.S2, Pos. 87).

Kategorie: Bakterien

In dieser Kategorie schildern die Probanden die Entwicklung einer Population durch Bakterien ohne weiteren Bezug dazu zu nehmen: „[...] Ich ähm (...) irgendwie ausm Boden irgendwelche Bakterien.“ (1.S5, Pos. 20).

Kategorie: Fortpflanzung

Die Studienteilnehmer beschreiben die Entwicklung einer Population durch Fortpflanzung ohne dies weiter zu definieren: „[...] ich glaube ähm, dass es dann mit der Fortpla-pflanzung zu tun hat [...]“ (2.S11, Pos. 12).

Kategorie: Variation der Nachkommen

In diese Kategorie wurden alle Antworten zugeordnet, welche die Entwicklung einer Population durch die Variation der Nachkommen beschreiben: „Also ich glaub die, also nur ein paar von denen, würden überleben und kriegen dann vielleicht dunkle Kinder.“ (2.S15, Pos. 34).

Kategorie: Vererbung von Merkmalen

Die Probanden schildern die Entwicklung einer Population durch die Vererbung von Merkmalen: „Is wahrscheinlich vererbt . von den anderen. Also von den anderen Pflanzen.“ (2.S13, Pos. 10).

Kategorie: Mutation

In dieser Kategorie beschreiben die Studienteilnehmer die Entwicklung von Merkmalen durch Mutation: „Das . durch eine Mutation die vielleicht etwas dunkler worden- geworden sind [...]“ (2.S14, Pos. 24).

Kategorie: Überleben der besser Angepassten

Die Schülerinnen und Schüler erklären, dass besser angepasste Individuen überleben bzw. schlechter angepasste Individuen aussterben: „[...] Und dadurch, dass immer in dem einen Gebiet nur die gefressen wurden, die- z. B. im Waldgebiet wurden immer die gefressen, die hell waren, die heller waren. Und die dunkleren hatten immer bessere Überlebenschancen [...]“ (2.S9, Pos. 26).

Ordnungskategorie: Entwicklung von Teilpopulationen

Der Ordnungskategorie „Entwicklung von Teilpopulationen“ wurden sechs Kategorien zugeordnet. Diese spiegeln die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler in Bezug zur Entwicklung isolierter Teilpopulationen wider (Tab. 7).

Kategorie: Gleichartigkeit

Auf die Frage nach der Entwicklung der isolierten Teilpopulationen antworten die Probanden in dieser Kategorie mit einer gleichartigen Entwicklung, wie beispielsweise Schülerin 15 im Vorinterview: „Also ich glaub sie würden sich gleich entwickeln, weil wenn sie zusammengeblieben wären, dann hätten sie sich, glaub ich, auch gleich entwickelt. Und nur weil jetzt was dazwischen is, glaub nich, dass die jetzt irgendwie- dass sie sich anders entwickeln.“ (1.S15, Pos. 16).

Kategorie: Differenziertheit

In dieser Kategorie schildern die Probanden eine unterschiedliche Entwicklung der isolierten Teilpopulationen. Dabei wurden sowohl Aussagen im Kontext des botanischen als auch im Kontext des zoologischen Szenarios zugeordnet: „Ich glaube eher verschieden, weil wasches sind vielleicht ja auch andere Wettervoraussetzungen auf den Seiten oder halt auch der Boden is anders oder sowas.“ (2.S7, Pos. 12).

Kategorie: Differenziertheit, gleiche Art

Die Probanden beschreiben die Zugehörigkeit der unterschiedlich entwickelten Teilpopulationen zu einer gemeinsamen Art: „Also s wär dieselbe Art aber es geht in verschiedene Richtungen.“ (1.S12, Pos. 30).

Kategorie: Differenziertheit, verschiedene Arten

Die Probanden beschreiben die Zugehörigkeit der unterschiedlich entwickelten Teilpopulationen zu zwei verschiedenen Arten: „[...] Und über die Jahrmlionen würde das so- könnte das dann sogar zu einer anderen Art führen.“ (1.S9, Pos. 44).

Kategorie: Unterart

In dieser Kategorie beschreiben die Probanden die Entwicklung einer Unterart aus den isolierten Teilpopulationen: „[...] Vielleicht wären die ja auch bei der einen Gruppe die irgendwie größer oder so was. Aber ich glaube es wird schon noch die gleiche Art bleiben, nur halt vielleicht mit ner anderen Unterart oder sowas.“ (2.S7, Pos. 14).

Kategorie: Keine Vorhersehbarkeit

Auf die Frage nach der Entwicklung der getrennten Teilpopulationen antworten die Studienteilnehmer in dieser Kategorie mit einer nicht vorhersehbaren Entwicklung: „Ich glaube, das kann man nich so sehr ähm vorhersagen [...]“ (2.S14, Pos. 10).

Ordnungskategorie: Entwicklung von Individuen

In dieser Ordnungskategorie sind alle Lernendenvorstellungen vertreten, die eine Entwicklung von Individuen beschreiben. Die kategorisierten Aussagen reichen hierbei von ontogenetischen Vorstellungen bis hin zur Entwicklung einzelner Individuen mit vorteiligen Überlebenschancen (Tab. 7).

Kategorie: Größenänderung

Die Probanden beschreiben eine Größenänderung der Individuen als Antwort auf die Entwicklung von einer Population über Jahrhunderte. Auch Schülerin 8 antwortet mit Bezug zur Ontogenese: „Ähhh, weil ähm, ich denke, dass sie auch äh wachsen wird.“ (1.S10, Pos. 8).

Kategorie: Selbstständige Anpassung

In dieser Kategorie beschreiben die Probanden eine selbstständige Anpassung des Organismus: „Da, jedes Tier ein Überlebenswillen hat, passen sie sich an ihre Orte an.“ (1.S3, Pos. 62).

Kategorie: Individuelle innerartliche Varianz

In dieser Kategorie erklären die Probanden, dass Individuen einer Art Unterschiede ausbilden: „Nein, manche haben größere Schnäbel, und manch-manche kleinere, die Färbung is anders. Also vielleicht hat ein Vogel nich son ganz blauen Schnabel, sondern eher son rötlicheren. [...]“ (2.S13, Pos. 22).

Kategorie: Entwicklung Individuum, Überlebensvorteil (und Fortpflanzung)

Die Probanden beschreiben den Zusammenhang zwischen der individuellen Varianz eines Nachkommen und den damit verbundenen Auswirkungen auf das Überleben dieser: „Ähm ich glaube vielleicht, wenn eine - irgendwie eine Pflanze so bisschen mehr so an das angepasst ist, dass sie dann irgendwie ähm halt auch Samen, die so sind, weiterverteilt und dann können die halt überleben und die andern nich. Und dann können die immer mehr Samen auch verteilen.“ (2.S7, Pos. 18).

Kategorie: Anthropomorphismus

Die Probanden schreiben Lebewesen ein Bewusstsein zu, wobei teilweise die Absicht sich zu entwickeln unterstellt wird: „[...] Dann hat die Pflanze s absorbiert. Und hat dann gemerkt, äh dass das weitere Nährstoffe gibt. Und dann ähm hat sie sich das gemerkt [...]“ (2.S12, Pos. 4).

7.1.1 Quantitative Auswertung prominenter Kategorien

Im Folgenden werden zunächst die quantitativen Ergebnisse der prominenten Kategorien jeweils im Vor- und Nachinterview über die drei Erprobungsdurchgänge hinweg aufgezeigt. Anschließend werden die wissenschaftlichen und finalen Vorstellungen aus allen kategorisierten Schüleraussagen insgesamt jeweils vor und nach der unterrichtlichen Umsetzung des Unterrichtsarrangements dargestellt.

In der Ordnungskategorie „Übergeordnete Erklärungen zur evolutionären Entwicklung“ wurden die Kategorien „Nichtwissen“ und „Vergleich mit Bekanntem“ quantitativ ausgewertet:

Nichtwissen

Zu dieser Kategorie sind 30 Schüleraussagen von jeweils 22 vor und 8 Aussagen nach der Unterrichtssequenz beschrieben.

Tabelle 8: Anzahl der codierten Schülervorstellungen der Kategorie „Nichtwissen“ in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.

<i>Nichtwissen</i>	Vor der Unterrichtssequenz	Nach der Unterrichtssequenz
Erprobung I		
Anzahl der codierten Aussagen	9	1
Erprobung II		
Anzahl der codierten Aussagen	10	6
Erprobung III		
Anzahl der codierten Aussagen	3	1

Im Nachinterview zeigt sich deutlich eine Abnahme der gegebenen Antworten in der Kategorie „Nichtwissen“ im Vergleich zu den kategorisierten Aussagen vor der Durchführung des Unterrichtsarrangements (Tab. 8). In allen drei Erprobungsdurchläufen beantworteten die Lernenden nach der Unterrichtssequenz mehr Fragen mit einer konkreten Vorstellung zum jeweiligen Szenario als im Vorinterview.

Vergleich mit Bekanntem

Dieser Kategorie wurden 38 Äußerungen der Schülerinnen und Schüler mit jeweils 22 vor und 16 Aussagen nach der Unterrichtssequenz zugeordnet.

Tabelle 9: Anzahl der codierten Schülervorstellungen der Kategorie „Vergleich mit Bekanntem“ in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.

<i>Vergleich mit Bekanntem</i>	Vor der Unterrichtssequenz	Nach der Unterrichtssequenz
Erprobung I		
Anzahl der codierten Aussagen	14	7
Erprobung II		
Anzahl der codierten Aussagen	5	5
Erprobung III		
Anzahl der codierten Aussagen	3	4

Wie aus Tabelle 9 ersichtlich ist auch hier insgesamt ein Rückgang der kategorisierten Aussagen im Nachinterview zu verzeichnen. Vor der Unterrichtssequenz wurden demnach 6 Aussagen mehr der Kategorie „Vergleich mit Bekanntem“ zugeordnet. Der Vergleich der eigenen Vorstellungen zu einem gefragten Szenario wurde besonders im Vorinterview des ersten Erprobungsdurchlaufs mit bereits Bekanntem in Verbindung gesetzt. Dagegen hat diese Teilnehmergruppe im Nachinterview um die Hälfte weniger Vergleiche in ihren Antworten genutzt.

In der Ordnungskategorie „Entwicklung einer neuen Art“ wurden die Kategorien „Hybridisierung“ und „Mutation der Nachkommen“ quantitativ ausgewertet:

Hybridisierung

Insgesamt wurden 21 Schülervorstellungen dieser Kategorie zugeordnet. Davon wurden 12 Aussagen im Vorinterview und 9 Aussagen im Nachinterview zugeordnet.

Tabelle 10: Anzahl der codierten Schülervorstellungen der Kategorie „Hybridisierung“ in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.

<i>Hybridisierung</i>	Vor der Unterrichtssequenz	Nach der Unterrichtssequenz
Erprobung I		
Anzahl der codierten Aussagen	5	1
Erprobung II		
Anzahl der codierten Aussagen	3	5
Erprobung III		
Anzahl der codierten Aussagen	4	3

Aus Tabelle 10 wird ersichtlich, dass sowohl vor als auch nach der Unterrichtssequenz die Vorstellung einer Hybridisierung zur Erklärung der Entwicklung einer neuen Art präsent ist. Im Erprobungsdurchgang II nimmt diese Vorstellung nach der Unterrichtssequenz sogar zu.

Mutation der Nachkommen

Dieser Kategorie wurden insgesamt 23 Lernendenvorstellungen zugeordnet. Davon wurden 10 Aussagen vor und 13 Aussagen nach der Unterrichtssequenz kategorisiert.

Tabelle 11: Anzahl der codierten Schülervorstellungen der Kategorie „Mutation der Nachkommen“ in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.

<i>Mutation der Nachkommen</i>	Vor der Unterrichtssequenz	Nach der Unterrichtssequenz
Erprobung I		
Anzahl der codierten Aussagen	1	3
Erprobung II		
Anzahl der codierten Aussagen	5	5
Erprobung III		
Anzahl der codierten Aussagen	4	5

Bereits vor der Unterrichtssequenz wurden Vorstellungen zur Mutation der Nachkommen als Erklärung zur Entstehung einer neuen Art geäußert. Nach der Durchführung des Unterrichtsarrangements sind es 3 Aussagen mehr, die dieser Kategorie zugeordnet werden konnten (Tabelle 11).

In der Ordnungskategorie „Entwicklung von Populationen“ wurden die Kategorien „Automatismus“, „Natur“, „Umwelt“, „Notwendigkeit“, „Fortpflanzung“, „Variation der Nachkommen“, „Vererbung von Merkmalen“ und „Überleben der besser Angepassten“ quantitativ ausgewertet:

Automatismus

Dieser Kategorie wurden insgesamt 12 Schülervorstellungen zugeordnet. Davon wurden 10 Aussagen vor und 2 Aussagen nach der Durchführung des Unterrichtsarrangements kategorisiert.

Tabelle 12: Anzahl der codierten Schülervorstellungen der Kategorie „Automatismus“ in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.

<i>Automatismus</i>	Vor der Unterrichtssequenz	Nach der Unterrichtssequenz
Erprobung I		
Anzahl der codierten Aussagen	6	1
Erprobung II		
Anzahl der codierten Aussagen	2	0
Erprobung III		
Anzahl der codierten Aussagen	2	1

Wie Tabelle 12 zeigt, wurden in allen drei Erprobungsdurchläufen nach der Unterrichtssequenz weniger Vorstellungen zu einer automatischen Entwicklung bestimmter Merkmale geäußert. Vor allem in der ersten Erprobung wurden im Vorinterview noch 6 Antworten dieser Kategorie zugeordnet, wohingegen es im Nachinterview nur eine Antwort war.

Natur

Der Kategorie „Natur“ wurden insgesamt 12 Schüleraussagen zugeordnet. Davon wurden 9 Aussagen im Vorinterview und 3 Aussagen im Nachinterview kategorisiert.

Tabelle 13: Anzahl der codierten Schülervorstellungen der Kategorie „Natur“ in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.

<i>Natur</i>	Vor der Unterrichtssequenz	Nach der Unterrichtssequenz
Erprobung I		
Anzahl der codierten Aussagen	2	0
Erprobung II		
Anzahl der codierten Aussagen	2	2
Erprobung III		
Anzahl der codierten Aussagen	5	1

Insgesamt konnten im Nachinterview weniger Schüleraussagen zur Natur als Merkmalsausprägung kategorisiert werden (Tabelle 13). Am deutlichsten ist dies im Erprobungsdurchlauf III zu sehen. Hier wurden vor der Unterrichtssequenz 5 Aussagen

dieser Kategorie zugeordnet und danach nur eine Antwort. Im Erprobungsdurchlauf II hingegen blieb die Anzahl der gemachten Aussagen zu dieser Kategorie konstant.

Umwelt

Insgesamt wurden 34 Lernendenaussagen dieser Kategorie zugeordnet. Dabei wurden 21 Antworten im Vorinterview und 13 Antworten im Nachinterview kategorisiert.

Tabelle 14: Anzahl der codierten Schülervorstellungen der Kategorie „Umwelt“ in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.

<i>Umwelt</i>	Vor der Unterrichtssequenz	Nach der Unterrichtssequenz
Erprobung I		
Anzahl der codierten Aussagen	8	4
Erprobung II		
Anzahl der codierten Aussagen	6	4
Erprobung III		
Anzahl der codierten Aussagen	7	5

Wie aus Tabelle 14 ersichtlich, wurden insgesamt 8 Schüleraussagen weniger nach der Unterrichtssequenz zur Anpassung durch die Umwelt kategorisiert. Dabei ist die Anzahl der Aussagen in allen drei Erprobungsdurchgängen nach der Unterrichtssequenz zurückgegangen.

Notwendigkeit

Dieser Kategorie wurden 40 Aussagen zugeordnet. Davon wurden 28 Lernendenaussagen im Vorinterview und 12 Aussagen im Nachinterview kategorisiert.

Tabelle 15: Anzahl der codierten Schülervorstellungen der Kategorie „Notwendigkeit“ in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.

<i>Notwendigkeit</i>	Vor der Unterrichtssequenz	Nach der Unterrichtssequenz
Erprobung I		
Anzahl der codierten Aussagen	11	2
Erprobung II		
Anzahl der codierten Aussagen	9	8
Erprobung III		
Anzahl der codierten Aussagen	8	2

Insgesamt wurden nach der Durchführung der Unterrichtssequenz 16 Aussagen weniger zu einer zielgerichteten, zweckgebundenen Entwicklung von Populationen geäußert (Tab. 15). Dabei hat die Anzahl der Antworten in dieser Kategorie in allen drei Erprobungsdurchläufen nach dem Unterrichtsarrangement abgenommen. Knapp vor der Kategorie „Vergleich mit Bekanntem“ ist es diese Kategorie mit den meisten zugeordneten Lernendenaussagen überhaupt. Somit wurden im Vorinterview aus allen kategorisierten Antworten insgesamt allein 28 Aussagen zu einer finalistischen Denkweise geäußert, wohingegen es im Nachinterview nur noch 12 Aussagen waren.

Fortpflanzung

Zur Kategorie „Fortpflanzung“ wurden insgesamt 21 Schüleraussagen zugeordnet. Davon wurden acht Aussagen vor der Unterrichtssequenz und 13 Aussagen danach kategorisiert.

Tabelle 16: Anzahl der codierten Schülervorstellungen der Kategorie „Fortpflanzung“ in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.

<i>Fortpflanzung</i>	Vor der Unterrichtssequenz	Nach der Unterrichtssequenz
Erprobung I		
Anzahl der codierten Aussagen	1	4
Erprobung II		
Anzahl der codierten Aussagen	1	4
Erprobung III		
Anzahl der codierten Aussagen	6	5

Wie aus Tabelle 16 hervorgeht, wurden insgesamt 5 Aussagen mehr zur Entwicklung durch Fortpflanzung nach der Unterrichtssequenz beschrieben. Im Erprobungsdurchlauf I und II steigt die Anzahl der Aussagen im Nachinterview um jeweils 3 an, wobei sie im Erprobungsdurchlauf III um eine Antwort absinkt.

Variation der Nachkommen

Insgesamt wurden 35 Lernendenaussagen dieser Kategorie zugeordnet. Dabei wurden 10 Aussagen im Vorinterview und 25 Aussagen im Nachinterview kategorisiert.

Tabelle 17: Anzahl der codierten Schülervorstellungen der Kategorie „Variation der Nachkommen“ in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.

<i>Variation der Nachkommen</i>	Vor der Unterrichtssequenz	Nach der Unterrichtssequenz
Erprobung I		
Anzahl der codierten Aussagen	2	7
Erprobung II		
Anzahl der codierten Aussagen	1	11
Erprobung III		
Anzahl der codierten Aussagen	7	7

Die Entwicklung einer Population durch die Variation der Nachkommen wird durch insgesamt 15 Aussagen mehr nach der Unterrichtssequenz beschrieben als noch davor, wobei die Anzahl der kategorisierten Aussagen im Erprobungsdurchlauf II am meisten gestiegen ist und im Erprobungsdurchlauf III konstant bleibt (Tabelle 17).

Vererbung von Merkmalen

Dieser Kategorie wurden 18 Schüleraussagen zugeordnet, wobei 7 Aussagen im Vorinterview und 11 Aussagen im Nachinterview kategorisiert wurden.

Tabelle 18: Anzahl der codierten Schülervorstellungen der Kategorie „Vererbung von Merkmalen“ in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.

<i>Vererbung von Merkmalen</i>	Vor der Unterrichtssequenz	Nach der Unterrichtssequenz
Erprobung I		
Anzahl der codierten Aussagen	1	2
Erprobung II		
Anzahl der codierten Aussagen	0	1
Erprobung III		
Anzahl der codierten Aussagen	6	8

Insgesamt wurden nach der Unterrichtssequenz 4 Aussagen mehr dieser Kategorie zugeordnet als davor. Dabei ist die Anzahl der Lernendenaussagen in jedem Erprobungsdurchlauf leicht gestiegen (Tab. 18).

Überleben der besser Angepassten

Dieser Kategorie wurden insgesamt 25 Lernendenvorstellungen zugeordnet. Davon wurden 8 Aussagen vor der Durchführung der Unterrichtssequenz und 17 Aussagen danach kategorisiert.

Tabelle 19: Anzahl der codierten Schülervorstellungen der Kategorie „Überleben der besser Angepassten“ in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.

<i>Überleben der besser Angepassten</i>	Vor der Unterrichtssequenz	Nach der Unterrichtssequenz
Erprobung I		
Anzahl der codierten Aussagen	0	8
Erprobung II		
Anzahl der codierten Aussagen	6	7
Erprobung III		
Anzahl der codierten Aussagen	2	2

Wie aus Tabelle 19 hervorgeht, ist der Anteil der Schüleraussagen im ersten Erprobungsdurchlauf am meisten angestiegen. Keine Schülerin und kein Schüler hat sich zum Überleben der besser Angepassten vor der Durchführung der Unterrichtssequenz geäußert, wohingegen danach 8 Aussagen kategorisiert wurden. Auch im zweiten Erprobungsdurchlauf steigt die Anzahl der Lernendenaussagen in dieser Kategorie leicht an, wobei sie in der dritten Erprobung konstant bleibt.

Zum Überblick und anschaulichen Vergleich der Lernendenaussagen der prominenten Kategorien dieser Ordnungskategorie werden die einzelnen Kategorien im jeweiligen Erprobungsdurchgang jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz schematisch dargestellt (Abb. 25).

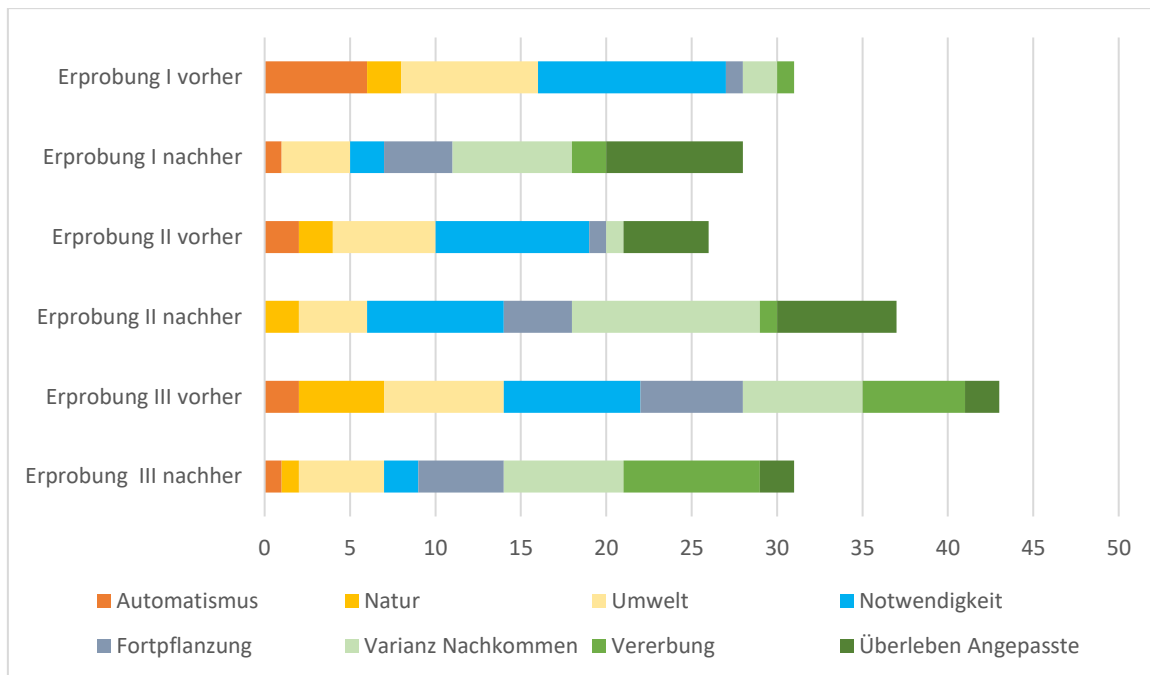


Abbildung 25: Schüleraussagen der prominenten Kategorien aus der Ordnungskategorie „Entwicklung von Populationen“ jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz der drei Erprobungsdurchgänge.

In der Ordnungskategorie „Entwicklung von Teilpopulationen“ wurden nicht alle interviewten Schülerinnen und Schüler konsequent nach der Entwicklung isolierter Teilpopulationen in den verschiedenen Szenarien befragt. Somit konnten nur vereinzelt Antworten codiert werden. Des Weiteren wurden unterschiedliche Darstellungen der isolierten Teilpopulationen in den verschiedenen Szenarien gewählt (vgl. Anhang B: Interviewleitfaden), sodass die Fragen im halboffenen Leitfadeninterview nicht passgenau zum durchgeführten Unterrichtsdesign sind. Um dennoch eine Richtungstendenz der Schülervorstellungen zu zeigen, wurden die prominenten Kategorien „Differenziertheit“ und „Differenziertheit, gleiche Art“ quantitativ ausgewertet:

Differenziertheit

Insgesamt wurden 40 Lernendenaussagen dieser Kategorie zugeordnet. Dabei wurden 22 Aussagen vor der Durchführung des Unterrichtsarrangements und 18 Aussagen danach kategorisiert.

Tabelle 20: Anzahl der codierten Schülervorstellungen der Kategorie „Differenziertheit“ in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.

<i>Differenziertheit</i>	Vor der Unterrichtssequenz	Nach der Unterrichtssequenz
Erprobung I		
Anzahl der codierten Aussagen	7	5
Erprobung II		
Anzahl der codierten Aussagen	8	8
Erprobung III		
Anzahl der codierten Aussagen	7	5

Auf die Frage nach der Entwicklung isolierter Teilpopulationen wurden im Erprobungsdurchlauf I und III jeweils 2 Aussagen weniger zur unterschiedlichen Entwicklung dieser im Nachinterview kategorisiert als vor der Durchführung der Unterrichtssequenz (Tabelle 20). Im Erprobungsdurchgang II hingegen, bleibt die Anzahl der kategorisierten Aussagen konstant. Dabei wurden alle Lernendenaussagen bedacht, die sich zu einer unterschiedlichen Entwicklung von getrennten Teilpopulationen geäußert haben, sowohl im botanischen als auch im zoologischen Szenario.

Differenziertheit, gleiche Art

Dieser Kategorie wurden 20 Lernendenaussagen zugeordnet, wobei 13 Aussagen im Vorinterview und 7 Aussagen im Nachinterview kategorisiert wurden.

Tabelle 21: Anzahl der codierten Schülervorstellungen der Kategorie „Differenziertheit, gleiche Art“ in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.

<i>Differenziertheit, gleiche Art</i>	Vor der Unterrichtssequenz	Nach der Unterrichtssequenz
Erprobung I		
Anzahl der codierten Aussagen	3	0
Erprobung II		
Anzahl der codierten Aussagen	4	7
Erprobung III		
Anzahl der codierten Aussagen	6	0

Die Anzahl der Aussagen hat in den Erprobungsdurchgängen I und III um jeweils 3 und 6 Schüleraussagen abgenommen und liegt somit nach der Unterrichtssequenz bei keiner zu

kategorisierenden Vorstellung (Tabelle 21). Dagegen hat die Anzahl der Schüleraussagen, die zur unterschiedlichen Entwicklung isolierter Teilgruppen mit der gleichen Artzugehörigkeit zugeordnet wurden, im Erprobungsdurchgang II im Nachinterview zugenommen.

In der Ordnungskategorie „Entwicklung von Individuen“ wurden die Kategorien „Größenänderung“, „Selbstständige Anpassung“, „Entwicklung Individuum, Überlebensvorteil (und Fortpflanzungserfolg)“ und „Anthropomorphismus“ quantitativ ausgewertet:

Größenänderung

Insgesamt wurden 10 Aussagen der Kategorie „Größenänderung“ zugeordnet. Davon wurden 9 Schüleraussagen im Vorinterview und eine Aussage im Nachinterview kategorisiert.

Tabelle 22: Anzahl der codierten Schülervorstellungen der Kategorie „Größenänderung“ in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.

<i>Größenänderung</i>	Vor der Unterrichtssequenz	Nach der Unterrichtssequenz
Erprobung I		
Anzahl der codierten Aussagen	5	1
Erprobung II		
Anzahl der codierten Aussagen	3	0
Erprobung III		
Anzahl der codierten Aussagen	1	0

Die Frage nach der Entwicklung einer Population über Jahrhunderte wurde in 9 Aussagen vor der Durchführung des Unterrichtsarrangements mit einer Größenänderung des Individuums beschreiben. Dagegen hat nur ein Schüler nach der Unterrichtssequenz eine Vorstellung in dieser Kategorie geäußert (Tabelle 22).

Selbstständige Anpassung

Dieser Kategorie wurden insgesamt 12 Lernendenaussagen zugeordnet. Davon wurden 10 Aussagen im Vorinterview und 2 Aussagen im Nachinterview kategorisiert.

Tabelle 23: Anzahl der codierten Schülervorstellungen der Kategorie „Selbstständige Anpassung“ in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.

<i>Selbstständige Anpassung</i>	Vor der Unterrichtssequenz	Nach der Unterrichtssequenz
Erprobung I		
Anzahl der codierten Aussagen	7	1
Erprobung II		
Anzahl der codierten Aussagen	3	1
Erprobung III		
Anzahl der codierten Aussagen	0	0

In dieser Kategorie wurden lediglich in den Erprobungsdurchgängen I und II Aussagen zu einer selbstständigen Anpassung von Individuen geäußert. Hierbei sinkt die Anzahl der Schilderungen im Nachinterview jeweils auf 1, was bedeutet, dass sich nach der Durchführung der Unterrichtssequenz nur noch 2 Lernende zur selbstständigen Anpassung von Individuen äußerten (Tabelle 23).

Entwicklung Individuum, Überlebensvorteil (und Fortpflanzung)

Dieser Kategorie wurden insgesamt 14 Schüleraussagen zugeordnet. Davon wurden 3 Aussagen vor der Durchführung der Unterrichtssequenz und 11 Aussagen danach kategorisiert.

Tabelle 24: Anzahl der codierten Schülervorstellungen der Kategorie „Entwicklung Individuum, Überlebensvorteil (und Fortpflanzung)“ in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.

<i>Entwicklung Individuum, Überlebensvorteil (und Fortpflanzung)</i>	Vor der Unterrichtssequenz	Nach der Unterrichtssequenz
Erprobung I		
Anzahl der codierten Aussagen	0	6
Erprobung II		
Anzahl der codierten Aussagen	1	2
Erprobung III		
Anzahl der codierten Aussagen	2	3

Wie aus Tabelle 24 hervorgeht, wurden vor der Unterrichtssequenz nur 3 Aussagen der Kategorie „Entwicklung Individuum, Überlebensvorteil (und Fortpflanzung)“ zugeordnet, wobei keine Aussage im Vorinterview des ersten Erprobungsdurchlaufs kategorisiert werden konnte. Dagegen konnten nach der Durchführung des Unterrichtsarrangements 11 Schüleraussagen dieser Kategorie zugeordnet werden, was einen Zugewinn von 8 (teilweise) wissenschaftlichen Schülervorstellungen bedeutet. Gerade in dieser Kategorie lässt sich das Maß an bereits vorhandenem Verständnis aufzeigen, denn die Lernenden müssen das Ursachen-Wirkungsgefüge erkennen, um die wissenschaftliche Erklärung zur Entwicklung einer Anpasstheit zu nutzen (Kapitel 3.6.1). D. h. die Schülerinnen und Schüler erkennen einen Zusammenhang zwischen der individuellen Varianz eines Nachkommen und den damit verbundenen Auswirkungen auf das Überleben dieser, wenn ihre Aussage dieser Kategorie zugeordnet werden konnte.

Anthropomorphismus

Dieser Kategorie wurden 27 Schüleraussagen zugeordnet. Davon wurden 12 Aussagen im Vorinterview und 15 Aussagen im Nachinterview kategorisiert.

Tabelle 25: Anzahl der codierten Schülervorstellungen der Kategorie „Anthropomorphismus“ in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.

<i>Anthropomorphismus</i>	Vor der Unterrichtssequenz	Nach der Unterrichtssequenz
Erprobung I		
Anzahl der codierten Aussagen	1	7
Erprobung II		
Anzahl der codierten Aussagen	2	3
Erprobung III		
Anzahl der codierten Aussagen	9	5

In den ersten beiden Erprobungen der Unterrichtssequenz stieg die Anzahl der Lernendenaussagen, die Tieren und Pflanzen ein Bewusstsein zuschreiben (Tabelle 25), wohingegen 4 Aussagen weniger im Nachinterview der dritten Erprobung dieser Kategorie zugeordnet werden konnten.

Um eine bessere Vergleichbarkeit von den quantitativen Ergebnissen der Interview- und Fragebogenstudie und den Ergebnissen bisheriger Studien herzustellen, wurden im Folgenden alle kategorisierten Aussagen finalistischer und wissenschaftlicher Vorstellungen

jeweils vor und nach der Durchführung der Unterrichtssequenz zusammengefasst. Dabei sind finalistische Vorstellungen dargestellt durch die Kategorien „Notwendigkeit“ und „Artenentstehung aus Notwendigkeit“ und wissenschaftliche Vorstellungen durch die Kategorien „Entwicklung Individuum, Überlebensvorteil (und Fortpflanzung)“, „Überleben der besser Angepassten“, „Entwicklung durch Fortpflanzung“, „Zufällige Variation der Nachkommen“, „Vererbung von Merkmalen“, „Mutation“, „Trennung Ursprungsart“, „Mutation der Nachkommen“ und „Artenentstehung durch Fortpflanzung“.

Tabelle 26: Anzahl der codierten Schüleraussagen zu finalistischen (Teil-)Vorstellungen in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.

<i>finalistisch</i>	Vor der Unterrichtssequenz	Nach der Unterrichtssequenz
Erprobung I		
Anzahl der codierten Aussagen	12	2
Erprobung II		
Anzahl der codierten Aussagen	9	8
Erprobung III		
Anzahl der codierten Aussagen	9	2

Wie aus Tabelle 26 hervorgeht, wurden vor der Unterrichtssequenz insgesamt 30 finalistische Teilvorstellungen kategorisiert, wohingegen es danach nur noch 12 Aussagen waren. Das bedeutet einen Rückgang finalistischer Teilvorstellungen um 60 %. Dabei ist die Anzahl der zugeordneten Schüleraussagen, die eine zweckgebundene und zielgerichtete Entwicklung beschreiben, in allen drei Erprobungsdurchläufen gesunken, am stärksten in der ersten Erprobung.

Tabelle 27: Anzahl der codierten Schüleraussagen zu wissenschaftlichen (Teil-)Vorstellungen in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.

<i>wissenschaftlich</i>	Vor der Unterrichtssequenz	Nach der Unterrichtssequenz
Erprobung I		
Anzahl der codierten Aussagen	6	34
Erprobung II		
Anzahl der codierten Aussagen	18	31
Erprobung III		
Anzahl der codierten Aussagen	27	36

Tabelle 27 zeigt Schüleraussagen, die (teilweise) wissenschaftliche Erklärungen zur Entwicklung von Lebewesen, Populationen oder Arten beschrieben haben. Vor der Durchführung des Unterrichtsarrangements wurden insgesamt 51 Aussagen in einem teilweise wissenschaftlichen Kontext geäußert, wohingegen es danach 101 Schüleraussagen waren. Das bedeutet einen Zugewinn wissenschaftlicher Teilvorstellungen um fast 100%.

Die qualitative Auswertung prominenter Vorstellungen erfolgt über die kategorienbasierte Einzelfallanalyse der Lernendenaussagen in den nachfolgenden Kapiteln (7.2, 7.3, 7.4). Zudem werden die Ergebnisse der Vor- und Nachfragebögen dargestellt. Diese sind zusammen mit den Vor- und Nachinterviews jeweils den drei durchgeführten Erprobungszyklen zugeordnet.

7.2 Erster Zyklus

Der erste Zyklus wurde mit 21 Schülerinnen und Schülern einer siebten Klasse durchgeführt. Durch den Vorunterricht zum Thema „Wolf und Hund“ war den Schülerinnen und Schülern der Begriff der Anpassung nicht fremd, sie hatten jedoch im Unterricht keinen weiteren Bezug zur Evolution hergestellt (mündliche Angabe des Klassenlehrers).

Die erste Datenerhebung startete am 06.09.2021 mit dem Vorfragebogen (Kapitel 6.2). Anschließend wurden Vorinterviews nach dem entwickelten Leitfaden (Kapitel 6.3) geführt. Nach der Durchführung der Unterrichtssequenz wurde zunächst der Nachfragebogen ausgefüllt, um die Untersuchung am 07.10.2021 mit den Nachinterviews abzuschließen (Tab. 28).

7.2.1 Ergebnisse der Fragebögen

Die ausgewerteten Fragebögen vor und nach der ersten Durchführung der Unterrichtssequenz (Abb. 26) zeigen einen Verständniszuwachs in zwei von vier Szenarien, wobei die Zustimmung zur wissenschaftlichen Erklärungsweise im Szenario „Geparde“ um 14,2% und im Szenario „Kakteen“ um 4,8% gestiegen ist. Außerdem haben im Szenario „Venusfliegenfallen“ 9,5% und im Szenario „Schnecken“ 4,7% weniger Schülerinnen und Schüler einer wissenschaftlichen Erklärung nach der Unterrichtssequenz zugestimmt. Gleichzeitig zeigt die Auswertung der Fragebögen eine hohe Zustimmung zu finalistischen Erklärungsmustern jeweils vor und nach der Durchführung der Unterrichtssequenz (Abb. 26).

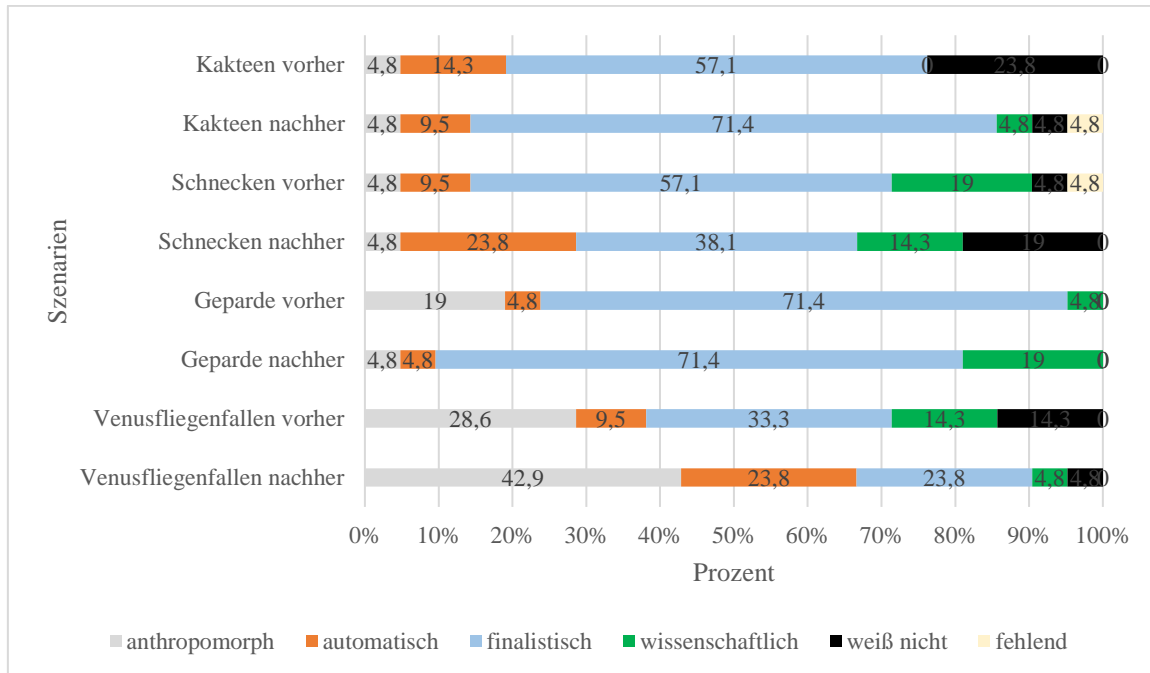


Abbildung 26: Darstellung der vor- und nachunterrichtlichen Vorstellungen aus dem Fragebogen der ersten Datenerhebung.

Außerdem konnten anthropomorphe Denkmuster und Vorstellungen einer automatischen Entwicklung von Merkmalen, sowohl vor der Durchführung der Unterrichtssequenz als auch danach, in allen Szenarien nachgewiesen werden (Abb. 26).

7.2.2 Ergebnisse der Interviews

Einzelfallanalyse: Schülerin 1, Schülerin 2, Schüler 3, Schülerin 4, Schüler 5

Im Folgenden werden die Einzelfallanalysen der ersten Erprobung vorgestellt. Dazu wurden Vorstellungen zu evolutionären Mechanismen von S1 bis S5 jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz untersucht. Zur Verortung der Interviews im Erprobungszyklus veranschaulicht Tabelle 28 den generellen Ablauf der ersten Untersuchung.

Tabelle 28: Ablauf des ersten Erprobungszyklus.

Ablaufschema: Erprobung I				
Vorfragebogen → alle	Vorinterview → S1 – S5	Unterrichtssequenz → alle	Nachinterview → S1 – S5	Nachfragebogen → alle

Einzelfallanalyse Schülerin 1

Das Vorinterview mit Schülerin 1 dauerte ca. 12 min, das Nachinterview ca. 8 min. Insgesamt wurden hierbei jeweils 16 Aussagen vor der Unterrichtssequenz und 14 Aussagen danach codiert.

Vor der Unterrichtssequenz:

Bevor die Unterrichtssequenz durchgeführt wurde, beschreibt die Schülerin die Anpassung bestimmter Merkmale durch die Umwelt. Dabei nimmt sie Bezug zu bestimmten Mineralstoffen, die durch den Boden aufgenommen werden und so zu spezifischen Merkmalsausprägungen führen (1.S1, Pos. 86). Des Weiteren lässt sich neben Äußerungen des Nichtwissens (1.S1, Pos. 26) auch die Beschreibung einer automatischen Entwicklung von Merkmalen kategorisieren (1.S1, Pos. 74). Die Entstehung einer neuen Art erläutert sie vor der Unterrichtssequenz zum einen durch Hybridisierung, indem sie die Verpaarung von zwei Tierarten zu einer gemischten Tierart beschreibt (1.S1, Pos. 88) und zum anderen durch die Vermischung mit Bakterien (1.S1, Pos. 48-50). Außerdem bezieht sie sich bei ihren Erklärungen auf den Vergleich mit bereits im Unterricht behandelte(r) Thematik, hier dem Wolf (1.S1, Pos. 92).

Nach der Unterrichtssequenz:

Nach der Unterrichtssequenz beschreibt Schülerin 1 die Anpassung bestimmter Merkmale anthropomorph: „Also ich glaube die ham früher auch schon Fliegen und so gefangen, aber dann ham sie gemerkt, dass das nich so gut geklappt hat und dann ham die so diese Spitzen [...] entwickelt.“ (2.S1, Pos. 4). Außerdem wurden finalistische Erklärungen zur Entwicklung von Populationen kategorisiert, da sie eine Zielgerichtetheit der Anpassung beschreibt (2.S1, Pos. 6). Neben weiterhin bestehender Vorstellung einer Anpassung durch die Umwelt (2.S1, Pos. 38) nutzt sie erstmals auch wissenschaftliche Erklärungen zur Entwicklung von Populationen, indem sie eine Entwicklung durch Fortpflanzung beschreibt (2.S1, Pos. 24, Pos. 40). Auch zur Entstehung einer neuen Art zieht sie neben ihrer bereits zuvor geäußerten Vorstellung einer Hybridisierung (2.S1, Pos. 30) nun auch teilweise wissenschaftliche Erklärungen zur Artenentstehung heran: „Ähm, also die ham sich dann wahrscheinlich mit Schnecken, die im Gras leben z-gepaart und is dann ne eigene Art entstanden.“ (2.S1, Pos. 42). Zudem wird die Entwicklung einer neuen Art durch Trennung der Ursprungsart beschrieben (1.S1, Pos. 60).

Tabelle 29: Übersicht der kategorisierten Vorstellungen von Schülerin 1 jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.

■ finalistisch ■ wissenschaftlich ■ anthropomorph ■ Umwelt ■ Vergleich mit Bekanntem

ermittelte Kategorien vorher	ermittelte Kategorien nachher
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Größenänderung ▪ Nichtwissen ▪ Umwelt ▪ Automatismus ▪ Hybridisierung ▪ Vergleich mit Bekanntem ▪ Artenentstehung durch Bakterien 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Anthropomorphismus ▪ Notwendigkeit ▪ Typenwechsel ▪ Fortpflanzung ▪ Hybridisierung ▪ Artenentstehung durch Fortpflanzung ▪ Trennung der Ursprungsart

Wie aus Tabelle 29 ersichtlich, äußert Schülerin 1 vor der Unterrichtssequenz keine wissenschaftlichen Vorstellungen. Ihre Antworten im Vorinterview erscheinen ad hoc generiert und sind inkonsistent. Sie bezieht sich auf einen Vergleich mit zuvor im Unterricht behandelte(r) Thematik, um ihre Vorstellungen auszudrücken (Wolf, Bakterien). Diese sind jedoch Fehlvorstellungen (Kapitel 3.6). Dagegen erklärt sie im Nachinterview die Entwicklung von Populationen durch Fortpflanzung. Neben weiterhin bestehenden Alltagsvorstellungen nutzt sie erstmals auch teilweise wissenschaftliche Erklärungen zur Beantwortung der Frage nach der Entstehung einer neuen Art.

Einzelfallanalyse Schülerin 2

Das Vorinterview mit Schülerin 2 dauerte ca. 14 min, das Nachinterview ca. 8 min. Insgesamt wurden hierbei jeweils 34 Aussagen vor der Unterrichtssequenz und 17 Aussagen danach codiert.

Vor der Unterrichtssequenz:

Schülerin 2 beschreibt vor der Unterrichtssequenz die Entwicklung von Populationen mehrfach zielgerichtet aus einer Notwendigkeit heraus (1.S2, Pos. 24, Pos. 50, Pos. 85). Außerdem erklärt sie im botanischen Szenario, dass sich die heute lebende Art nicht weiter verändern würde (1.S2, Pos. 40). Neben ihrem Nichtwissen (1.S2, Pos. 24, Pos. 26, Pos. 63) schildert sie Vorstellungen einer automatischen Entwicklung: „Ich glaub das hat sich halt so entwickelt. Erst war sie vielleicht anders. Vielleicht hatte sie . also erst andere und dann hat sich das so entwickelt zu dem was jetzt is. [...]“ (1.S2, Pos. 28), wobei sie sich ebenso zur

individuellen Varianz der Nachkommen äußert (1.S2, Pos. 32). Auch diese Schülerin vergleicht die Entwicklung im vorgegebenen Szenario mit bereits Bekanntem, indem sie unter anderem auch Bezug zum Menschen nimmt (1.S2, Pos. 63). Dabei beschreibt sie zudem eine Vererbung von Merkmalen (1.S2, Pos. 48). Im weiteren Verlauf des Vorinterviews werden neben anthropomorphen Vorstellungen (1.S2, Pos. 50) auch Vermutungen einer selbstständigen Anpassung von Lebewesen geäußert (1.S2, Pos. 42, Pos. 48). Sie beschreibt neben der Natur als Merkmalsausprägung (1.S2, Pos. 50) außerdem eine Anpassung durch die Umwelt: „[...] z. B. wenn die jetzt heller werden würden, wenn Sonne drauf scheint [...]“ (1.S2, Pos. 87). Im zoologischen Szenario äußert sie die Vorstellung, dass sich Arten verändern (1.S2, Pos. 79), später vermutet sie die Entwicklung als Typenwechsel: „Also sie verändern sich glaub ich - nicht jeder sieht dann anders aus, sondern verändern sich alle zusammen n bisschen. [...]“ (1.S2, Pos. 87). Die Entwicklung einer neuen Art wird durch die Trennung der Ursprungsart beschrieben (1.S2, Pos. 79).

Nach der Unterrichtssequenz:

Nach der Durchführung der Unterrichtssequenz erklärt Schülerin 2 die Anpassung von Lebewesen zunächst anthropomorph (2.S2, Pos. 4), wobei sie erstmals Vorstellungen zum Überleben der besser Angepassten äußert (2.S2, Pos. 6). Außerdem vermutet sie nach der Unterrichtssequenz eine Entwicklung einzelner Individuen, welche einen Überlebensvorteil hatten (2.S2, Pos. 20). Bei der Frage nach der Entwicklung der Teilpopulationen bezieht sie sich auf die durchgeführte Simulation (2.S2, Pos. 22). Auch im späteren Interviewverlauf vergleicht sie ihre Vermutung mit bereits Bekanntem, hier der Entwicklung vom Wolf zum Haushund (2.S2, Pos. 50). Sie erklärt zur Frage nach der Anpassung der Lebewesen im zoologischen Szenario die individuelle innerartliche Varianz dieser „Also v-man is ja von Natur aus nicht gleich. äh von . Geburt an nicht unbedingt gleich. Und dann warn halt vielleicht auch mal helle dabei und auch mal dunkle.“ (2.S2, Pos. 44). Die Entwicklung einer neuen Pflanzenart wird durch eine Trennung der Ursprungsart beschrieben (2.S2, Pos. 36). Auch zur Entwicklung einer neuen Tierart äußert sie wissenschaftliche Vermutungen zur Mutation der Nachkommen (2.S2, Pos. 50-54).

Tab. 30: Übersicht der kategorisierten Vorstellungen von Schülerin 2 jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.

■ finalistisch ■ wissenschaftlich ■ anthropomorph ■ Umwelt ■ Vergleich mit Bekanntem

ermittelte Kategorien vorher	ermittelte Kategorien nachher
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Anthropomorphismus ▪ Notwendigkeit ▪ Entwicklung von Arten ▪ Nichtwissen ▪ Automatismus ▪ Zufällige Variation der Nachkommen ▪ Vergleich mit Bekanntem ▪ Konstanz der Arten ▪ Trennung der Ursprungsart ▪ Selbstständige Anpassung ▪ Vererbung von Merkmalen ▪ Natur ▪ Umwelt ▪ Typenwechsel 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Anthropomorphismus ▪ Überleben der besser Angepassten ▪ Entwicklung von Arten ▪ Entwicklung Individuum, Überlebensvorteil (und Fortpflanzung) ▪ Vergleich mit Bekanntem (Simulation) ▪ Individuelle innerartliche Varianz ▪ Trennung der Ursprungsart ▪ Artenentstehung durch Mutation

Zusammengefasst zeigt Schülerin 2 viele unterschiedliche Fehlvorstellungen im Vorinterview (Tab. 30). Neben finalistischen Vermutungen zur Entwicklung von Populationen, äußert sie Vorstellungen einer automatischen Anpassung und beschreibt die Natur als Merkmalsausprägung. Sie erwähnt bereits vor der Unterrichtssequenz die Variation von Nachkommen und schildert ihre Vermutungen in einem Vergleich. Nachdem die Unterrichtssequenz durchgeführt wurde, beschreibt sie neben anthropomorphen Vorstellungen auch teilweise wissenschaftliche Erklärungen zum Überleben der besser Angepassten. Zudem erklärt sie die Entwicklung einzelner Individuen einer Population, welche durch ihre Merkmale zufällig besser angepasst waren sowohl im botanischen als auch im zoologischen Szenario. Auch die Entstehung einer neuen Art erklärt sie durch wissenschaftliche Teilvorstellungen.

Einzelfallanalyse Schüler 3

Das Vorinterview mit Schüler 3 dauerte ca. 12 min, das Nachinterview ca. 11 min. Insgesamt wurden hierbei jeweils 22 Aussagen vor der Unterrichtssequenz und 15 Aussagen danach codiert.

Vor der Unterrichtssequenz:

Im Vorinterview beschreibt Schüler 3 zum einen die automatische Entwicklung von Populationen, zum anderen eine Zielgerichtetheit der Anpassung (1.S3, Pos.12). Die Frage nach der Varianz der Individuen beantwortet er wie folgt: „Da gibt’s n paar Unterschiede.“ (1.S3, Pos.16). Außerdem stimmt er einer Entwicklung durch Fortpflanzung zu: „Die paaren sich.“ (1.S3, Pos. 26). Auch dieser Schüler beschreibt seine Vorstellung zur Entwicklung bestimmter Merkmale mit einem Vergleich, hier der Entwicklung vom Braunbären zum Eisbären (1.S3, Pos. 28). Die Frage nach seiner Vermutung über die Entstehung der helleren Fellfarbe beantwortet er mit Nichtwissen (1.S3, Pos. 34), welches mehrfach in seinen Äußerungen kategorisiert wurde (1.S3, Pos. 56, 64). Außerdem nutzt er in seinen Erläuterungen den Vergleich zum Menschen (1.S3, Pos. 44). Er beschreibt des Weiteren eine selbstständige Anpassung von Individuen in Verbindung mit einer Notwendigkeit zur Entwicklung (1.S3, Pos. 62). Außerdem äußert er die Vermutung zur Anpassung von Populationen durch die Umwelt, hier den Boden (1.S3, Pos. 72). Die Entstehung einer neuen Art wird als ein Prozess der Hybridisierung geschildert: „Und. Aber wenn das jetzt so in der Natur passieren würde, dann glaub ich, dass so zwei unterschiedliche Entwicklungen aufeinandertreffen und sich dann paaren.“ (1.S3, Pos. 86).

Nach der Unterrichtssequenz

Schüler 3 beschreibt nach der Unterrichtssequenz mehrfach die zufällige Varianz von Nachkommen: „Und zwar Gene. [...] Sich zufällig nich identisch is wie davor.“ (2.S3, Pos. 4-6), „Halt ne Änderung also n so z eigentlich n Gendefekt, aber halt n guter.“ (2.S3, Pos. 50). Zudem äußert er wissenschaftliche Vorstellungen zum Überleben der besser angepassten Individuen einer Population, sowohl im botanischen (2.S3, Pos. 8) als auch im zoologischen Szenario (2.S3, Pos. 34). Auch nach der Unterrichtssequenz nutzt er den Vergleich zum Menschen, um seine Vorstellungen zu schildern (2.S3, Pos. 38, 64). Er beschreibt außerdem die Vererbung von Merkmalen: „[...] die Schneckenkinder warn dann auch wieder dunkler. [...]“ (2.S3, Pos. 56) und äußert die Vorstellung von der Entwicklung einiger Individuen, die durch eine zufällige Angepasstheit größere Überlebenschancen haben (2.S3, Pos. 60). Die Entwicklung einer neuen Art wird wissenschaftlich durch die Variation der Nachkommen beschrieben (2.S3, Pos. 66).

Tabelle 31: Übersicht der kategorisierten Vorstellungen von Schüler 3 jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.

■ finalistisch ■ wissenschaftlich ■ anthropomorph ■ Umwelt ■ Vergleich mit Bekanntem

ermittelte Kategorien vorher	ermittelte Kategorien nachher
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Automatismus + Notwendigkeit ▪ Individuelle innerartliche Varianz ▪ Vergleich mit Bekanntem ▪ Nichtwissen ▪ Fortpflanzung ▪ Selbstständige Anpassung + Notwendigkeit ▪ Umwelt + Notwendigkeit ▪ Hybridisierung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zufällige Varianz der Nachkommen ▪ Überleben der besser Angepassten ▪ Vergleich mit Bekanntem ▪ Vererbung von Merkmalen ▪ Entwicklung Individuum, Überlebensvorteil (Fortpflanzung) ▪ Artenentstehung durch Mutation

Wie aus Tabelle 31 ersichtlich, beschreibt Schüler 3 vor der Unterrichtssequenz vielfältige Alltagsvorstellungen. Seine Vermutungen reichen von einer automatischen Entwicklung von Merkmalen über eine Notwendigkeit der Entwicklung bis hin zu einer Anpassung durch die Umwelt. Zudem schildert er wissenschaftliche Teilvorstellungen zur Entwicklung durch Fortpflanzung. In seiner Vorstellung vor der Unterrichtssequenz entsteht eine neue Art durch Hybridisierung. Er nutzt zur Darstellung seiner Vermutungen sowohl im Vor- als auch im Nachinterview einen Vergleich zu bereits Bekanntem. Nach der Durchführung der Unterrichtssequenz beschreibt er das Überleben der besser angepassten Individuen einer Population. Er äußert sich zur Vererbung von Merkmalen und beschreibt die Entwicklung einer neuen Art durch Mutation der Nachkommen.

Einzelfallanalyse Schülerin 4

Das Vorinterview mit Schülerin 4 dauerte ca. 9 min, das Nachinterview ca. 6 min. Insgesamt wurden hierbei jeweils 21 Aussagen vor der Unterrichtssequenz und 16 Aussagen danach codiert.

Vor der Unterrichtssequenz

Schülerin 4 beschreibt vor der Unterrichtssequenz häufig finalistische Vorstellungen über die Entwicklung von Populationen (1.S4, Pos. 20, 26, 40) „Also ich glaub die würden auch die Farbe ändern, damit sie besser getarnt sind.“ (1.S4 Pos. 62). Sie vermutet zudem eine automatische Entwicklung von Arten über einen großen Zeitraum (1.S4, Pos. 22), wobei sie auch Vermutungen über eine stufenweise Entwicklung äußert (1.S4, Pos. 52). Im Vorinterview beschreibt sie die selbstständige Anpassung von Individuen (1.S4, Pos. 28)

ebenso wie Vorstellungen zur individuellen innerartlichen Varianz (1.S4, Pos. 28). Des Weiteren schildert sie eine Anpassung durch die Umwelt (1.S4, Pos.50), beantwortet allerdings eine detailliertere Nachfrage dazu mit Nichtwissen (1.S4, Pos. 54). Auch diese Schülerin äußert ihre Vorstellung zur Anpassung durch den Vergleich mit Bekanntem, hier dem Menschen (1.S4, Pos. 50). Die Entwicklung einer neuen Art beschreibt sie zum einen mit wissenschaftlichen Teilvorstellungen zur Mutation der Nachkommen (1.S4, Pos. 71), zum anderen durch eine Hybridisierung (2.S4, Pos. 73) und der Vorstellung einer Entwicklung durch Bakterien: „Und es hat ja auch mit Bakterien und so zu tun. [...] Das z. B. hm, wir sind ja auch eine Bakterie gewesen, das im Laufe der Jahre dann immer mehr zum Mensch geworden, also.“ (1.S4, Pos. 77).

Nach der Unterrichtssequenz

Im Nachinterview beschreibt Schülerin 4 die Entwicklung von Populationen über die individuelle innerartliche Varianz von Individuen sowie damit verbundenen ungleichen Überlebenschancen einzelner, wobei sie sich auf die durchgeführte Simulation bezieht (2.S4, Pos. 6). Sie stellt somit einen Bezug zwischen der individuellen Varianz und dem ungleichen Fortpflanzungserfolg her. Neben anthropomorphen Vermutungen zur Entwicklung von Anpasstheit (2.S4, Pos. 30) beschreibt sie auch wissenschaftliche Teilvorstellungen zur Entwicklung durch Fortpflanzung und individueller Varianz (2.S4, Pos. 36). Die Entwicklung einer neuen Art erklärt sie durch die Mutation der Nachkommen und den damit verbundenen Auswirkungen auf den Fortpflanzungserfolg (2.S4, Pos. 18-24).

Zusammengefasst nutzt Schülerin 4 vor der Unterrichtssequenz vielfältige, zumeist ad hoc generierte Fehlvorstellungen zur Erklärung evolutionärer Entwicklungen (Tab. 32). Neben finalistischen Vermutungen und Vorstellungen zu einer automatischen Entwicklung und der Anpassung durch die Umwelt beschreibt sie auch wissenschaftliche Teilvorstellungen. Zudem erklärt sie die Entstehung einer neuen Art sowohl in einem Vergleich durch Mutation der Nachkommen als auch durch Hybridisierung und einer Entwicklung durch Bakterien. Dahingegen beschreibt sie im Nachinterview die Entwicklung einzelner Individuen und die damit verbundenen ungleichen Überlebenschancen dieser. Neben anthropomorphen Erklärungsmustern schildert sie die Entwicklung durch Fortpflanzung und erklärt auch die Entstehung einer neuen Art durch wissenschaftliche Teilvorstellungen.

Tabelle 32: Übersicht der kategorisierten Vorstellungen von Schülerin 4 jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.

■ finalistisch ■ wissenschaftlich ■ anthropomorph ■ Umwelt ■ Vergleich mit Bekanntem

ermittelte Kategorien vorher	ermittelte Kategorien nachher
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vergleich mit Bekanntem ▪ Notwendigkeit ▪ Entwicklung von Arten ▪ Automatismus ▪ Selbstständige Anpassung ▪ Individuelle innerartliche Varianz ▪ Umwelt ▪ Stufenweise Entwicklung ▪ Nichtwissen ▪ Artenentstehung durch Mutation ▪ Hybridisierung ▪ Artenentstehung durch Bakterien 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vergleich mit Bekanntem (Simulation) ▪ Entwicklung Individuum, Überlebensvorteil (und Fortpflanzung) ▪ Individuelle innerartliche Varianz ▪ Überleben der besser Angepassten ▪ Anthropomorphismus ▪ Fortpflanzung ▪ Artenentstehung durch Mutation ▪ Artenentstehung durch Fortpflanzung + Individuelle innerartliche Varianz

Einzelfallanalyse Schüler 5

Das Vorinterview mit Schüler 5 dauerte ca. 8 min, das Nachinterview ca. 6 min. Insgesamt wurden hierbei jeweils 16 Aussagen vor der Unterrichtssequenz und 17 Aussagen danach codiert.

Vor der Unterrichtssequenz:

Im Vorinterview schildert Schüler 5 eine Entwicklung von Populationen durch Bakterien (1.S5, Pos. 20). Er erwähnt zunächst die Varianz von Individuen einer Art (1.S5, Pos.26) und erklärt anschließend die Größenänderung als Entwicklung über Jahrhunderte (1.S5, Pos.29). Die Frage nach der Entwicklung einer Angepasstheit beantwortet er mit Nichtwissen (1.S5, Pos. 73). Im Interviewverlauf wird die Angepasstheit im zoologischen Szenario durch Zutun der Natur erwähnt (1.S5, Pos. 77). Dass sich Arten entwickeln, hängt für ihn mit der Veränderung der Umwelt zusammen (1.S5, Pos. 81). Des Weiteren beschreibt er die Entwicklung bestimmter Merkmale durch die Umwelt (1.S5, Pos. 87). Die Entwicklung einer neuen Art wird zum einen durch Bakterien und die Umwelt (1.S5, Pos. 55) und zum anderen durch finalistische Vorstellungen beschrieben (1.S5, Pos. 93-95).

Nach der Unterrichtssequenz

Auch nach der Unterrichtssequenz beschreibt Schüler 5 die Angepasstheit von Populationen durch die Umwelt, wobei er ebenso eine automatische Entwicklung schildert (2.S5, Pos. 4). Die Frage nach der Entwicklung der Angepasstheit im botanischen Szenario beantwortet er mit Nichtwissen (2.S5, Pos. 6). Auch im Nachinterview beschreibt er eine Größenänderung als Entwicklung über Jahrhunderte (2.S5, Pos. 14). Nachdem er die selbstständige Anpassung von Lebewesen schildert, erläutert er erstmals auch die Vererbung von Merkmalen auf die Nachkommen (2.S5, Pos. 24). Er deutet außerdem die Entwicklung als Typenwechsel an (2.S5, Pos. 38). Auch er nutzt den Vergleich mit bekannten Beispielen, um seine Vermutungen zur Artenentwicklung auszudrücken (2.S5, Pos. 42). Hierbei beschreibt er die Entwicklung einer neuen Art auch durch den Boden und nutzt in seinen Äußerungen des Weiteren den Begriff der Erschaffung ohne diesen näher zu definieren (2.S5, Pos. 42).

Tabelle 33: Übersicht der kategorisierten Vorstellungen von Schüler 5 jeweils vor und der Unterrichtssequenz.
■ finalistisch ■ wissenschaftlich ■ anthropomorph ■ Umwelt ■ Vergleich mit Bekanntem

ermittelte Kategorien vorher	ermittelte Kategorien nachher
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bakterien ▪ Individuelle innerartliche Varianz ▪ Größenänderung ▪ Nichtwissen ▪ Natur ▪ Entwicklung von Arten ▪ Umwelt ▪ Artenentstehung durch Bakterien + Artenentstehung durch Umwelt ▪ Artenentstehung aus Notwendigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Umwelt ▪ Automatismus ▪ Größenänderung ▪ Nichtwissen ▪ Selbstständige Anpassung ▪ Vererbung von Merkmalen ▪ Typenwechsel ▪ Vergleich mit Bekanntem ▪ Artenentstehung durch Umwelt ▪ Erschaffung

Zusammengefasst schildert Schüler 5 vor der Unterrichtssequenz vielfältige Fehlvorstellungen zu evolutionären Entwicklungen (Tab. 33). Die Entstehung einer neuen Art beschreibt er sowohl durch eine Notwendigkeit der Entwicklung als auch durch eine Entwicklung aus Bakterien und das Zusammenwirken mit der Umwelt. Auch im Nachinterview äußert er unterschiedliche Alltagsvorstellungen zur Entwicklung von Populationen. Daneben beschreibt er erste wissenschaftliche Teilvorstellungen zur Vererbung von Merkmalen.

7.2.3 Weiterentwicklung des Unterrichtsdesigns

Durch die Analyse des Vorfragebogens (Abb. 26) konnten erste Einblicke in vorunterrichtliche Vorstellungen der Lernenden insgesamt gewonnen werden. Zusammen mit den diagnostizierten vorunterrichtlichen Vorstellungen aus den Vorinterviews wurde das Unterrichtsdesign nach den herausgestellten didaktischen Prinzipien (Kapitel 3.1 - 3.3) so angepasst, dass sich jeder Schüler und jede Schülerin den eigenen Vorstellungen bewusst werden kann (Kapitel 5), um eine Vorstellungsentwicklung zu initiieren (Kattmann 2022). Nach der Durchführung der Unterrichtssequenz und der erneuten Analyse der Schülervorstellungen im Nachfragebogen und den Nachinterviews konnten mehrere Problemstellen identifiziert werden, die für einen Lernzuwachs kritisch sind:

1. Neben Vorstellungen einer zweckgebundenen Entwicklung schreiben die Lernenden Tieren und Pflanzen oftmals ein Bewusstsein zu (Abb. 26, S1, S2, S4). Diese finalistischen und anthropomorphen Vorstellungen wurden bereits in einigen Studien zur Untersuchung des Wissens zu evolutionären Mechanismen aufgedeckt (Lammert 2012, Fenner 2013, Brennecke 2015, Roth 2017, Beniermann 2019, Kuschmierz et al. 2021). Da gerade anthropomorphe Vorstellungen eine zufällige Anpasstheit ausschließen (Lammert 2012), sollten diese unbedingt aktiv im Unterricht aufgegriffen werden, um sie im Alltag gegenüber der Verwendung in wissenschaftlichen Kontexten abzugrenzen (Kapitel 3.3).
2. Die Schülerinnen und Schüler zeigen großes Interesse am verwendeten Material, weshalb Aufgabenstellungen in den Hintergrund geraten (Beobachtung der Unterrichtssequenz „Entwicklung der Alpenruspen“ durch die Simulationsleiterin).
3. Die Lernenden haben teilweise Schwierigkeiten, den Ablauf der Simulation „Nahrungstransport der Kernbeißer“ korrekt nachzuvollziehen (Beobachtung der Simulationsleiterin während der Unterrichtssequenz).
4. Der Erkenntnisgewinn in den botanischen Szenarien ist eher gering (Abb. 26), was auch die Antworten aus der Unterrichtssequenz im Protokoll zur Simulation „Entwicklung der Alpenruspen“ bestätigen. Diese wurden nur zu einem kleinen Teil wissenschaftlich beantwortet (Beobachtung der Unterrichtssequenz „Entwicklung Alpenruspen“ durch die Simulationsleiterin). Zudem schildern Schülerin 1 und Schüler 5 im Nachinterview im Szenario „Venusfliegenfallen“ weiterhin gefestigte Alltagsvorstellungen.

Diese kritischen Stellen konnten zur Verbesserung der Unterrichtssequenz genutzt werden, indem sowohl das Material als auch die Methodik an die Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler angepasst wurden:

Methodik:

- 1) Die Fragen zur Reflexion sollen so gestellt werden, dass diese zunächst von jedem Lernenden für sich beantwortet werden können, bevor diese im Plenum diskutiert werden (Bruckermann & Schlüter 2017, Kapitel 7.7). Somit wird sichergestellt, dass sich jeder Schüler und jede Schülerin mit den eigenen Vorstellungen auseinandersetzt.
- 2) Aufgaben sollen immer eindeutig formuliert werden, bevor das Material ausgeteilt wird.

Material:

- 3) Ein Ablaufplan zur Simulation „Nahrungstransport der Kernbeißer“ soll zu jeder Zeit sichtbar die einzelnen Schritte der Simulation klar verständlich abbilden (Abb. 34).
- 4) Statt des großen Simulationsfeldes zur Entwicklung der Alpenruspen, auf dem jederzeit beide Gebirgsseiten sichtbar sind, soll das Simulationsfeld in der Mitte gefaltet werden können, sodass die Simulation zweimal hintereinander durchgeführt wird und jeweils nur eine Gebirgsseite zu sehen ist (Abb. 37 & 39). So wird der Fokus der Lernenden zunächst auf die Entwicklung der Alpenruspen der Trockenseite und anschließend auf die der Wetterseite gelenkt. Durch die sukzessive Durchführung der Simulation auf jeder Bergseite wird der Effekt der unterschiedlichen Ortsverhältnisse (Habitat, Zoologie, Witterung) deutlich. Zudem sollen die Ereignisfelder direkt auf das Simulationsfeld gedruckt sein, um die Materialfülle zu reduzieren.

Anstelle von Drehscheiben, um die Zufälligkeit der Nachkommen darzustellen, sollen Mutationssäckchen verwendet werden, aus denen Nachkommen verdeckt gezogen werden. Diese Mutationssäckchen sind den Lernenden bereits aus der vorangegangenen Simulation „Nahrungstransport der Kernbeißer“ bekannt und enthalten die verschiedenen Blütenvarianten in bestimmter Anzahl. Somit soll Verständnisschwierigkeiten und weiterer Ablenkung durch zusätzliches Material vorbeugt werden.

7.3 Zweiter Zyklus

Der zweite Zyklus wurde mit 19 Schülerinnen und Schülern einer sechsten Klasse durchgeführt. Das Vorwissen der Lernenden zum Thema „Anpassung“ war durch den Vorunterricht zum Thema „Hund und Wolf“ geprägt, wobei zur Evolution im Allgemeinen noch kein Unterricht stattfand (mündliche Angaben der Biologielehrerin).

Die zweite Datenerhebung startete am 12.01.2022 mit dem Vorfragebogen (Kapitel 6.2). Anschließend wurden Vorinterviews nach dem entwickelten Leitfaden (Kapitel 6.3) geführt. Nach der Durchführung der verbesserten Unterrichtssequenz wurde zunächst der Nachfragebogen ausgefüllt, um die Untersuchung am 02.02.2022 mit den Nachinterviews abzuschließen (Tab. 34).

7.3.1 Ergebnisse der Fragebögen

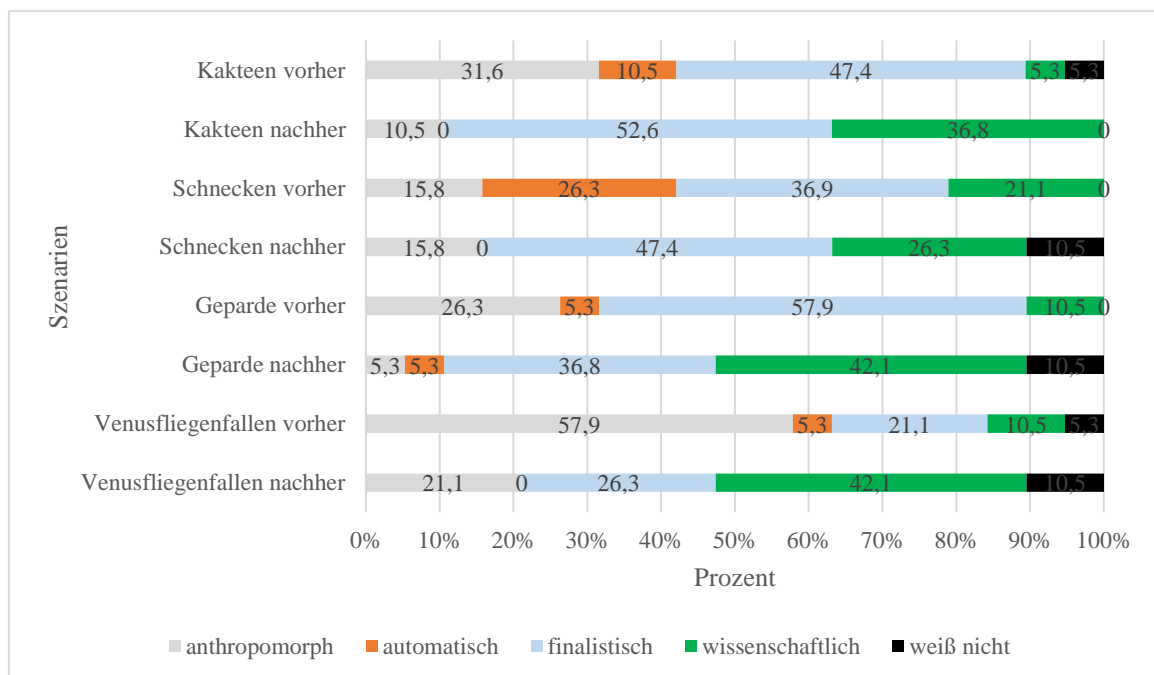


Abbildung 27: Darstellung der vor- und nachunterrichtlichen Vorstellungen aus dem Fragebogen der zweiten Datenerhebung.

In der zweiten Datenerhebung und Testung der verbesserten Unterrichtssequenz zeigt die Auswertung der vorunterrichtlichen Lernendenvorstellungen ähnliche Erklärungsmuster wie in dem zuvor analysierten Vorfragebogen. Vorherrschend zeigen sich auch hierbei finalistische Vorstellungen in den Szenarien „Geparde“, „Schnecken“ und „Kakteen“. Außerdem konnte im Szenario „Venusfliegenfallen“ mit 57,9% der Schülerinnen und Schüler eine hohe Zustimmung zu anthropomorphen Denkmustern aufgezeigt werden. Im

Vergleich dazu zeigen die Schülerinnen und Schüler in der quantitativen Studie nach der Durchführung der Unterrichtssequenz einen deutlichen Anstieg der Zustimmung zur wissenschaftlichen Erklärungsweise evolutionärer Entwicklungen (Abb. 27).

In allen Szenarien ist die Zustimmung zum wissenschaftlichen Konzept deutlich angestiegen. Konkret haben sowohl im Szenario „Venusfliegenfallen“ als auch im Szenario „Geparde“ 42,1% der Schülerinnen und Schüler die wissenschaftlich korrekte Erklärung als Antwort herangezogen (Abb. 27). Das sind 31,6% mehr Kinder als vor der Unterrichtssequenz. Ähnlich verhält es sich im Szenario „Kakteen“. Im Szenario „Schnecken“ haben nach dem Unterricht 5,2 % mehr Lernende das wissenschaftlich korrekte Denkmuster als Erklärung angegeben. Außerdem ist auch in dieser Klasse eine generell hohe Zustimmung zu finalistischem Denken zu beobachten (Abb. 27).

7.3.2 Ergebnisse der Interviews

Einzelfallanalyse: Schüler 6, Schülerin 7, Schülerin 8, Schüler 9, Schülerin 10

Im Folgenden werden die Einzelfallanalysen der zweiten Erprobung vorgestellt. Dazu wurden Vorstellungen zu evolutionären Mechanismen von S6 bis S10 jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz untersucht. Zur Verortung der Interviews im Erprobungszyklus veranschaulicht Tabelle 34 den generellen Ablauf der zweiten Untersuchung.

Tabelle 34: Ablauf des zweiten Erprobungszyklus.

Ablaufschema: Erprobung II				
Vorfragebogen → alle	Vorinterview → S6 – S10	Unterrichtssequenz → alle	Nachinterview → S6 – S10	Nachfragebogen → alle

Einzelfallanalyse Schüler 6

Das Vorinterview mit Schüler 6 dauerte ca. 12 min, das Nachinterview ca. 10 min. Insgesamt wurden hierbei jeweils 20 Aussagen vor der Unterrichtssequenz und 17 Aussagen danach codiert.

Vor der Unterrichtssequenz:

Vor der Unterrichtssequenz beschreibt Schüler 6 die Entwicklung der Anpasstheit im botanischen Szenario anthropomorph (1.S6, Pos. 14). Er nutzt die Vorstellung, menschliches Denken auf Pflanzen und Tiere zu übertragen, wiederholend an anderer Stelle des Interviews

(1.S6, Pos. 44). Der Schüler stimmt der Artenentwicklung über Jahrhunderte zu (1.S6, Pos. 18), beschreibt jedoch alleinig die Größenänderung als Entwicklung (1.S6, Pos. 20). Neben der Vermutung zur selbstständigen Anpassung schildert der Lernende auch wissenschaftliche Teilvorstellungen zur Entwicklung durch Fortpflanzung (1.S6, Pos. 16). Des Weiteren beschreibt er eine zielgerichtete Anpassung von Populationen (1.S6, Pos. 22). Er nutzt den Vergleich zum aktuellen Thema „Coronavirus“, um die Entwicklung einer neuen Art durch Mutation der Nachkommen anzudeuten (1.S6, Pos. 30). Auch im zoologischen Szenario beschreibt er wissenschaftliche Teilvorstellungen zum Überleben der besser angepassten Individuen einer Population, jedoch an dieser Stelle verbunden mit anthropomorphen Fehlvorstellungen (1.S6, Pos. 44). Zur Entwicklung der Tarnung bei Bänderschnecken vermutet er eine Anpassung durch die Umwelt: „Vielleicht weil sie andere Sachen fressen. Die Gras ist ja dunkler und dann kann sich das Haus ja vielleicht auch dunkler entwickeln.“ (1.S6, Pos. 62). Auch die Entwicklung einer neuen Art beschreibt er mit der Anpassung durch die Umwelt. Außerdem vermutet er neben der Artenentstehung aus einem verstorbenen Tier (1.S6, Pos. 70) zudem die Entwicklung durch Hybridisierung (1.S6, Pos. 50).

Nach der Unterrichtssequenz:

Nach der Durchführung der Unterrichtssequenz beschreibt Schüler 6 die Angepasstheit im botanischen Szenario durch Mutation der Nachkommen (2.S6, Pos. 2). Er stimmt der Entwicklung von Arten über einen großen Zeitraum hinweg zu (2.S6, Pos. 6). Im zoologischen Szenario beschreibt er erneut die Angepasstheit der Tarnung durch die Umwelt (2.S6, Pos. 12). Dabei schreibt er den Bänderschnecken wiederholt menschliche Verhaltensweisen zu (2.S6, Pos. 14). In seinen Vermutungen äußert er Vergleiche mit bereits Bekanntem, hier dem Menschen (2.S6, Pos. 16). Auch im zoologischen Szenario beschreibt er die zufällige Variation der Nachkommen durch Fortpflanzung (2.S6, Pos. 18). Im weiteren Verlauf des Nachinterviews erklärt der Schüler den Zusammenhang zwischen der zufälligen Varianz der Nachkommen und den damit verbundenen ungleichen Überlebenschancen dieser (2.S6, Pos. 24). Die Entwicklung einer neuen Art beschreibt der Schüler zum einen durch die Mutation der Nachkommen: „Ähm wenn sich zwei Tiere paaren und dann ihm eine Mutation rauskommt, die sich wiederum paaren kann [...]“ (2.S6, Pos. 28) und zum anderen durch eine Hybridisierung. Dabei erklärt er auch, dass die Artenentstehung aus zwei

sich fortpflanzenden Individuen verschiedener Arten nur dann möglich ist, wenn die Nachkommen wiederum fortpflanzungsfähig sind (2.S6, Pos. 10, 28).

Tabelle 35: Übersicht der kategorisierten Vorstellungen von Schüler 6 jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.

■ finalistisch ■ wissenschaftlich ■ anthropomorph ■ Umwelt ■ Vergleich mit Bekanntem

ermittelte Kategorien vorher	ermittelte Kategorien nachher
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Notwendigkeit ▪ Größenänderung ▪ Entwicklung von Arten ▪ Vergleich mit Bekanntem ▪ Umwelt ▪ Anthropomorphismus ▪ Überleben der besser Angepassten ▪ Artenentstehung durch Mutation ▪ Hybridisierung ▪ Artenentstehung durch Umwelt ▪ Selbstständige Entwicklung + Fortpflanzung ▪ Verstorbenes Tier 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zufällige Variation der Nachkommen ▪ Entwicklung von Arten ▪ Vergleich mit Bekanntem ▪ Umwelt ▪ Anthropomorphismus ▪ Überleben der besser Angepassten ▪ Artenentstehung durch Mutation ▪ Hybridisierung

Wie aus Tabelle 35 ersichtlich, nutzt Schüler 6 vielfältige Erklärungsmuster, um seine Vorstellungen zu definieren. Hierbei äußert er neben anthropomorphen auch finalistische Vorstellungen. Neben weiteren Alltagsvorstellungen, welche inkonsistent zur Erklärung der Phänomene genutzt werden, äußert der Schüler auch wissenschaftliche Teilvorstellungen zur Fortpflanzung und dem Überleben der besser Angepassten. Zur Entstehung einer neuen Art beschreibt der Schüler mehrere Teilvorstellungen. Auch nach der Unterrichtssequenz schildert er anthropomorphe Erklärungen evolutionärer Phänomene, nutzt jedoch auch wissenschaftliche Teilvorstellungen. Die Entstehung einer neuen Art erklärt er teilweise durch wissenschaftliche Vorstellungen. Dabei verdeutlicht er seine Äußerungen vor und nach der Unterrichtssequenz in Vergleichen mit bereits Bekanntem.

Einzelfallanalyse Schülerin 7

Das Vorinterview mit Schülerin 7 dauerte ca. 7 min, das Nachinterview ca. 9 min. Insgesamt wurden hierbei jeweils 18 Aussagen vor der Unterrichtssequenz und 15 Aussagen danach codiert.

Vor der Unterrichtssequenz:

Schülerin 7 beschreibt vor der Unterrichtssequenz eine automatische Entwicklung von Merkmalen (1.S7, Pos. 8). Die Frage nach der Entwicklung der Angepasstheit beantwortet die Schülerin sowohl im botanischen als auch im zoologischen Szenario mit Nichtwissen (1.S7, Pos. 12, 44). Sie stimmt der Entwicklung von Arten über einen großen Zeitraum zu, spricht dabei aber alleinig von einer Größenänderung (1.S7, Pos. 13-18). Im gesamten Interview antwortet die Schülerin meist sehr knapp, oft unsicher (sie lächelt insgesamt 15mal während ihrer Antworten, z. B. 1.S7, Pos. 36, 52) und beantwortet Nachfragen mit Nichtwissen (1.S7, Pos. 26, 48, 52). Sie beschreibt außerdem eine Anpassung durch die Umwelt (1.S7, Pos. 30). Hierbei äußert sie zudem eine selbstständige Anpassung der Individuen (1.S7, Pos. 46). Die Entwicklung einer neuen Art beschreibt sie in einem Vergleich zur Züchtung von Hunden, wobei sie die Fortpflanzung dieser kurz erwähnt, jedoch nicht weiter zur Erklärung heranzieht (1.S7, Pos. 56).

Nach der Unterrichtssequenz:

Im gesamten Interview nach der Durchführung der Unterrichtssequenz beantwortet Schülerin 7 keine Frage mehr mit Nichtwissen. Stattdessen beschreibt sie die zufällige Variation der Nachkommen als Ursache für die Entstehung einer Angepasstheit (2.S7, Pos. 4). Neben dieser wissenschaftlich korrekten Teilvorstellung erwähnt sie die Natur als Merkmalsausprägung (2.S7, Pos. 4). Sie stimmt der Entwicklung von Arten zu, schildert jedoch eine Notwendigkeit der Entwicklung (2.S7, Pos. 8). Im weiteren Verlauf des Interviews erklärt sie den Zusammenhang zwischen der Angepasstheit eines Individuums und den damit verbundenen höheren Überlebenschancen. Dabei geht sie auch auf den Fortpflanzungserfolg ein (2.S7, Pos. 18). Die Schülerin nutzt diese wissenschaftliche Vorstellung auch zur Erklärung der Angepasstheit im zoologischen Szenario und deutet dabei auch die Vererbung von Merkmalen an: „[...] eine Schnecke so besser angepasst ist. Also es kann einfach sein, dass die bisschen heller ist, dass die dann halt mehr Überlebenschancen hat, weil und ähm die andern dann halt vielleicht gefressen werden oder so. Und dann würde- kommt von der ja auch mal Nachkommen und dann sind die ja auch besser angepasst. Und deswegen.“ (2.S7, Pos. 28). Neben der Erkenntnis der individuellen innerartlichen Varianz beschreibt sie eine Artenentstehung durch Mutation der Nachkommen (2.S7, Pos. 36).

Tabelle 36: Übersicht der kategorisierten Vorstellungen von Schülerin 7 jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.

■ finalistisch ■ wissenschaftlich ■ anthropomorph ■ Umwelt ■ Vergleich mit Bekanntem

ermittelte Kategorien vorher	ermittelte Kategorien nachher
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Automatismus ▪ Nichtwissen ▪ Größenänderung ▪ Entwicklung von Arten ▪ Umwelt ▪ Selbstständige Anpassung ▪ Vergleich mit Bekanntem+ (Artenentstehung durch Fortpflanzung) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zufällige Variation der Nachkommen ▪ Natur ▪ Notwendigkeit + Entwicklung von Arten ▪ Entwicklung Individuum, Überlebensvorteil (+ Fortpflanzung) ▪ Vererbung von Merkmalen ▪ Fortpflanzung ▪ Individuelle innerartliche Varianz ▪ Artenentstehung durch Mutation

Zusammengefasst beschreibt Schülerin 7 in ihren Äußerungen im Vorinterview vielfältige, ad hoc generierte Fehlvorstellungen zu evolutionären Mechanismen (Tab. 36). Dabei fällt mehrfach die Beantwortung von Fragen mit Nichtwissen auf. Zur Entwicklung einer neuen Art deutet sie die Fortpflanzung als Voraussetzung an. Im Nachinterview formuliert Schülerin 7 auf alle Fragen eine Antwort. Erstmals erklärt die Schülerin nach der Durchführung der Unterrichtssequenz die Entwicklung eines Individuums, welches durch die zufällige Anpasstheit einen Überlebensvorteil hat und dies auf die Nachkommen überträgt. Auch die Entstehung einer neuen Art beschreibt die Lernende nach der Unterrichtssequenz teilweise wissenschaftlich.

Einzelfallanalyse Schülerin 8

Das Vorinterview mit Schülerin 8 dauerte ca. 13 min, das Nachinterview ca. 8 min. Insgesamt wurden hierbei jeweils 18 Aussagen vor der Unterrichtssequenz und 15 Aussagen danach codiert.

Vor der Unterrichtssequenz:

Im Vorinterview stimmt Schülerin 8 der Existenz einer Artenentwicklung zu, äußert im weiteren Gespräch die Entwicklung aus einer Notwendigkeit heraus (1.S8, Pos. 14-16). Zudem schildert sie die Vorstellung einer automatischen Anpassung bestimmter Merkmale (1.S8, Pos. 20) und beschreibt die Entwicklung von Populationen als Typenwechsel (1.S8,

Pos. 24). Auch im zoologischen Szenario äußert sie Vorstellungen einer zielgerichteten Entwicklung von Populationen in Verbindung mit einer Anpassung durch die Umwelt (1.S8, Pos. 44). Im Interviewverlauf vermutet sie die Ausprägung bestimmter Merkmale durch die Natur, auch hier im Zusammenhang mit einer Notwendigkeit der Entwicklung (1.S8, Pos. 48). Nachdem die Schülerin ihr Nichtwissen äußert, schildert sie Vorstellungen einer stufenweisen Entwicklung der Schneckenpopulation (1.S8, Pos. 50, 54). Die Entstehung einer neuen Pflanzenart erklärt sie durch die Interaktion mit der Umwelt (1.S8, Pos. 36). Im zoologischen Szenario beschreibt sie die Artenentstehung zunächst kurz durch eine Trennung der Population, wobei sie direkt die Vorstellung einer Hybridisierung schildert (1.S8, Pos. 62).

Nach der Unterrichtssequenz:

Schülerin 8 äußert auch im Nachinterview ihr Nichtwissen (2.S8, Pos. 4) und beschreibt die Entwicklung von Populationen finalistisch, teilweise im Zusammenhang mit einer Merkmalsausprägung durch die Natur (2.S8, Pos. 6). Neben anthropomorphen Bemerkungen (2.S8, Pos. 12) schildert sie die Anpassung bestimmter Merkmale durch die Umwelt (2.S8, Pos. 22). Zudem äußert sie Vermutungen einer selbstständigen Anpassung in Verbindung mit einer Notwendigkeit der Entwicklung (2.S8, Pos. 30). Erstmals beschreibt sie nach der Unterrichtssequenz auch die Angepasstheit der Bänderschnecken teilweise wissenschaftlich, indem sie die zufällige Varianz der Nachkommen erklärt: „[...] vielleicht ähm . war die eine n bisschen dunkler, dann hat die ähm Nachkommen gekriegt und dann wurde die wieder dunkler und dann wieder Nachkommen wieder dunkler und dann sind die irgendwann sehr dunkel.“ (2.S8, Pos. 32). Die Entstehung einer neuen Art beschreibt sie durch eine Hybridisierung (2.S8, Pos. 36).

Zusammengefasst beschreibt Schülerin 8 sowohl vor als auch nach der Unterrichtssequenz vielfältige Alltagsvorstellungen zur evolutionären Angepasstheit (Tab. 37). Zudem erklärt sie die Merkmalsausprägung durch die Natur im Vor- und Nachinterview. Nach der Durchführung der Unterrichtssequenz beschreibt sie neben inkonsistent genutzten Erklärungsmustern erstmalig auch teilweise wissenschaftliche Vorstellungen zur Varianz der Nachkommen in einer Population.

Tabelle 37: Übersicht der kategorisierten Vorstellungen von Schülerin 8 jeweils vor und der Unterrichtssequenz.

■ finalistisch ■ wissenschaftlich ■ anthropomorph ■ Umwelt ■ Vergleich mit Bekanntem

ermittelte Kategorien vorher	ermittelte Kategorien nachher
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nichtwissen ▪ Entwicklung von Arten ▪ Notwendigkeit ▪ Automatismus ▪ Typenwechsel ▪ Artenentstehung durch Umwelt ▪ Umwelt ▪ Natur + Notwendigkeit ▪ Stufenweise Entwicklung ▪ Hybridisierung ▪ Trennung der Ursprungsart 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nichtwissen ▪ Entwicklung von Arten ▪ Notwendigkeit + Natur ▪ Anthropomorphismus ▪ selbstständige Entwicklung + Notwendigkeit ▪ Umwelt ▪ Zufällige Variation der Nachkommen ▪ Hybridisierung

Einzelfallanalyse Schüler 9

Das Vorinterview mit Schüler 9 dauerte ca. 12 min, das Nachinterview ca. 13 min. Insgesamt wurden hierbei jeweils 24 Aussagen vor der Unterrichtssequenz und 20 Aussagen danach codiert.

Vor der Unterrichtssequenz:

Bereits vor der Unterrichtssequenz äußert Schüler 9 eine Entwicklung bestimmter Merkmale durch Mutation (1.S9, Pos. 4). Auf weitere Nachfragen hin schildert er die Notwendigkeit dieser Anpassung: „[...] Nur, um weiter überleben zu können und nicht auszusterben, hat sie sich angepasst.“ (1.S9, Pos. 8). Anschließend schildert er sein Wissen über Angepasstheit und erläutert die zufällige Variation der Nachkommen bei der Fortpflanzung (1.S9, Pos. 10). Er beschreibt im weiteren Verlauf das Überleben der besser angepassten Individuen, teilweise in Verbindung mit finalistischen Vorstellungen (1.S9, Pos. 16). Auch im zoologischen Szenario beschreibt er zunächst die Anpassung durch eine Notwendigkeit: „Der Grund ist die- das sie sich anpassen mussten.“ (1.S9, Pos. 32). Anschließend erklärt er das Überleben der besser Angepassten und deren Fortpflanzungserfolg (1.S9, Pos. 34, 38). Durch einen Vergleich mit Flamingos, die durch ihre Nahrung eine Gefiederfärbung erhalten, schildert der Lernende neben teilweise wissenschaftlichen Vorstellungen auch Vermutungen zur Anpassung durch die Natur (1.S9, Pos. 44). Die Entwicklung einer neuen Art beschreibt er durch die Mutation der Nachkommen, wobei sich besser angepasste Individuen durchsetzen (1.S9, Pos. 46).

Nach der Unterrichtssequenz:

Schüler 9 beschreibt nach der Unterrichtssequenz ausschließlich wissenschaftlich korrekte Vorstellungen: Zur Angepasstheit im botanischen Szenario erklärt er das Überleben der besser Angepassten und den Fortpflanzungserfolg dieser über Generationen hinweg (2.S9, Pos. 8). Zur individuellen innerartlichen Variation beschreibt er die Entwicklung bestimmter Merkmale durch zufällige Mutationen (2.S9, Pos. 8). In seinen Äußerungen bezieht er sich auf die durchgeführte Simulation während der Unterrichtssequenz und schildert wissenschaftliche Vorstellungen auch zur Entwicklung von Teilpopulationen (2.S9, Pos. 16). Die Entstehung neuer Arten beschreibt er sowohl im botanischen als auch im zoologischen Szenario durch die zufällige Mutation der Nachkommen und den damit verbundenen ungleichen Überlebenschancen dieser (2.S9, Pos. 20, 42).

Tabelle 38: Übersicht der kategorisierten Vorstellungen von Schüler 9 jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.

■ finalistisch ■ wissenschaftlich ■ anthropomorph ■ Umwelt ■ Vergleich mit Bekanntem

ermittelte Kategorien vorher	ermittelte Kategorien nachher
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Notwendigkeit ▪ Überleben der besser Angepassten ▪ Zufällige Variation der Nachkommen / beim Fortpflanzen ▪ Mutation ▪ Vergleich mit Bekanntem ▪ Notwendigkeit + Überleben der besser Angepassten ▪ Artenentstehung durch Mutation ▪ Entwicklung Individuum, Überlebensvorteil ▪ Umwelt ▪ Entwicklung von Arten 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fortpflanzung ▪ Überleben der besser Angepassten ▪ Zufällige Variation der Nachkommen ▪ Mutation ▪ Vergleich mit (Bekanntem) Simulation ▪ Überleben der besser Angepassten ▪ Artenentstehung durch Mutation

Wie Tabelle 38 zeigt, beantwortet Schüler 9 bereits im Vorinterview viele Fragen zur evolutionären Entwicklung mit wissenschaftlichen Teilvorstellungen. Er nutzt zur Beschreibung verschiedener Phänomene vielfältige wissenschaftliche Erklärungen. Daneben beschreibt er Alltagsvorstellungen wie die Entwicklung aus einer Notwendigkeit heraus und die Anpassung durch die Umwelt. Letzteres schildert er in einem Vergleich. Nachdem die Unterrichtssequenz durchgeführt wurde, argumentiert der Schüler ausschließlich wissenschaftlich. Er äußert zu allen gefragten Szenarien wissenschaftliche

Vorstellungen und zeigt ein vertieftes Verständnis der evolutionären Prozesse. Bei einem erneuten Vergleich bezieht er sich auf die durchgeführte Simulation.

Einzelfallanalyse Schülerin 10

Das Vorinterview mit Schülerin 10 dauerte ca. 12 min, das Nachinterview ca. 10 min. Insgesamt wurden hierbei jeweils 15 Aussagen vor der Unterrichtssequenz und 18 Aussagen danach codiert.

Vor der Unterrichtssequenz:

Vor der Unterrichtssequenz äußert Schülerin 10 im botanischen Szenario, dass die heute lebende Art noch genauso aussieht wie vor Jahrhunderten (1.S10, Pos. 4). Die Frage nach der zukünftigen Entwicklung der Art beantwortet sie mit deren Größenwachstum (1.S10, Pos. 8). Über die Zeit des gesamten Vorinterviews antwortet sie viermal mit Nichtwissen (1.S10, Pos. 10, 25, 37, 53). Zudem beschreibt sie eine selbstständige Anpassung von Individuen in Verbindung mit der Notwendigkeit zur Entwicklung (1.S10, Pos. 51). Die Entstehung einer neuen Art erklärt sie im botanischen Szenario durch eine Hybridisierung (1.S10, Pos. 17), wohingegen sie im zoologischen Szenario eine wissenschaftliche Teilvorstellung formuliert: „[...] wenn eine dunklere Schnecke [...] ein ähm Ei legt und ähm das dann vielleicht irgendwie hell is.“ (1.S10, Pos. 57).

Nach der Unterrichtssequenz:

Im Nachinterview beschreibt Schülerin 10 mehrfach die zufällige Variation der Nachkommen durch Fortpflanzung als Ursache für die Entstehung bestimmter Merkmale (2.S10, Pos. 2, 14, 30). Auf die Frage nach der Entwicklung der Pflanzenart in Jahrhunderten antwortet sie mit Nichtwissen (2.S10, Pos. 8). Im zoologischen Szenario äußert sie zunächst finalistische Vorstellungen zur Entwicklung einer Population (2.S10, Pos. 18), wohingegen sie nach erneuter Nachfrage Vorstellungen zur Entwicklung durch Fortpflanzung äußert (2.S10, Pos. 22). Zudem beschreibt sie das Überleben der besser angepassten Individuen in Bezug zur Tarnung der Bänderschnecken (2.S10, Pos. 32). Die Entwicklung einer neuen Art schildert sie in einem Vergleich als Hybridisierung (2.S10, Pos. 42).

Tabelle 39: Übersicht der kategorisierten Vorstellungen von Schülerin 10 jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.

■ finalistisch ■ wissenschaftlich ■ anthropomorph ■ Umwelt ■ Vergleich mit Bekanntem

ermittelte Kategorien vorher	ermittelte Kategorien nachher
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Konstanz der Arten ▪ Größenänderung ▪ Nichtwissen ▪ Entwicklung von Arten ▪ Notwendigkeit + selbstständige Anpassung ▪ Hybridisierung ▪ Artenentstehung durch Mutation 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zufällige Variation der Nachkommen ▪ Nichtwissen ▪ Entwicklung von Arten ▪ Notwendigkeit ▪ Fortpflanzung ▪ Überleben der besser Angepassten ▪ Vergleich mit Bekanntem + Hybridisierung

Zusammengefasst nennt Schülerin 10 im Vorinterview vielfältige Fehlvorstellungen (Tab. 39). Bei mehreren Fragen zur evolutionären Entwicklung zeigt sie Nichtwissen. Die Entstehung einer neuen Art erklärt sie im Vorinterview zum einen mit der Hybridisierung und zum anderen durch eine Mutation der Nachkommen. Nach der Unterrichtssequenz beschreibt sie die zufällige Variation der Nachkommen. Neben Nichtwissen und weiterhin bestehenden finalistischen Vorstellungen wird erstmalig auch eine Entwicklung durch Fortpflanzung geäußert. Wiederholt äußert sie zur Entwicklung einer neuen Art die Hybridisierung. Dazu nutzt sie einen Vergleich.

7.3.3 Weiterentwicklung des Unterrichtsdesigns

Auch in der Erprobung II ist eine hohe Präferenz zu finalistischen Vorstellungen zu beobachten (Abb. 27), wobei der Anteil teilweise wissenschaftlich beantworteter Fragen nach der Unterrichtssequenz insgesamt im Fragebogen höher liegt als nach der Erprobung I (vgl. Abb. 26 & 27). Durch weiterführende Verständnisfragen in den Einzelinterviews und die Beobachtung der Schülerinnen und Schüler während der Durchführung der Unterrichtssequenz im Klassenverband konnten entscheidende Faktoren identifiziert werden, welche das Lernen und die Diagnostik erschweren:

1. Es lässt sich nicht diagnostizieren, ob die Lernenden Verständnisschwierigkeiten bereits in der ersten Simulation selbst oder beim Transfer ihres Wissens haben.

2. Die Simulation „Isolation der Kernbeißer“ ist in der Durchführung sehr komplex und innerhalb einer Schulklasse nur schwer umsetzbar, sodass ein Verständniszuwachs erschwert wird.
3. Die Lernenden beschreiben oftmals eine zielgerichtete Entwicklung von Populationen. Diese Vorstellung ist im Alltag häufig plausibel und deshalb oft fest verankert (Graf & Hamdorf 2011).

Somit wurden vor der dritten Durchführung und Testung der Unterrichtssequenz weitere Verbesserungen vorgenommen, um die Komplexität zu reduzieren und das Lernen zu fördern:

Didaktik:

- 1) Der Vor- und Nach-Fragebogen und auch der Interviewleitfaden zur Diagnose der vorunterrichtlichen Vorstellungen und Überprüfung des Lernzuwachses soll um ein weiteres Szenario ergänzt werden (Kapitel 6).
Das neu integrierte Szenario „Kernbeißer“ steht in direktem Zusammenhang zur ersten Lernsequenz und wurde nach den bereits verwendeten, validierten Fragebögen von Beniermann (2019) und Kuschmierz et al. (2020) so angepasst, dass alle vorkommenden Konzepte auch für dieses Szenario formuliert wurden (Abb. 21). Mit diesem zusätzlichen Fragebogenszenario kann ein möglicher Erkenntniszuwachs direkt auf die Lernsequenz zurückgeführt und gleichzeitig überprüft werden, inwiefern ein Transfer auch auf andere Szenarien übertragbar ist. So können Verständnisschwierigkeiten gezielter erkannt werden, um diese mit in den nächsten Optimierungsschritt aufzunehmen.
- 2) Um den Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler noch weiter zu optimieren und die Komplexität der Umsetzung der Unterrichtssequenz möglichst gering zu halten, wurde die Simulation „Isolation der Kernbeißer“ vor der Erprobung III im Unterricht ersetzt. Nachfolgend beschriebene Schwierigkeiten, während der Durchführung der Simulation „Isolation der Kernbeißer“, können sich möglicherweise erschwerend auf einen Verständniszuwachs auswirken: Eine Problematik in der Umsetzung der Simulation „Isolation der Kernbeißer“ ergibt sich durch die verringerte Gruppengröße der Lernenden (durch die Trennung der Schulklasse in zwei separate Gruppen und Räume), da nach einigen Generationen nicht mehr genügend

Schülerinnen und Schüler zur Durchführung weiterer Generationen bzw. Simulationsrunden zur Verfügung stehen. Die Simulation „Isolation der Kernbeißer“ wurde aus diesen Gründen aus der Unterrichtssequenz entfernt. Stattdessen wurde die Simulation „Nahrungstransport der Kernbeißer“ in der zweiten Doppelstunde reflektiert und auf ein einfaches Unterrichtsbeispiel transferiert. Hierbei soll das Gelernte aus dem Beispiel der Räuberpopulation „Kernbeißer“ auf das Beispiel einer Beutepopulation „Kugelhausschnecken“ (Kapitel 7.7.1) übertragen und gefestigt werden (Brennecke 2015, Roelle et al. 2023).

Methodik:

- 3) Aus methodischer Sicht soll durch Wiederholung des Erlernten (Petermann & Petermann 2018) in einem weiteren Szenario nochmals die eigenen Vorstellungen bewusst hinterfragt werden. Das neue Wissen aus der ersten Simulation „Nahrungstransport der Kernbeißer“, speziell zur individuellen Varianz, wird deshalb in einer weiteren Simulation „Kugelhausschnecken“ erprobt (Kapitel 7.7.1).

7.4 Dritter Zyklus

Der dritte Zyklus wurde mit 19 Schülerinnen und Schülern einer sechsten Klasse durchgeführt. Das Vorwissen der Lernenden zum Thema „Evolution“ war durchschnittlich größer als in den beiden Schulklassen zuvor. Nach Angaben des Biologielehrers und eines interviewten Schülers (S13) wurde neben der Thematik „Hund und Wolf“ auch bereits die Anpasstheit bei Vögeln unterrichtet und dabei die Evolution der Vögel angesprochen.

Die dritte Datenerhebung startete am 24.06.2022 mit dem Vorfragebogen (Kapitel 6.2). Anschließend wurden Vorinterviews nach dem entwickelten Leitfaden (Kapitel 6.3) geführt. Nach der Durchführung der optimierten Unterrichtssequenz wurde zunächst der Nachfragebogen ausgefüllt, um die Untersuchung am 13.07.2022 mit den Nachinterviews abzuschließen (Tab. 40).

7.4.1 Ergebnisse der Fragebögen

In der Auswertung der dritten Datenerhebung einer sechsten Klasse lässt sich in den Antworten der Vorfragebögen neben finalistischen Denkmustern auch bereits eine hohe Präferenz zum wissenschaftlichen Konzeptgebrauch aufzeigen (Abb. 28).

So stimmten vor der Unterrichtssequenz in den botanischen Szenarien „Venusfliegenfallen“ 27,8% und „Kakteen“ 21,1% der Lernenden der wissenschaftlich korrekten Erklärung zu. In den zoologischen Szenarien, „Geparde“, „Kernbeißer“ und „Schnecken“ sind es jeweils sogar fast 50% der Lernenden (Abb. 28).

Spannend ist hierbei der Vergleich mit der qualitativen Studie, da sich in der Auswertung der Interviews ein anderes Antwortverhalten zeigt. Diese Diskrepanz soll auch in Bezug zum Verständnis und Schwierigkeitsgrad des Fragebogens an anderer Stelle in der Dissertation diskutiert werden (Kapitel 8.4.1).

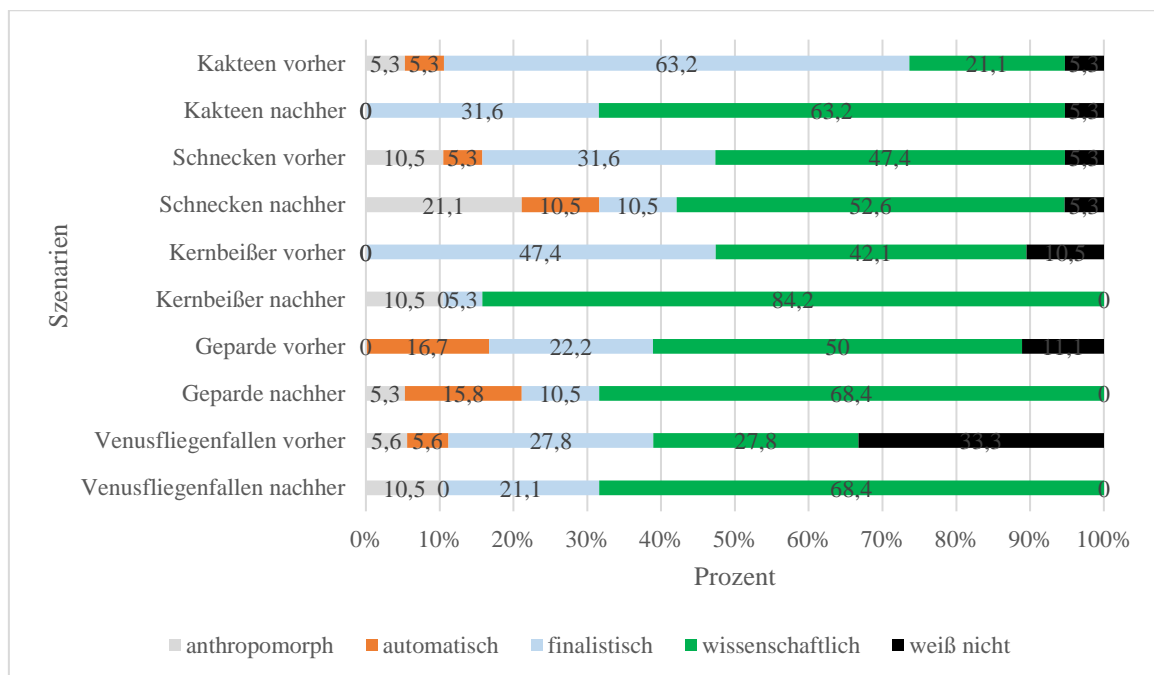


Abbildung 28: Darstellung der vor- und nachunterrichtlichen Vorstellungen aus dem Fragebogen der dritten Datenerhebung.

Trotz der vermeintlich hohen Zustimmung zur wissenschaftlichen Erklärung evolutionärer Entwicklung bereits vor der Unterrichtssequenz, kann ein deutlicher Lernzuwachs nach dem Unterricht verzeichnet werden. In allen Szenarien hat die Zustimmung zum wissenschaftlichen Konzept zugenommen (Abb. 28). Konkret haben sich im neuen Szenario „Kernbeißer“ 84,2% der Lernenden für das wissenschaftlich korrekte Konzept entschieden. Das bedeutet einen Anstieg um 42,1% im Vergleich zum Vorfragebogen. Dementsprechend

kann der Erkenntniszuwachs der Schülerinnen und Schüler direkt auf die entwickelte Lernsequenz zurückgeführt werden.

Außerdem gelingt ein Übertrag des neu erlernten Wissens auch auf nicht im Unterricht behandelte evolutionäre Entwicklungsfragen. Dies zeigt sich in der Auswertung der Szenarien „Venusfliegenfallen“ und „Geparde“, welche im Nachfragebogen jeweils mit 68,4% Zustimmung zur wissenschaftlichen Erklärung beantwortet wurden. Im Szenario „Schnecken“ stimmten nach dem Unterricht 52,6% und im Szenario „Kakteen“ 63,2% der Lernenden dem wissenschaftlichen Begriff zu. Das bedeutet in den botanischen Szenarien „Venusfliegenfallen“ und „Kakteen“ einen Anstieg um 40,6% bzw. 42,1%. Gleichzeitig lässt sich ein deutlicher Abfall finalistischer Vorstellungen verzeichnen (Abb. 28). Vor allem im Szenario „Kernbeißer“ ist der Anteil der finalistischen Antworten um mehr als 40% gesunken (Abb. 28), was den Lernzuwachs direkt aus der Unterrichtssequenz ebenfalls bestätigt.

7.4.2 Ergebnisse der Interviews

Einzelfallanalyse: Schülerin 11, Schüler 12, Schüler 13, Schülerin 14, Schülerin 15

Im Folgenden werden die Einzelfallanalysen der dritten Erprobung vorgestellt. Dazu wurden Vorstellungen zu evolutionären Mechanismen von S11 bis S15 jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz untersucht. Zur Verortung der Interviews im Erprobungszyklus veranschaulicht Tabelle 40 den generellen Ablauf der dritten Untersuchung.

Tabelle 40: Ablauf des dritten Erprobungszyklus.

Ablaufschema: Erprobung III				
Vorfragebogen → alle	Vorinterview → S11 – S15	Unterrichtssequenz → alle	Nachinterview → S11 – S15	Nachfragebogen → alle

Einzelfallanalyse Schülerin 11

Das Vorinterview mit Schülerin 11 dauerte ca. 12 min, das Nachinterview ca. 6 min. Insgesamt wurden hierbei jeweils 22 Aussagen vor der Unterrichtssequenz und 13 Aussagen danach codiert.

Vor der Unterrichtssequenz:

Im Vorinterview beschreibt Schülerin 11 die Entwicklung bestimmter Merkmale im botanischen Szenario durch die Natur (1.S11, Pos. 10, 12). Sie stimmt der Variation von Individuen einer Art zu (1.S11, Pos. 14), erklärt diese individuellen Unterschiede jedoch mit einer Anpassung durch die Umwelt (1.S11, Pos. 16). Sie äußert eine Artenentwicklung über Jahrhunderte, beantwortet weitere Nachfragen aber mit Nichtwissen (1.S11, Pos. 18-20). Im Transferszenario „Kernbeißer“ (Anhang B: Interviewleitfaden) wird vor der Unterrichtssequenz die Vererbung von Merkmalen auf die Nachkommen als Ursache für individuelle Unterschiede vermutet (1.S11, Pos. 40). Zudem vergleicht sie ihre Aussage mit bereits Bekanntem, hier Zebras (1.S11, Pos. 40), und schildert eine Entwicklung durch Fortpflanzung (1.S11, Pos. 42). Die Angepasstheit an bestimmte Merkmale beschreibt sie auch im Szenario Bänderschnecken zum einen durch die Natur und zum anderen durch die Umwelt (1.S11, Pos. 52, 58). Die Entstehung einer neuen Art wird durch eine Hybridisierung beschrieben (1.S11, Pos. 28, 44).

Nach der Unterrichtssequenz:

Im Interview nach der Unterrichtssequenz schildert Schülerin 11 zunächst die individuelle innerartliche Varianz (2.S11, Pos. 8) und äußert anschließend eine automatische Entwicklung der Angepasstheit im botanischen Szenario (2.S11, Pos. 10). Gegenüber ihrer Vermutung einer Entwicklung durch die Natur vor der Unterrichtssequenz, spricht sie sich im Nachinterview entschieden dagegen aus und berichtet stattdessen von einer Entwicklung durch Fortpflanzung: „[...] ich glaube ähm, dass es dann mit der Fortpflanzung zu tun hat, weil äh die Natur die kann das ja auch eigentlich nicht so wissen sag ich mal.“ (2.S11, Pos. 12). Zudem nutzt sie diese wissenschaftliche Teilvorstellung zur Erklärung bestimmter Merkmale sowohl im Szenario Kernbeißer als auch im Szenario Bänderschnecken (2.S11, Pos. 20, 24). Die Entwicklung einer neuen Art beschreibt sie durch Fortpflanzung und Mutation der Nachkommen (2.S11, Pos. 14, 30).

Zusammengefasst beschreibt Schülerin 11 im Vorinterview einige wissenschaftliche Teilvorstellungen, wobei sie diese mit vielfältigen Fehlvorstellungen kombiniert (Tab. 41). Dabei vergleicht sie ihre Aussage mit bereits Bekanntem. Die Entwicklung einer neuen Art wird durch eine Hybridisierung erklärt.

Tabelle 41: Übersicht der kategorisierten Vorstellungen von Schülerin 11 jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.

■ finalistisch ■ wissenschaftlich ■ anthropomorph ■ Umwelt ■ Vergleich mit Bekanntem

ermittelte Kategorien vorher	ermittelte Kategorien nachher
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Individuelle innerartliche Varianz ▪ Natur ▪ Fortpflanzung ▪ Zufällige Variation der Nachkommen ▪ Umwelt ▪ Entwicklung von Arten ▪ Nichtwissen ▪ Vererbung von Merkmalen ▪ Vergleich mit Bekanntem ▪ Hybridisierung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Individuelle innerartliche Varianz ▪ Automatismus ▪ Fortpflanzung ▪ Zufällige Variation der Nachkommen ▪ Umwelt ▪ Artenentstehung durch Fortpflanzung + Mutation

Nach der Unterrichtssequenz beschreibt sie im Verlauf des Nachinterviews mehrfach die Entwicklung durch Fortpflanzung. Zudem nutzt sie wissenschaftliche Teilvorstellung zur Erklärung bestimmter Merkmale sowohl im Szenario Kernbeißer als auch im Szenario Bänderschnecken. Die Entwicklung einer neuen Art erklärt sie im Nachinterview mit wissenschaftlichen Teilvorstellungen.

Einzelfallanalyse Schüler 12

Das Vorinterview mit Schüler 12 dauerte ca. 13 min, das Nachinterview ca. 8 min. Insgesamt wurden hierbei jeweils 26 Aussagen vor der Unterrichtssequenz und 20 Aussagen danach codiert.

Vor der Unterrichtssequenz:

Schüler 12 beschreibt in seinen Äußerungen zur Anpasstheit im botanischen Szenario mehrere Teilvorstellungen bestehend aus einer Entwicklung aus Notwendigkeit, dem Überleben der besser angepassten Individuen und anthropomorphen Vorstellungen (1.S12, Pos. 14). Denkweisen, bei denen Lebewesen menschliche Eigenschaften zugeschrieben werden, finden sich über das gesamte Interview hinweg mehrfach (1.S12, Pos. 16, 22, 24, 44). Der Varianz von Individuen einer Population stimmt er zu (1.S12, Pos. 18), beschreibt jedoch in seinen weiteren Ausführungen finalistische in Verbindung mit anthropomorphen

Vorstellungen zur Entwicklung dieser (1.S12, Pos. 22). Im botanischen Szenario lehnt er die Veränderung der Art ab (1.S12, Pos. 22), während er dieser im zoologischen Szenario zustimmt (1.S12, Pos. 40). Zudem werden Teilvorstellungen zur Angepasstheit bestimmter Merkmale durch die Umwelt und die Vererbung dieser an die Nachkommen beschrieben (1.S12, Pos. 40). Anschließend äußert er anthropomorphe Vorstellungen zusammen mit der Entwicklung durch Fortpflanzung: „[...] Und dann äh ham sie sich äh überlegt, wie sie den Schnabel größer kriegen können ähm . und ja dann ham die sich halt vermehrt und fortgepflanzt [...]“ (1.S12, Pos. 44). Außerdem beschreibt er das Überleben der besser Angepassten in Verbindung mit der zufälligen Variation der Nachkommen (1.S12, Pos. 58). Die Entwicklung einer neuen Art schildert er durch „Fehler“ bei der Fortpflanzung und die Vererbung derer auf die Nachkommen (1.S12, Pos. 34, 46).

Nach der Unterrichtssequenz:

Nach der Unterrichtssequenz beschreibt Schüler 12 die individuelle innerartliche Varianz und nutzt zur anschaulichen Darstellung dieser einen Vergleich mit dem Menschen (2.S12, Pos. 2). Die Entstehung einer Angepasstheit erklärt er durch die Vererbung von Merkmalen und dem Überleben der besser Angepassten, äußert dabei aber auch anthropomorphe Vorstellungen (2.S12, Pos. 4). Zur Entwicklung des großen, kräftigen Schnabels der Kernbeißer erklärt er die individuelle Varianz der Nachkommen durch Mutation (2.S12, Pos. 10). Die Entwicklung bestimmter Merkmale in einer Population beschreibt er durch die Mutation eines Individuums, welches durch das mutierte Merkmal vorteilige Überlebenschancen hat und dies an die Nachkommen vererbt (2.S12, Pos. 14). Er äußert nach der Unterrichtssequenz auch auf die Frage nach der Artenentstehung wissenschaftliche Vorstellungen, indem er die Entwicklung dieser durch Mutation der Nachkommen und Vererbung der Merkmale erklärt: „Ich glaub das einfach s-ähm ne veränderte Art von ner alten Pflanze. Also dass die sozusagen dann bei den Genen is dann irgendwas kaputt, dann kommt was andres raus: größere Blätter, kleinere Br-B-Blätter, anders geformt, irgendwelche andren Stängel oder so. Und die hat dann den gleichen Erbbauplan sozusagen, gibt das an die Nachkommen dann auch weiter und die sehen dann genauso aus. Dann vermehren die sich immer weiter und so gibts dann ne neu, ne Pflanzenart.“ (2.S12, Pos. 8).

Tabelle 42: Übersicht der kategorisierten Vorstellungen von Schüler 12 jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.

■ finalistisch ■ wissenschaftlich ■ anthropomorph ■ Umwelt ■ Vergleich mit Bekanntem

ermittelte Kategorien vorher	ermittelte Kategorien nachher
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Individuelle innerartliche Varianz ▪ Konstanz der Arten ▪ Anthropomorphismus ▪ Überleben der besser Angepassten ▪ Umwelt ▪ Entwicklung von Arten ▪ Notwendigkeit ▪ Fortpflanzung ▪ Entwicklung Individuum, Überlebensvorteil (+ Fortpflanzung) ▪ Artenentstehung durch Mutation + Vererbung der Merkmale ▪ Zufällige Variation der Nachkommen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Individuelle innerartliche Varianz ▪ Vergleich mit Bekanntem ▪ Anthropomorphismus ▪ Überleben der besser Angepassten ▪ Vererbung von Merkmalen ▪ Mutation ▪ Zufällige Variation der Nachkommen ▪ Entwicklung Individuum, Überlebensvorteil (Fortpflanzung) ▪ Artenentstehung durch Mutation+ Vererbung Merkmale

Wie aus Tabelle 42 ersichtlich, äußert Schüler 12 vielfältige Teilvorstellungen bestehend aus wissenschaftlichen Vermutungen und Fehlvorstellungen. Dabei nutzt er im gesamten Vorinterview häufig anthropomorphe Erklärungen evolutionärer Phänomene. Die Entstehung einer neuen Art schildert er sowohl im Vor- als auch im Nachinterview durch Mutation und die Vererbung der Merkmale auf die Nachkommen. Nach der Unterrichtssequenz äußert er weiterhin anthropomorphe Denkweisen, nutzt diese jedoch weniger. Dagegen beschreibt er mehrfach wissenschaftliche Erklärungen zur evolutionären Angepasstheit. Zudem nutzt er einen Vergleich, um seine Vermutungen zu äußern.

Einzelfallanalyse Schüler 13

Das Vorinterview mit Schüler 13 dauerte ca. 11 min, das Nachinterview ca. 9 min. Insgesamt wurden hierbei jeweils 22 Aussagen vor der Unterrichtssequenz und 17 Aussagen danach codiert.

Vor der Unterrichtssequenz:

Schüler 13 stimmt im Vorinterview der Aussage zu, dass Individuen einer Art variieren (1.S13, Pos. 10). Zudem schildert er die Entwicklung einer Population durch Fortpflanzung (1.S13, Pos. 12). Seine Vorstellungen zur Angepasstheit äußert er in einem Vergleich zum Schließmechanismus der Blüten (1.S13, Pos. 14). Des Weiteren vermutet er eine

Größenänderung als Entwicklung der Population im botanischen Szenario (1.S13, Pos. 16). Auf weitere Nachfrage schildert er finalistische Vorstellungen (1.S13, Pos. 18). Auch im Szenario „Kernbeißer“ äußert er seine Vermutungen zur Entstehung des großen Schnabels in einem Vergleich mit zuvor im Unterricht behandelte(r) Thematik (1.S13, Pos. 32). Er beschreibt die zufällige Variation der Nachkommen als Ursache für die Entstehung neuer Merkmale (1.S13, Pos. 34). Im Szenario „Bänderschnecken“ schildert er zum einen die Angepasstheit durch die Umwelt und zum anderen die Entwicklung durch Fortpflanzung in Verbindung mit anthropomorphen Vorstellungen (1.S13, Pos. 44). Die Entstehung einer neuen Art wird im botanischen sowie im zoologischen Szenario durch Hybridisierung erklärt (1.S13, Pos. 46).

Nach der Unterrichtssequenz:

Nach der Durchführung des Unterrichts beschreibt Schüler 13 neben der individuellen innerartlichen Varianz (2.S13, Pos. 6) auch die Entwicklung der Population durch Vererbung von Merkmalen (2.S13, Pos. 10) und Fortpflanzung (2.S13, Pos. 12). Auch im Nachinterview nutzt er einen Vergleich, um seine Vorstellungen auszudrücken (2.S13, Pos. 14). Im Szenario „Kernbeißer“ erklärt er die Entstehung des großen Schnabels durch die zufällige Variation der Nachkommen und die Entwicklung erst einiger Individuen, welche durch ihre Angepasstheit überlebt haben und sich somit fortpflanzen konnten (2.S13, Pos. 26). Er beschreibt somit nach der Unterrichtssequenz essentielle Zusammenhänge zwischen Ursache und Wirkung von Prozessen in einer Population. Im Szenario „Bänderschnecken“ schildert er zunächst eine Anpassung durch die Umwelt (2.S13, Pos. 30), wohingegen er auf weitere Nachfrage hin die Entwicklung durch Fortpflanzung beschreibt (2.S13, Pos. 32). Zudem wird das Überleben der besser angepassten Individuen einer Population beschrieben (2.S13, Pos. 38). Die Entwicklung einer neuen Art erklärt er im botanischen Szenario durch eine Hybridisierung (2.S13, Pos. 16), im zoologischen Szenario hingegen durch Fortpflanzung (2.S13, Pos. 40).

Zusammengefasst schildert Schüler 13 vielfältige Teilvorstellungen, die er inkonsistent zur Erklärung evolutionärer Phänomene heranzieht (Tab. 43). Hierbei nutzt er sowohl im Vorinterview als auch im Nachinterview mehrere Vergleiche, um seine Vorstellungen auszudrücken.

Tabelle 43: Übersicht der kategorisierten Vorstellungen von Schüler 13 jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.

■ finalistisch ■ wissenschaftlich ■ anthropomorph ■ Umwelt ■ Vergleich mit Bekanntem

ermittelte Kategorien vorher	ermittelte Kategorien nachher
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Größenänderung ▪ Individuelle innerartliche Varianz ▪ Fortpflanzung ▪ Vergleich mit Bekanntem ▪ Notwendigkeit ▪ Entwicklung von Arten ▪ Zufällige Variation der Nachkommen ▪ Umwelt ▪ Anthropomorphismus ▪ Artenentstehung aus Notwendigkeit ▪ Hybridisierung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vererbung von Merkmalen ▪ Individuelle innerartliche Varianz ▪ Fortpflanzung ▪ Vergleich mit Bekanntem ▪ Entwicklung Individuum, Überlebensvorteil, Fortpflanzung ▪ Zufällige Variation der Nachkommen ▪ Umwelt ▪ Überleben der besser Angepassten ▪ Artenentstehung durch Fortpflanzung ▪ Hybridisierung

Die Entstehung einer neuen Art erklärt er durch Hybridisierung und die Notwendigkeit der Entwicklung. Nach der Unterrichtssequenz werden deutlich mehr wissenschaftliche Teilvorstellungen beschrieben. Erstmals erklärt er nach der Durchführung des Unterrichts die Entwicklung von einigen Individuen, welche durch ihre Angepasstheit überlebt haben und sich somit fortpflanzen konnten. Die Entwicklung neuer Arten beschreibt er zum einen durch Hybridisierung, zum anderen durch Fortpflanzung.

Außerdem erwähnt der Schüler die Gestaltung eines Plakates zum Thema „Evolution der Vögel“, sodass von der Behandlung der Thematik im Unterricht ausgegangen werden kann. Dies könnte das bestehende Vorwissen in dieser Klasse erklären.

Einzelfallanalyse Schülerin 14

Das Vorinterview mit Schülerin 14 dauerte ca. 8 min, das Nachinterview ca. 7 min. Insgesamt wurden hierbei jeweils 16 Aussagen vor der Unterrichtssequenz und 15 Aussagen danach codiert.

Vor der Unterrichtssequenz:

Schülerin 14 stimmt vor dem Unterricht der Tatsache einer individuellen Varianz zu, ist sich dabei aber unsicher (1.S14, Pos. 8). Zudem beschreibt sie eine Entwicklung der Art im botanischen Szenario über einen großen Zeitraum (1.S14, Pos. 10). Auf weitere Nachfrage

hin schildert sie eine stufenweise Entwicklung der Art (1.S14, Pos. 12). Im Szenario „Kernbeißer“ beschreibt sie die Entwicklung einzelner Individuen, die durch ihre individuellen Merkmale einen Vorteil hatten (1.S14, Pos. 28). Die Angepasstheit im Szenario „Bänderschnecken“ wird durch eine Notwendigkeit der Entwicklung erklärt, zudem werden auch anthropomorphe Vorstellungen geäußert (1.S14, Pos. 42). Die Entwicklung einer Tarnung beschreibt sie zum einen durch Mitwirken der Natur und zum anderen schildert sie finalistische Vorstellungen dazu (1.S14, Pos. 46). Zur Entwicklung einer neuen Tierart werden wissenschaftliche Teilvorstellungen zu Mutation und Vererbung der Merkmale auf die Nachkommen geäußert (1.S14, Pos. 32).

Nach der Unterrichtssequenz:

Im Nachinterview beschreibt Schülerin 14 die individuelle innerartliche Varianz am Beispiel der Venusfliegenfallen (2.S14, Pos. 4). Sie erklärt die Entwicklung der Art über einen großen Zeitraum (2.S14, Pos. 6), indem sie die zufällige Variation eines Individuums beschreibt, das durch diese Mutation einen Überlebensvorteil hatte (2.S14, Pos. 8). Auf weitere Nachfrage hin wird die Entwicklung bestimmter Merkmale durch Mutation geschildert und zudem die Vererbung dieser Merkmale auf die Nachkommen bei der Fortpflanzung beschrieben (2.S14, Pos. 16). Auch nach der Unterrichtssequenz äußert sie finalistische und anthropomorphe Vorstellungen zur Angepasstheit der Bänderschnecken (2.S14, Pos. 18) und erwähnt die Möglichkeit des Mitwirkens der Natur (2.S14, Pos. 20). Zur Entwicklung einer neuen Pflanzenart werden die Merkmalsentstehung durch Mutation und die Fortpflanzung dieser entstandenen Individuen beschrieben (2.S14, Pos. 12), wohingegen die Entwicklung einer neuen Tierart durch Hybridisierung vermutet wird (2.S14, Pos. 26).

Zusammengefasst beschreibt Schülerin 14 sowohl im Vorinterview als auch im nachinterview neben wissenschaftlichen Teilvorstellungen auch vielfältige Fehlvorstellungen (Tab. 44). Die Entwicklung einer neuen Art wird durch Mutation und Fortpflanzung sowie Hybridisierung beschrieben

Tabelle 44: Übersicht der kategorisierten Vorstellungen von Schülerin 14 jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.

■ finalistisch ■ wissenschaftlich ■ anthropomorph ■ Umwelt ■ Vergleich mit Bekanntem

ermittelte Kategorien vorher	ermittelte Kategorien nachher
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stufenweise Entwicklung ▪ Individuelle innerartliche Varianz ▪ Entwicklung von Arten ▪ Entwicklung Individuum, Überlebensvorteil (Fortpflanzung) ▪ Vererbung von Merkmalen ▪ Anthropomorphismus ▪ Notwendigkeit ▪ Natur + Notwendigkeit ▪ Zufällige Variation d. Nachkommen ▪ Artenentstehung durch Mutation 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mutation ▪ Individuelle innerartliche Varianz ▪ Entwicklung von Arten ▪ Entwicklung Individuum, Überlebensvorteil ▪ Vererbung von Merkmalen ▪ Anthropomorph ▪ Notwendigkeit ▪ Natur ▪ Hybridisierung ▪ Artenentstehung durch Mutation

Einzelfallanalyse Schülerin 15

Das Vorinterview mit Schülerin 15 dauerte ca. 9 min, das Nachinterview ca. 7 min. Insgesamt wurden hierbei jeweils 21 Aussagen vor der Unterrichtssequenz und 13 Aussagen danach codiert.

Vor der Unterrichtssequenz:

Schülerin 15 stimmt der individuellen Varianz von Individuen im Vorinterview zu (1.S15, Pos. 4). Auf weitere Nachfrage hin erläutert sie die Vermutung, alle Individuen sähen zunächst gleich aus bis ein Individuum andere Merkmale aufwies und diese dann an die Nachkommen weitergibt (1.S15, Pos. 8). Als Ursache der Entwicklung spezieller Angepasstheit schildert sie vorherrschende Umweltbedingungen (1.S15, Pos. 14). Im Szenario „Kernbeißer“ werden Vorstellungen einer automatischen Entwicklung von Merkmalen beschrieben, welche durch Fortpflanzung auf die Nachkommen übergehen (1.S15, Pos. 24). Die Frage nach der konkreten Entstehung des großen Schnabels beantwortet sie mit Nichtwissen (1.S15, Pos. 25). Die individuelle Varianz einer Art erklärt sie durch die unterschiedliche Entwicklung der Nachkommen (1.S15, Pos. 30). Die Entstehung einer neuen Art erläutert sie im botanischen Szenario mit wissenschaftlichen Teilvorstellungen, indem sie die Mutation der Nachkommen beschreibt, die in ihrer

Vorstellung bereits eine neue Art bilden (1.S15, Pos. 18). Im zoologischen Szenario erklärt sie die Entstehung einer neuen Art durch Hybridisierung (1.S15, Pos. 32).

Nach der Unterrichtssequenz:

Auch im Nachinterview stimmt Schülerin 15 der individuellen Varianz einer Art zu (2.S15, Pos. 4). Sie beschreibt die unterschiedliche Entwicklung der Individuen durch verschiedene Umwelteinflüsse (2.S15, Pos. 6), schildert daraufhin jedoch die Vermutung, die Venusfliegenfallen wären bereits: „[...] schon eigentlich immer so gewesen.“ (2.S15, Pos. 10). Die Entwicklung der Fangblätter erklärt sie wiederum durch die Varianz der Nachkommen (2.S15, Pos. 12). Auch die Entwicklung der Angepasstheit der Kernbeißer beschreibt sie durch die zufällige Variation der Nachkommen (2.S15, Pos. 24, 26). Im Szenario „Bänderschnecken“ wird nach der Unterrichtssequenz zunächst eine Angepasstheit durch die Umwelt geäußert (2.S15, Pos. 28). Eine weitere Nachfrage wird mit Nichtwissen beantwortet (2.S15, Pos. 30). Im weiteren Verlauf des Nachinterviews erklärt sie jedoch das Überleben einzelner Individuen, die in der Tochtergeneration Nachkommen mit angepassten Merkmalen ausbilden könnten (2.S15, Pos. 34). Die Entstehung einer neuen Art wird im botanischen Szenario durch Fortpflanzung und die Variation der Nachkommen beschrieben (2.S15, Pos. 20), wohingegen im zoologischen Szenario die Entwicklung einer neuen Tierart durch Hybridisierung vermutet wird (2.S15, Pos. 40).

Tabelle 45: Übersicht der kategorisierten Vorstellungen von Schülerin 15 jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.

■ finalistisch ■ wissenschaftlich ■ anthropomorph ■ Umwelt ■ Vergleich mit Bekanntem

ermittelte Kategorien vorher	ermittelte Kategorien nachher
<ul style="list-style-type: none"> ■ Individuelle innerartliche Varianz ■ Umwelt ■ Konstanz der Arten ■ Zufällige Variation der Nachkommen + Vererbung von Merkmalen ■ Fortpflanzung ■ Nichtwissen ■ Hybridisierung ■ Automatismus ■ Artenentstehung durch Mutation ■ Entwicklung von Arten 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Individuelle innerartliche Varianz ■ Umwelt ■ Konstanz der Arten ■ Zufällige Variation der Nachkommen ■ Artenentstehung durch Fortpflanzung ■ Nichtwissen ■ Hybridisierung

Zusammengefasst beschreibt Schülerin 15 sowohl vor der Unterrichtssequenz als auch danach wissenschaftliche Teilvorstellungen einhergehend mit verschiedenen Alltagsvorstellungen (Tab. 45). Sie schildert zunächst die individuelle Varianz einer Population, beschreibt dann jedoch die Anpassung durch die Umwelt. Im Vor- und Nachinterview werden detailliertere Nachfragen mit Nichtwissen beantwortet. Im Nachinterview erklärt sie erstmals das Überleben einzelner Individuen, die in der Tochtergeneration Nachkommen mit angepassten Merkmalen ausbilden können. Dazu beschreibt sie die Entstehung neuer Arten zum einen durch Fortpflanzung und zum anderen durch Hybridisierung.

7.4.3 Weiterentwicklung des Unterrichtsdesigns

In Erprobung III ist der Anteil der finalistischen Antworten im Nachfragebogen in allen Szenarien stark zurückgegangen. Gleichzeitig ist hierbei der Anteil wissenschaftlich beantworteter Fragen nach der Unterrichtssequenz stark angestiegen (Abb. 28). Teilweise zeigt sich in den Interviews ein inkonsequentes Antwortverhalten, wobei Alltagsvorstellungen auch in wissenschaftlichen Kontexten auftraten. Durch Verständnisfragen in den Einzelinterviews und die Beobachtung der Lernenden während der Durchführung der Unterrichtssequenz im Klassenverband konnten folgende Problemstellen identifiziert werden:

1. Die Lernenden beschreiben Anpassungen teilweise in Verbindung mit menschlichen Verhaltensweisen (Abb. 28, Einzelfallanalyse Schüler 12).
2. Die Lernenden äußern während der Durchführung der Lernsequenzen Nachfragen zum Material.

Somit können die folgenden abschließenden Optimierungspunkte für die Umsetzung vorgeschlagen werden:

Didaktik und Methodik:

- 1) Mit einer einfach verständlichen und wenig komplexen Simulation sollen die Lernenden in die Thematik Selektion und Anpasstheit eingeführt werden. Dafür eignet sich die Simulation „Kugelhausschnecken“ besonders, da sie bereits für den Einsatz in der Grundschule empfohlen wird (Graf & Schmidt-Salomon 2017). Durch

Wiederholung des neu erworbenen Wissens (Petermann & Petermann 2018) in der Simulation „Nahrungstransport der Kernbeißer“ soll im weiteren Unterrichtsverlauf die wissenschaftliche Erklärung evolutionärer Mechanismen in einem weiteren Szenario mit einer, den Schülerinnen und Schülern bekannten, Tierart aufgebaut und gefestigt werden (Brennecke 2015). Anschließend soll mithilfe der Simulation „Entwicklung der Alpenruspen“ die wissenschaftliche Vorstellung auf ein Szenario mit einer unbekannt, standortgebundenen Art transferiert werden, um gezielt anthropomorphen Alltagsvorstellungen entgegenzuwirken (Brennecke 2015).

Zur Festigung des neuen Wissens müssen weitere Reflexionsphasen eingeplant werden, damit die eigene Vorstellung im Bezug zu evolutionären Mechanismen bewusst hinterfragt werden kann (Kapitel 3.3, Kattmann 2022). Dafür eignen sich beispielsweise Gedankenmodelle (Roelle et al. 2023) wie sie zur optimierten Umsetzung der Unterrichtssequenz empfohlen werden (Kapitel 7.7.1).

Material:

- 2) Es ist zu empfehlen, einen Teil des zu verwendenden Materials zusammen mit den Schülerinnen und Schülern selbst herzustellen. Somit kann bereits vor der Durchführung der Unterrichtssequenz in die Thematik eingeführt werden und jede/r muss sich mit dem Unterrichtsmaterial auseinandersetzen. Ist dies nicht möglich, sollten Verständnisfragen zum Material vor der Durchführung der Simulationen ausgiebig besprochen und durch einen vorherigen Testdurchlauf, angeleitet durch die Lehrkraft, geklärt werden.

7.5 Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse aus der Interviewstudie

In der folgenden zusammenfassenden Ergebnisdarstellung sollen zunächst die kategorisierten Vorstellungen zur Angepasstheit und anschließend zur Artbildung jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz verglichen werden. Dabei wird Bezug genommen zum Aufgabenkontext in dem die jeweiligen Antworten gegeben wurden. Abschließend erfolgt eine Darstellung sowohl der Fragebogenergebnisse als auch eine kurze Einschätzung über die kategorisierten Vorstellungen aus der Interviewstudie zu den isolierten Teilpopulationen.

7.5.1 Kategorisierte Vorstellungen zur Angepasstheit in den Szenarien „Venusfliegenfallen“ und „Bänderschnecken“ vor der Unterrichtsintervention

Tabelle 46: Darstellung der geäußerten Vorstellungskategorien zur Angepasstheit im Szenario „Venusfliegenfallen“ vor der Intervention. Farblich markiert sind die Kategorien, in denen sich die meisten Lernenden geäußert haben.

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15
Nichtwissen	X	X	X				X			X	X				
Notwendigkeit		X	X	X		X		X	X			X	X		
Automatismus		X	X	X			X	X							
Vergleich		X	X			X							X		
Zufällige Variation		X							X						X
Selbstst. Anpassung		X		X		X									
Vererbung		X													X
Anthropomorphismus		X				X						X			
Natur											X				
Umwelt											X				X
Fortpflanzung			X			X			X				X		
Bakterien					X										
Mutation									X						
Überleben d. b. Angep.									X			X			
Stufenweise Entwicklung														X	

Die kategorisierten Äußerungen im Szenario „Venusfliegenfallen“ reichen von Nichtwissen (S1, S2, S3, S7, S10, S11) und einer notwendigen (S2, S3, S4, S6, S8, S9, S12, S13) Anpassung - wobei letztere die Kategorien ist, in der sich die meisten Schülerinnen und Schülern geäußert haben (Tab. 46) - über eine automatische Anpassung (S2, S3, S4, S7, S8), der stufenweisen Entwicklung von Merkmalen (S14), die selbstständige Anpassung von Individuen (S2, S4, S6), anthropomorphen Vorstellungen (S2, S6, S12) und Vorstellungen einer Entwicklung durch Bakterien (S5) oder die Natur (S 11) bis hin zu Vorstellungen einer zufälligen Varianz (S2, S9, S15), der Vererbung von Merkmalen (S2, S15), der Entwicklung durch Fortpflanzung (S3, S6, S9, S13), Anpassung durch Mutation (S9) und Vorstellungen über das Überleben der besser Angepassten (S9, S12). Zudem äußerten im botanischen Szenario vier Schülerinnen und Schüler zur Angepasstheit Antworten der Kategorie Vergleich mit Bekanntem (Tab. 46: S2, S3, S6, S13).

Tabelle 47: Darstellung der geäußerten Vorstellungskategorien zur Angepasstheit im Szenario „Bänderschnecken“ vor der Intervention. Farblich markiert sind die Kategorien, in denen sich die meisten Lernenden geäußert haben.

	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7	S 8	S 9	S1 0	S1 1	S1 2	S1 3	S1 4	S1 5
Nichtwissen		X	X	X	X		X	X		X					X
Notwendigkeit		X	X	X				X	X	X			X	X	
Automatismus	X	X													X
Vergleich		X	X	X			X		X						
Zufällige Variation									X			X	X		
Selbstst. Anpassung		X	X	X			X			X					
Anthropomorphismus						X							X	X	
Natur					X			X			X			X	
Umwelt	X	X	X	X	X	X		X	X		X		X		X
Fortpflanzung													X		
Mutation									X						
Überleben d. b. Angepassten						X			X			X			
Stufenweise Entwicklung				X				X							
Typenwechsel		X													
Entw. Individuum & Vorteil												X			

Die Tabelle 47 zeigt, dass die befragten Kinder auch im Szenario „Bänderschnecken“ vielfältige Vorstellungen zur Angepasstheit aufweisen, wobei die meisten Lernenden Erklärungen im Zusammenhang mit der Umwelt (S1-S6, S8, S9, S11, S13, S15), einer Notwendigkeit (S2-S4, S8-S10, S13, S14) oder ihr Nichtwissen (S2-S5, S7, S8, S10, S15) äußerten. Zudem ziehen insgesamt fünf Schülerinnen und Schüler zur Beantwortung der Frage nach der Angepasstheit der Bänderschnecken einen selbstgewählten Vergleich heran (Tab. 47: S2, S3, S4, S7, S9).

7.5.2 Kategorisierte Vorstellungen zur Angepasstheit in den Szenarien „Venusfliegenfallen“ und „Bänderschnecken“ nach der Unterrichtsintervention

Im Vergleich zur oben dargestellten Ergebnislage vor der Intervention sind folgende zentrale Aspekte erwähnenswert: Schülerin 1 beschreibt nach dem Unterricht die Merkmalsentstehung der Venusfliegenfallen zum einen mit finalistischen Alltagsvorstellungen, nutzt jedoch zum anderen erstmalig auch Vorstellungen zur Fortpflanzung von Individuen in ihren Erklärungen (2.S1, Pos. 24). Ebenso äußert Schülerin 7 erstmalig im Nachinterview Teilvorstellungen zur Fortpflanzung zur Frage nach der Merkmalsentwicklung (2.S7, Pos. 4; 2.S11, Pos. 12). Drei Lernende zeigen neben den Vorstellungen zur Fortpflanzung (fast) ausschließlich wissenschaftliche Teilvorstellungen zur Entwicklung der Venusfliegenfallen (Tab. 48: S4, S9, S13). Zudem konnten nach der Unterrichtssequenz die Antworten von elf Lernenden zum Themenbereich individuelle, innerartliche Varianz von Individuen einer Population oder der zufälligen Varianz von Nachkommen im botanischen Szenario kategorisiert werden (S3, S4, S6, S7, S9-S15), im Vergleich zur Befragung vor der Intervention (S2, S9, S15). Fünf Lernende beschreiben nach der Intervention das Überleben der besser angepassten Individuen zur Erklärung der Merkmalsentwicklung im botanischen Szenario (S2, S3, S4, S9, S12). Davon äußern sich drei Kinder zum ersten Mal in dieser Kategorie, nachdem sie die Unterrichtssequenz durchlaufen haben (S2, S3, S4). Schülerin 2 und Schülerin 4 erklären hierbei die Wirkung variiert Individuen auf die unterschiedliche Fitness: „[...] die ham sich dann vermehrt und manchmal is es halt, weil wir sehen ja auch nich immer alle gleich aus, zu ein anderen gekomm. Und wenn das gut überlebt hat, konnte sich das dann auch fortpflanzen und wenn nich is es halt ausgestorben.“ (2.S4, Pos. 6).

Zu Vorstellungen einer zufälligen Variation der Nachkommen oder der Diversität innerhalb einer Population äußerten sich nach der Intervention im zoologischen Szenario zehn Lernende (S2, S3, S4, S6-S11, S15), wohingegen es davor nur drei Schülerinnen und Schüler waren (S9, S12, S13).

Tabelle 48: Darstellung der geäußerten Vorstellungskategorien zur Angepasstheit im Szenario „Venusfliegenfallen“ nach der Intervention. Farblich markiert sind die Kategorien, in denen sich die meisten Lernenden geäußert haben. Eine grüne Hinterlegung drückt wissenschaftliche (Teil-)Vorstellungen aus.

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15
Nichtwissen					X			X		X					
Notwendigkeit	X						X	X							
Automatismus					X						X				
Vergleich		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Zufällige Variation			X			X	X		X	X					X
Vererbung												X	X		
Anthropomorphismus	X	X						X				X			
Natur							X	X							
Umwelt					X										X
Fortpflanzung	X								X		X		X		
Mutation									X						
Überleben besser Ang.		X	X	X					X			X			
Typenwechsel	X														
Entw. Individuum & Vorteil		X		X										X	
Individuelle Varianz				X							X	X	X	X	X
Unterart							X								

Sechs Schülerinnen und Schüler nutzten Vorstellungen einer Merkmalsentstehung durch Fortpflanzung im zoologischen Szenario nach dem Unterricht (Tab. 49), dagegen war es im Vorinterview nur ein Lernender (Tab. 47). So beschreibt Schülerin 10 im Nachinterview zunächst die Mutation der Nachkommen bei der Fortpflanzung: „Mmhh also vielleicht äh wenn sie sich fortpflanzen, dass sie dann ähm dass sie dann vielleicht n bisschen heller oder dunkler sind irgendwie. . .“ (2.S10, Pos. 30). Anschließend beschreibt sie die Wirkung dieser zufälligen Varianten auf die Fitness dieser: „Mhh . . ähm also ich glaube ähm weil auf der

einen Seite ist es ja heller als auf der anderen Seite und äh dadurch sind die besser getarnt. Und ähm dann ähm wärn da vielleicht auch mehr Nachkommen äh sein.“ (2.S10, Pos. 32). Nachdem Schülerin 10 im Vorinterview noch die Notwendigkeit der Anpassung beschreibt (1.S10, Pos. 51), erklärt sie nach der Unterrichtsintervention erstmals die Angepasstheit der Schneckenpopulation, indem sie wissenschaftliche Vorstellungen dazu schildert (2.S10, Pos. 32). Das Konzept des Überlebens der besser angepassten Individuen wird von S2, S3, S4, S7 und S13 erstmalig im zoologischen Szenario nach der Intervention geäußert (Tab. 49).

Tabelle 49: Darstellung der geäußerten Vorstellungskategorien zur Angepasstheit im Szenario „Bänderschnecken“ nach der Intervention. Farblich markiert sind die Kategorien, in denen sich die meisten Lernenden geäußert haben. Eine grüne Hinterlegung drückt wissenschaftliche (Teil-)Vorstellungen aus.

	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7	S 8	S 9	S1 0	S1 1	S1 2	S1 3	S1 4	S1 5
Nichtwissen										X					X
Notwendigkeit								X		X				X	
Vergleich		X	X			X							X		
Zufällige Variation			X	X		X	X	X	X	X	X				X
Selbstst. Anpassung					X			X							
Anthropomorphismus				X		X						X		X	
Natur														X	
Umwelt	X				X	X		X			X		X		X
Fortpflanzung	X			X			X			X	X		X		
Mutation														X	
Überleben besser Ang.		X	X			X			X	X			X		
Typenwechsel					X										
Entw. Individuum & Vorteil		X	X	X			X					X			
Indiv. Varianz		X					X								
Vererbung			X		X							X			

Vorstellungen einer notwendigen Entwicklung von Merkmalen wurden im zoologischen Szenario nach der Unterrichtsintervention von weniger Lernenden geäußert als davor (vgl. Tab. 47 und 44). Zudem schildern deutlich weniger Lernende Vorstellungen in der Kategorie „Nichtwissen“ im Nachinterview (S10, S15) als im Vorinterview (S2, S3, S4, S5, S7, S8,

S10, S15). Des Weiteren werden Äußerungen von wissenschaftlichen (Teil-)Vorstellungen nach der Intervention zumeist differenziert dargelegt (S3, S4, S6, S7, S9-S15).

7.5.3 Kategorisierte Vorstellungen zur Artbildung vor der Unterrichtsintervention

Da sich in der Vorstellungsforschung zur Evolution ein Mangel an Erhebungen der Vorstellungen jüngerer Schülerinnen und Schüler zur Artbildung gezeigt hat (Kapitel 3.6.2), stellt ein Ergebnis der vorliegenden Arbeit das differenzierte Kategoriensystem zur systematischen Verortung der erhobenen Lernendenvorstellungen zur Artbildung dar (Kapitel 7.1- Ordnungskategorie: Entwicklung einer neuen Art). Dieses kann für künftige Erhebungen genutzt werden, um die geäußerten Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler nuanciert darzustellen und eine mögliche Vorstellungsentwicklung detailliert abzubilden. Dass dies notwendig ist, um den Unterricht zu spezifizieren, zeigen die in der hiesigen Studie analysierten Ergebnisse:

Tabelle 50: Darstellung der geäußerten Vorstellungskategorien zur Artbildung vor der Intervention unterteilt in das botanische Szenario und die zoologischen Szenarien. Farblich markiert sind die Kategorien, in denen sich die meisten Lernenden geäußert haben.

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15
botanisch															
Hybridisierung	X		X							X	X				
Bakterien	X				X										
Mutation				X		X			X			X			X
Umwelt					X	X	X	X							
Notwendigkeit									X				X		
zoologisch															
Hybridisierung	X		X	X		X		X			X		X		X
Bakterien				X											
Vergleich	X						X		X						
Mutation									X	X		X		X	
Trennung Ursprungart		X						X							
Umwelt					X										
Notwendigkeit					X										
Verstorbenes Tier						X									
Fortpflanzung							X								

Viele Lernende beschreiben in ihren Darstellungen zur Artentwicklung mehrere unterschiedliche Vorstellungen, wobei sich zwei zur Artenentstehung durch Bakterien äußern (S1, S4). Die Entwicklung einer neuen Pflanzenart beschreiben fünf Schülerinnen und Schüler durch Teilvorstellungen zur Mutation (S4, S6, S9, S12, S15), wobei Schüler 9 diese wissenschaftliche Teilvorstellungen zur Artbildung näher erklärt: „Durch die Mutationen in ihrer, in ihrer, in ihrem Erbmolekül.“ (1.S9, Pos. 24). Zudem beschreibt Schüler 9 in seinen Ausführungen eine Notwendigkeit der Anpassung: „Das sie sich halt spezialisiert, um noch bessere Überlebenschancen zu haben. Das wird sie auf jeden Fall tun.“ (1.S9, Pos. 16), ebenso wie Schüler 13 (1.S13, Pos. 20). Schülerin 1 beschreibt die Entstehung einer neuen Art als einen Prozess der Hybridisierung, ebenso wie Schüler 3 und die Schülerinnen 10 und 11 (Tab. 50). Dass so viele verschiedene Pflanzenarten existieren, erklärt Schülerin 7 mit den unterschiedlichen Lebensbedingungen dieser (1.S7, Pos. 30). Schülerin 8 beschreibt die Artentstehung durch die Umwelt (1.S8, Pos. 36).

In der Befragung nach der Artbildung in zoologischen Szenarien, wurden sehr viele Äußerungen zur artfremden Kreuzung kategorisiert (Tab. 50: S1, S3, S4, S6, S8, S11, S13, S15). Während beispielsweise Schüler 6 und Schülerin 8 die Verpaarung verschiedener Schneckenarten erläutern, erklärt Schülerin 11 im Szenario „Kernbeißer“ die Artneubildung bei Tieren durch die Kreuzung artfremder Vögel: „[...] sozusagen so vermischen. Und dann irgendwie jetzt z. B. ähm zwei unterschiedliche Vögel irgendwie äh dann die Kinder äh kriegen und die sehn dann z. B. komplett anders aus. Is da dann z. B. dann so ne gemischte Vogelart [...]“ (1.S11, Pos. 44), ähnlich wie Schülerin 15 (1.S15, Pos. 32). Zwei Lernende beschreiben die Entstehung einer neuen Art durch Trennung der Ursprungsart (S2, S8). Schüler 5 äußert Vorstellungen einer Artentstehung durch die Natur (1.S5, Pos. 91), wobei er auf weitere Nachfrage eine Notwendigkeit der Artbildung beschreibt (1.S5, Pos. 93-95). Eine Teilvorstellung zur Artenentstehung durch Fortpflanzung äußert Schülerin 7 (1.S7, Pos. 56). Ausgeprägter zeigen sich bereits wissenschaftliche Teilvorstellungen zur Artbildung bei Schüler 9, wobei er diese bewusst zur Fehlvorstellung der Einflussnahme der Natur abgrenzt: „Vor - völlig allgemein ist es so, dass eine neue Art durch Mutationen entsteht und gar nicht dadurch das irgendwie die Natur irgendwie sagt ne wir machen jetzt ne neue Art oder so. Sondern einfach dadurch das se-a-ma-di-a dass manche einfach immer weiter sich verändern und diese Gattung- und diese Veränderung sich mehr durchsetzt.“ (1.S9, Pos. 46). Er erkennt dabei die Ursache der Variation innerhalb einer Population und beschreibt die Wirkung der

unterschiedlichen Fitness (S9). Drei Lernende äußern erste Teilvorstellungen zur Artenentstehung durch Mutation im zoologischen Kontext (S10, S12, S14).

Schülerin 4 schildert eine Artentstehung durch Bakterien (1.S4, Pos. 75-77). Dabei bezieht sie sich in ihrer Vorstellung auf einen Vergleich zum Menschen (S4). Schüler 6 beschreibt die Artbildung zwar zunächst aus einem verstorbenen Tier: „Vielleicht wenn ein anderes Tier stirbt und dann ein neues Tier daraus wird. [...]“ (1.S6, Pos. 70), er bezieht sich jedoch im Anschluss ebenfalls auf einen Vergleich aus bereits zuvor Gelesenem: „Vielleicht durch-keine Ahnung- ich hab mal gelesen, das bei Seesternen so is. Wenn die ein Arm abwerfen, aber . . keine Ahnung. (1.S6, Pos. 70). Zudem äußern Schülerin 1 (1.S1, Pos. 92) und Schüler 3 (1.S3, Pos. 84) in ihren Vorstellungen zur Artbildung einen Vergleich zu anderen Tierarten (Wolf, Huhn).

7.5.4 Kategorisierte Vorstellungen zur Artbildung nach der Unterrichtsintervention

Im Interview nach der Durchführung der Intervention äußerten fünf Lernende im botanischen Szenario (S1, S6, S8, S13) und sechs Lernende im zoologischen Kontext (S6, S8, S10, S13, S14, S15) Vorstellungen einer Hybridisierung bei der Frage nach der Artbildung. Außerdem beschreibt Schülerin 1 im Nachinterview erstmalig wissenschaftliche Teilvorstellungen zu allopatrischen Artbildungsprozessen im zoologischen Szenario: „Ähm, . . . Wenn, ähm eine Tierart und die sich dann getrennt ham - und die dann im anderen Lebensraum is und die sich dann dort anpasst und verändert.“ (2.S1, Pos. 60). Des Weiteren ist ein Anstieg der Erklärungen zur Artbildung durch Mutation zu verzeichnen (Tab. 51), wobei S11 und S14 im botanischen und S2, S3, S6, S7, S9 und nochmals S11 im zoologischen Szenario diese Vorstellung erstmals zur Artbildung äußern. Eine Differenzierung der Äußerungen nach dem Unterricht kann beispielsweise anhand Schülerin 7 dokumentiert werden. Sie beschreibt noch im Vorinterview die Artentstehung bei Tieren, indem sie ihre Vorstellung mit bereits Bekanntem vergleicht: „Also, wenn halt wenn man jetzt irgendwie Hunde hat. Und dann immer irgendwie so kleine Hunde nimmt, die irgendwie gerne rennen und dann irgendwie die immer miteinander paart. Dann wird, wird das ja irgendwie so eine A-Art, oder so (lacht). Oder . . .“ (1.S7, Pos. 56), wohingegen sie nach der Unterrichtsintervention eine Erklärung durch Diversität und Fortpflanzung beschreibt: „Also vielleicht wenn halt von einer Tierart so vielleicht, äh die sehen ja auch nich immer alle gleich aus und wenn dann vielleicht welche die so ähnlicher sind, aber auch

nich so wie die richtige Art sich irgendwie paaren und ähm dann halt Kinder kommen und ähm die sind dann ja wahrscheinlich auch wieder so bisschen anders und so und so halt immer weiter und dann könnte vielleicht über mehrere Jahre ähm eine neue Art entstehen.“ (2.S7, Pos. 36).

Tabelle 51: Darstellung der geäußerten Vorstellungskategorien zur Artbildung nach der Intervention unterteilt in das botanische Szenario und die zoologischen Szenarien. Farblich markiert ist die Kategorie, in der sich die meisten Lernenden geäußert haben.

	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7	S 8	S 9	S1 0	S1 1	S1 2	S1 3	S1 4	S1 5
botanisch															
Hybridisierung	X					X		X					X		
Mutation									X		X	X		X	
Umwelt					X										
Notwendigkeit							X								
Trennung Ursprungart		X													
Entw. Individuum & Vorteil				X			X								
Nichtwissen										X					
Fortpflanzung											X				X
zoologisch															
Hybridisierung						X		X		X			X	X	X
Vergleich		X			X				X	X					
Mutation		X	X			X	X		X		X	X			
Trennung Ursprungart	X														
Umwelt					X										
Fortpflanzung	X			X									X		
Individuelle Varianz				X											
Erschaffung					X										
Überleben d. b. Angep.									X						
Vererbung												X			

7.5.5 Vorstellungen zu isolierten Teilpopulationen

Sowohl vor als auch nach der Unterrichtsintervention wurden in den Erprobungen I-III viele Vorstellungen zur unterschiedlichen Entwicklung von Teilpopulationen bei sich stark unterscheidenden Umweltverhältnissen im Fragebogen dokumentiert (Abb. 29). Dabei entschieden sich in Erprobung II und III bereits vor der Intervention viele Lernende für die

wissenschaftliche Vorstellung, welche die Unvorhersehbarkeit der Entwicklung der getrennten Teilpopulationen beschreibt (Abb. 29).

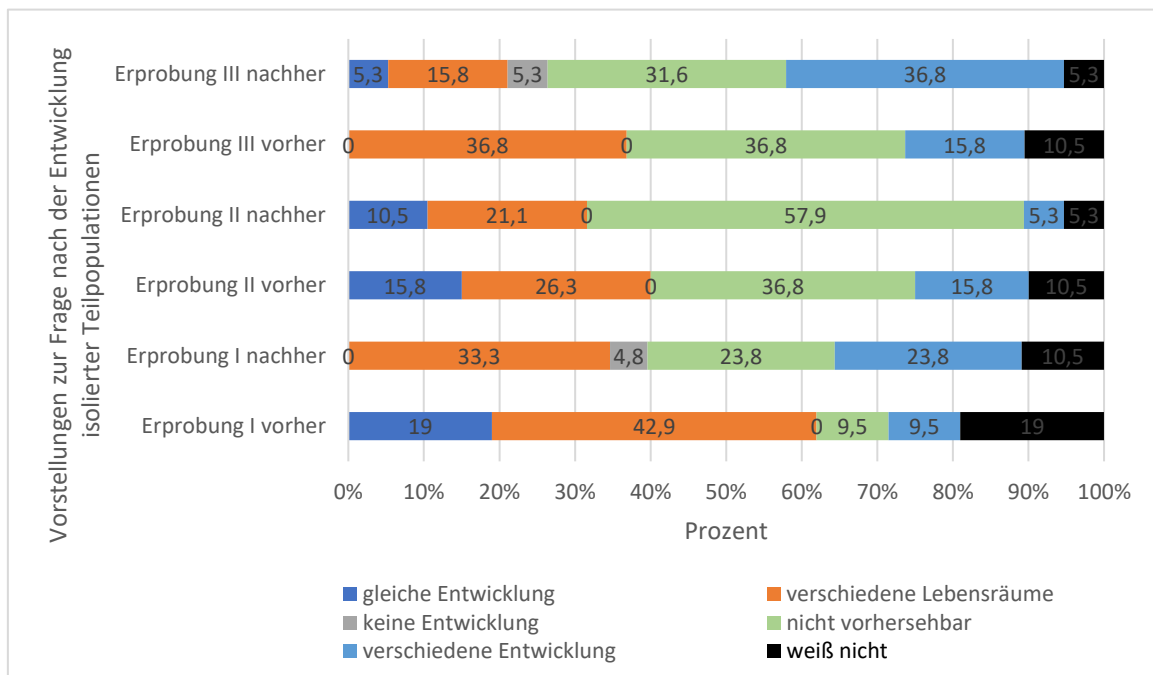


Abbildung 29: Darstellung der vor- und nachunterrichtlichen Vorstellungen zur Entwicklung getrennter Teilpopulationen im Fragebogen der Erprobungen I-III.

In den kategorisierten Vorstellungen der Vor- und Nachinterviews zeigen sich sehr unterschiedlich genutzte Vorstellungen zur Frage nach isolierten Teilpopulationen, sowohl im botanischen als auch zoologischen Kontext (Anhang C: Einzelfallanalyse_gesamt).

Aus diesem Grund soll die Darstellung der Vorstellungen zu isolierten Teilpopulationen nur kurz erfolgen und mögliche Hintergründe der stark schwankenden Vorstellungen im Kapitel 8.1.2 diskutiert werden.

7.6 Einordnung der Ergebnisse

Um Fehlschlüsse und Missverständnisse auszuschließen, werden in diesem Kapitel einige Hinweise zu den vorgestellten Ergebnissen gegeben.

In bisherigen Studien sind kreationistische Vorstellungen gerade bei jüngeren Befragten häufig zu finden (Graf & Hamdorf 2011, Evans 2000). In der Datenauswertung der vorliegenden Untersuchung trat die Vorstellung einer Entwicklung durch Erschaffung nur punktuell auf (Kapitel 7.2.2, Einzelfallanalyse Schüler 5). Das Herausstellen nur einer kategorisierten Antwort zu kreationistischen Vorstellungen heißt nicht, dass diese nicht

häufiger vertreten waren. In den Fragebögen wurde keine Antwortalternative in diesem Bereich angeboten, da sich auf die validierten Fragebögen von Beniermann (2019) und Kuschmierz et al. (2020) bezogen wurde. Zudem wurden die Schülerinnen und Schüler, die in Interviews befragt wurden, zufällig ausgewählt. Dies spiegelt nur einen kleinen Teil der Vorstellungsbreite wider. Da in dieser Studie der Schwerpunkt auf der Entwicklung einer evaluierten und optimierten Unterrichtssequenz liegt und damit auf der Untersuchung des Lernzuwachses und der Entwicklung wissenschaftlicher (Teil-)Vorstellungen innerhalb dieser, steht die Breite der Schülervorstellungen nicht im Vordergrund.

Des Weiteren soll die tabellarische Zusammenfassung der Vorstellungen jeweils im Vor- und Nachinterview lediglich einen Überblick über die kategorisierten Vorstellungen geben. Hierbei kann eine Tendenz aber nicht der Stand des Wissens abgelesen werden, da häufig wissenschaftliche Teilvorstellungen zusammen mit Fehlvorstellungen geäußert werden (Brennecke 2015, Roth 2017). Zudem gibt die Tabelle keine Auskunft über die Ausführlichkeit der Antwort. Als Beispiel dient ein Auszug der Antwort zur individuellen innerartlichen Varianz aus den Interviews mit Schüler 13. Er äußert im Vorinterview lediglich eine Einschätzung zur Varianz in einer Population. Auf die Frage der Interviewerin: „[...] Und glaubst du denn diese also diese Venusfliegenfallen sehen alle genau gleich aus?“ (1.S13, Pos. 9) antwortet Schüler 13: „Genau gleich würd ich nicht sagen.“ (1.S13, Pos. 10). Näher geht er auf die Frage nicht ein. Dagegen erklärt er die individuelle innerartliche Varianz der Kernbeißer im Nachinterview ausführlich und beschreibt seine Ausführungen mit Beispielen. Schüler 13: „Nein, manche haben größere Schnäbel, und manch-manche kleinere, die Färbung is anders. Also vielleicht hat ein Vogel nich son ganz blauen Schnabel, sondern eher son rötlicheren. [...]“ (2.S13, Pos. 22). Die Frage nach einem möglichen Lernzuwachs ergibt sich somit aus mehreren Faktoren. Zum einen aus der Zugehörigkeit zur Antwortkategorie, zum anderen aus der Tiefe der Antwort und der Transferleistung des neu Erlernten auf andere Szenarien.

An dieser Stelle muss klargestellt werden, dass die Kategorie „Arten verändern sich“ zwar einen Hinweis auf die Vorstellungen zur Entwicklung von Arten gibt, die Antworten zu dieser Kategorie aber nicht kontinuierlich und explizit kategorisiert wurden, da sich die Vorstellung zur Veränderbarkeit von Arten oft aus dem Zusammenhang der gegebenen Antworten erschließt, beispielsweise durch Antworten der Kategorie „Neue Art durch Mutation der Nachkommen“. Somit kann hierbei kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben

werden. Vielmehr wurden Antworten in diese Kategorie eingeordnet, wenn die Entwicklung von Arten konkret benannt wurde.

7.7 Optimierte Simulationen und Unterrichtsdesign

Durch die begleitende Studie zu den vor- und nachunterrichtlichen Evolutionsvorstellungen konnten die Prototypen der Simulationen im Verlauf der Erprobungszyklen weiterentwickelt werden, sodass im Folgenden das finale Unterrichtsdesign mit den optimierten Simulationen präsentiert wird.

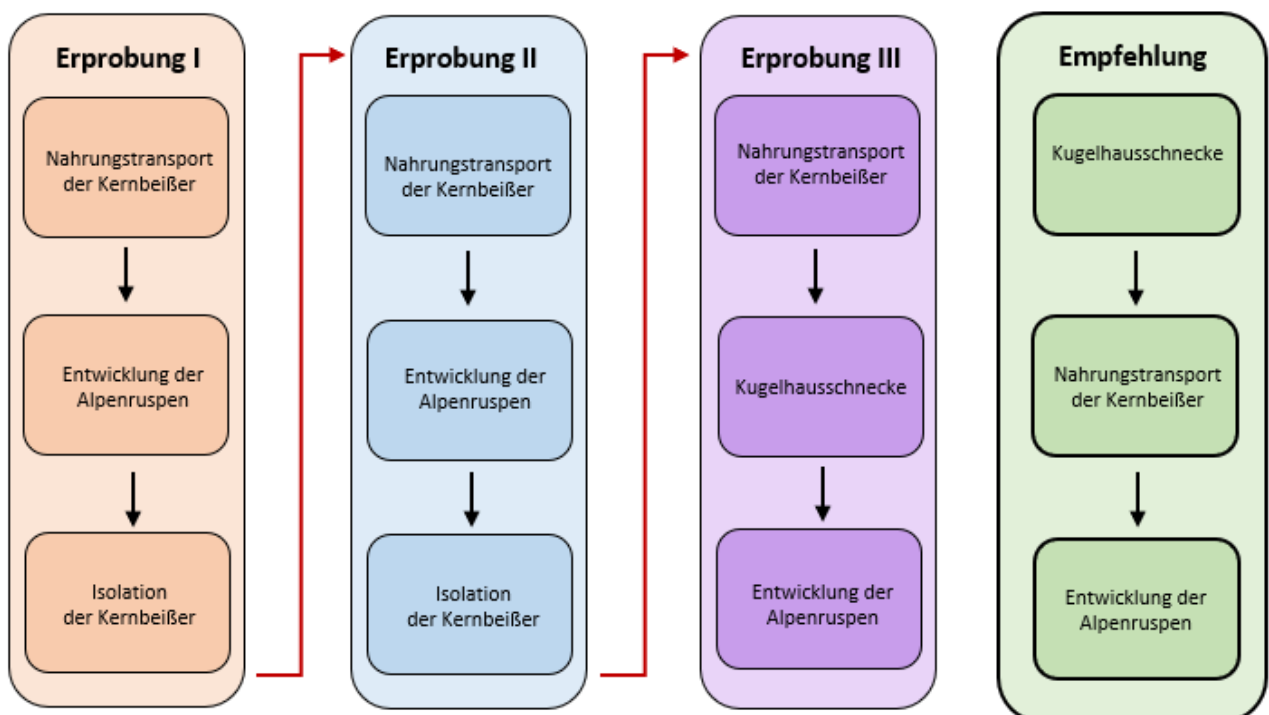


Abbildung 30: Zeitliche Strukturierung des Unterrichtsarrangements in den Erprobungszyklen I-III und Empfehlung für zukünftige Durchführungen.

In den ersten beiden Erprobungszyklen wurde jeweils eine Unterrichtsdoppelstunde für die Simulationen „Nahrungstransport der Kernbeißer“, „Entwicklung der Alpenruspen“ und „Isolation der Kernbeißer“ eingeplant (Abb. 30). Dabei wurden die identifizierten Problemstellen, die einen möglichen Lernzuwachs behindern, genutzt, um Verbesserungen sowohl am Material als auch im didaktisch-methodischen Vorgehen zu integrieren (Kapitel 7.2.3, 7.3.3).

Da sich der Lernzuwachs in den Erprobungen I und II als gering herausgestellt hat und sich zudem Schwierigkeiten während der Durchführung der Simulation „Isolation der Kernbeißer“ ergeben haben (Kapitel 5.1.3), wurde diese in der Erprobung III ersetzt (Abb. 30). Dennoch soll an dieser Stelle eine mögliche Lösung für den erfolgreichen Einsatz der

Simulation „Isolation der Kernbeißer“ gegeben werden: Indem die Simulation mit einer größeren Schülergruppe bzw. einer weiteren Klasse durchgeführt wird, kann die Entwicklung der isolierten Teilpopulationen wie in Kapitel 5.1.3 beschrieben, dargestellt werden. Somit ist die Simulation „Isolation der Kernbeißer“ zwar nicht für die Umsetzung mit nur einer Schulklasse geeignet, sie kann jedoch im weiteren Unterrichtsverlauf nach der empfohlenen Durchführung des Arrangements (Abb. 30) dazu genutzt werden, den allopatrischen Artbildungsprozess an einem weiteren Beispiel (Brennecke 2015, Petermann & Petermann 2018) zu veranschaulichen und für die Lernenden greifbar darzustellen.

Im Erprobungszyklus III wurde vor diesem Hintergrund eine weitere Simulation mit dem Schwerpunktthema Selektion und Angepasstheit eingeführt, um das zuvor Erfahrene zu wiederholen und im variierten Kontext zu festigen (Brennecke 2015, Petermann & Petermann 2018). Mit der bereits publizierten und in dieser Arbeit leicht modifizierten Simulation „Kugelhausschnecke“ (Graf & Schmidt-Salomon 2017) konnte das Gelernte erneut angewendet werden, sodass ein Transfer des Wissens ermöglicht wurde (Roelle et al. 2023). In der abschließenden Unterrichtsdoppelstunde wurde mit der Simulation „Entwicklung der Alpenruspen“ der Fokus auf die Isolation von Teilpopulationen gelegt, welche sich unter zufälligen Ereignissen in geografischer Isolation entwickeln. Die Lernenden sollen das Wissen aus den vorangegangenen Unterrichtssequenzen auf ein ihnen unbekanntes botanisches Szenario übertragen (Brennecke 2015). Durch die Simulation voneinander getrennter Teilgruppen sollen erste Isolationsmechanismen aufgezeigt werden, um ein Verständnis für allopatrische Artbildungsprozesse zu schaffen.

Als Konsequenz aus den Ergebnissen der Testungen wird folgende optimierte Reihenfolge für zukünftige Durchführungen der Unterrichtssequenz empfohlen (Abb. 30):

1. Zu Beginn des Arrangements wird die Unterrichtsdoppelstunde mit der im Fokus stehenden Simulation „Kugelhausschnecke“ durchgeführt. Da die Komplexität der Simulation gering ist, wird sie bereits für den Einsatz ab der Grundschule empfohlen (Graf & Schmidt-Salomon 2017) und eignet sich daher besonders zur Einführung in die Thematik *Variation, Selektion und Angepasstheit*. Indem die Lernenden die Auswirkungen individueller Varianz selbst erfahren, kann ein Rahmen zum Verständnisaufbau (Gropengießer & Kattmann 2023) evolutionärer Mechanismen geschaffen werden. Um den Transfer des neuen Wissens zu unterstützen, soll zusätzlich ein Gedankenmodell mit variiertem Umwelt bearbeitet werden (Roelle et al. 2023).

2. Zur Vertiefung des Verständnisses von Selektions- und Anpassungsprozessen wird im Anschluss die Unterrichtsdoppelstunde mit der im Fokus stehenden Simulation „Nahrungstransport der Kernbeißer“ durchgeführt. Durch die Wiederholung zentraler Erkenntnisse der vorangegangenen Simulation soll der Transfer des neuen Wissens auf ein weiteres Szenario erleichtert (Roelle et al. 2023) und das Lernen unterstützt werden (Petermann & Petermann 2018). Außerdem soll im Gegensatz zur identischen Verdopplung der Nachkommen in der Simulation „Kugelhausschnecke“ an dieser Stelle die Variation der Nachkommen eingeführt werden. Somit soll die Entwicklung einer Angepasstheit über Generationen hinweg veranschaulicht werden.
3. Den Abschluss der Unterrichtssequenz bildet die Simulation „Entwicklung der Alpenruspen“. Die Besonderheit der konzipierten Simulation besteht nicht allein in der Wahl eines unbekanntes botanischen Szenarios (Brennecke 2015), sondern vor allem in der Simulation der Entwicklung geografisch isolierter Teilpopulationen (Kapitel 7.7.3), was zur Bildung eines Verständnisses von allopatrischer Artenentstehung grundlegend ist (Kapitel 3.6.2).

Im Anschluss werden die optimierten Endversionen der drei ausgewählten Simulationen vorgestellt. Dabei wird die Simulation „Kugelhausschnecke“ ausführlich dargestellt, da sie erst vor der Erprobung III eingeführt wurde. In den Unterrichtsdoppelstunden um die Simulationen „Nahrungstransport der Kernbeißer“ und „Entwicklung der Alpenruspen“ werden im Folgenden die sich aus der Diskussion der Ergebnisse (Kapitel 7.2.3, 7.3.3, 7.4.3) ergebenden Verbesserungen aufgezeigt.

7.7.1 Simulation „Kugelhausschnecke“

a) Didaktisch-methodische Hinweise

Wie in den Kapiteln 7.2.3 und 7.3.3 beschrieben, fällt es den Lernenden bei anhaltenden finalistischen (Abb. 26, Abb. 27, S8, S10, S14) und anthropomorphen Vorstellungen (Abb. 26, Abb. 27, S2, S6, S12, S14) schwer, eine zufällige Angepasstheit zu erkennen (Lammert 2012). Im Fokus der ersten Unterrichtsdoppelstunde des Arrangements steht deshalb das Verständnis unterschiedlicher Merkmalsausprägungen von Individuen einer Art und den Auswirkungen dieser auf den Fortpflanzungserfolg in einer gegebenen Umwelt. Dabei soll

in einem handlungsorientierten Rahmen wiederholt die Möglichkeit gegeben werden, über die eigene Vorstellung zu reflektieren (Kapitel 7.2.3), indem gezielt Fragen gestellt werden, die zur aktiven Auseinandersetzung mit der eigenen Vorstellung führen (Kapitel 3.3). Durch den inhaltlichen Einbezug des Menschen zur Einführung in die Unterrichtsdoppelstunde sowie die grundsätzliche Orientierung an den Lernenden, soll die persönliche Nähe zur Thematik vergrößert werden (Gropengießer & Kattmann 2023).

Über die Generationenabfolge hinweg sollen die Lernenden mit dieser Simulation die Verschiebung der Population hin zu den besser angepassten Individuen in einer gegebenen Umwelt beobachten. Zur Einführung in die Thematik Selektion und Angepasstheit sollen alle Fragen nach der Methode „think-pair-share“ gestellt werden (Kapitel 7.2.3). Diese Methode eignet sich besonders, um den Lernenden die Möglichkeit zu geben, sich zunächst der eigenen Vorstellung bewusst zu werden „think“, bevor diese mit dem Sitznachbarn „pair“ und schließlich im Plenum „share“ diskutiert wird (Bruckermann & Schlüter 2017) und möglicherweise an die Grenzen ihrer Erklärungskraft stößt. Neben der aktiven Einbindung der eigenen Vorstellung, im Sinne der Didaktischen Rekonstruktion (Kapitel 3.3), kann ein entstehender Konflikt mit dieser genutzt werden, um im weiteren Unterrichtsverlauf die wissenschaftliche Vorstellung nach den Prinzipien einer Conceptual Reconstruction (Kapitel 3.2) zur plausiblen Beantwortung einzuführen (Gropengießer & Marohn 2018, Möller 2019). Zur Unterstützung des Lernprozesses ist die beschriebene Methode ein wichtiger Baustein, um sicherzustellen, dass sich jeder Schüler und jede Schülerin mit der Fragestellung auseinandersetzt (Bruckermann & Schlüter 2017), da im Plenum nicht zwingend alle Lernenden ihre Vorstellungen reflektieren.

Außerdem sollen die Lernenden in dieser Unterrichtsdoppelstunde Erfahrungen mit der Abhängigkeit einer Angepasstheit von den herrschenden Umweltbedingungen sammeln und ein Verständnis entwickeln, dass besser angepasste Individuen zumeist einen höheren Fortpflanzungserfolg zeigen (vgl. Graf & Schmidt-Salomon 2017).

Wichtig ist, vor Beginn der Simulation gemeinsam mit den Lernenden zu reflektieren, dass es sich um eine fiktive Art von Kugelhausschnecken handelt, welche individuelle Unterschiede in der Farbe aufweisen. So soll typologischem Denken und weiteren Fehlvorstellungen (Kapitel 3.6) durch ein falsches Verständnis der Simulation vorgebeugt werden. Zudem sollte genug Zeit für Nachfragen bei der Vorstellung der Simulation eingeplant werden, da es sich um fiktive Organismen handelt. Dabei wurde sich an der bereits publizierten Version der Simulation von Graf & Schmidt-Salomon (2017) orientiert,

die in ähnlichem Kontext „kugelige Insekten“ beschreiben. Um im weiteren Verlauf des Arrangements den Lernenden die Überleitung zu den Kernbeißern wie unten beschrieben zu erleichtern, wurde sich hierbei auf fiktive Organismen bezogen. Dabei kann die Komplexität der Bedingungen so reduziert werden, dass sich auf wesentliche Merkmale zur Hinführung an die unterrichtliche Zielsetzung konzentriert wird. Zur Einführung in die Thematik bietet sich dies an, um weiteren Fehlvorstellungen vorzubeugen, wobei in der Modellkritik unter anderem zwingend Bezug darauf genommen werden muss.

Damit sich die Lernenden der individuellen Vorstellung bewusst zu werden, sollten nach der Klärung der Unterrichtsfrage, jedem Schüler und jeder Schülerin genügend Zeit eingeräumt werden, eigene Vermutungen zum Simulationsverlauf zu formulieren. Bei Bedarf kann zunächst eine gemeinsame Hypothese zur Untersuchung festgelegt werden. Auch beim Verifizieren oder Falsifizieren dieser kann am Ende der Unterrichtsdoppelstunde Hilfestellung angeboten werden. Die Auswertung der Unterrichtsfrage sollte nochmals mit der Methode „think-pair-share“ durchgeführt werden, um die größtmögliche Auseinandersetzung jedes Lernenden mit den eigenen Vorstellungen zum Stundenthema zu gewährleisten und den Austausch der Vorstellungen im Plenum zu fördern (Kapitel 7.2.3). Um die Transferleistung zu unterstützen (Roelle et al. 2023) und die Anwendung fachlicher Vorstellungen in einem wissenschaftlichen Kontext einzuüben, sollte abschließend ein Gedankenmodell durchgeführt werden (Kapitel 7.4.3).

Weitere Hinweise zur Aktivität und Variationen dieser finden sich im Materialbuch „Evolution in der Grundschule“ (Graf & Schmidt-Salomon 2017).

b) Simulation: Aufbau, Regelwerk, Material

Die Simulation „Kugelhausschnecke“ startet im Freien auf einem ca. 10m x 5m mit Stöcken abgesteckten Rasenfeld (Simulationsfeld). Die Hälfte der Lernenden simuliert Wissenschaftler. Diese haben Kugelhausschnecken, dargestellt durch Tonmurmeln, in acht Farbvarianten gezüchtet (Graf & Schmidt-Salomon 2017). Jeder Wissenschaftler verteilt zu Beginn der Simulation genau eine Tonmurmel jeder Farbvariante zufällig auf dem Simulationsfeld. Das würde bei einer Schulklasse von 20 Personen bedeuten, dass 10 Wissenschaftler genau 10 Tonmurmeln je Farbe auf dem Rasen verteilen, sodass sich insgesamt 80 Murmeln auf dem Simulationsfeld befinden. Nun soll die andere Hälfte der Lernenden, welche Vögel simulieren, genau vier Tonmurmeln so schnell wie möglich einsammeln. Im genannten Beispiel würde das bedeuten, dass 10 Schülerinnen und Schüler

insgesamt 40 Tonmurmeln einsammeln. Die aufgegriffenen Murmeln (Kugelhausschnecken) werden nach Farbvarianten hin sortiert und es wird berechnet wie viele sich jeweils noch auf dem Simulationsfeld befinden. Die berechnete Zahl wird daraufhin im mitgeführten Protokoll (Größe DIN A2) eingetragen (Tab. 52). Da die insgesamt ausgebrachte Anzahl der Kugelhausschnecken klar ist, lässt sich durch die Anzahl der eingesammelten Schnecken leicht auf die verbleibenden im Feld zurückrechnen (Graf & Schmidt-Salomon 2017). Anschließend bekommen alle auf der Wiese verbleibenden Kugelhausschnecken einen identischen Nachkommen (Tab. 52). Diese Nachkommen werden wieder von den Wissenschaftlern zufällig auf dem Simulationsfeld verteilt, woraufhin nochmals genau vier Kugelhausschnecken so schnell wie möglich von den Lernenden, welche Vögel simulieren, aufgegriffen werden sollen. Das Vorgehen wird dabei insgesamt für fünf Simulationsrunden wiederholt. Wie die Autoren beschreiben, sollte die Verteilung der Farbvarianten dann bereits eindeutige Unterschiede zur anfänglichen Population aufweisen (Graf & Schmidt-Salomon 2017).

Die Lehrkraft führt die Schülerinnen und Schüler mit einer kurzen Geschichte in die Simulation ein. Hierbei wird erklärt, dass es Wissenschaftlern im Labor gelungen ist, acht verschiedene Farben der sogenannten „Kugelhausschnecke“ zu züchten (Graf & Schmidt-Salomon 2017). Mit der Simulation wollen die Wissenschaftler testen, welche Überlebenschancen die verschiedenfarbigen Kugelhausschnecken im natürlichen Umfeld haben. Den Lernenden, welche Vögel simulieren, wird erzählt, dass sie gerade dösen und deshalb nicht zum Simulationsfeld sehen (Graf & Schmidt-Salomon 2017). Auf ein Startsignal hin erwachen die Vögel, haben großen Hunger und dürfen ihre Beute wie beschrieben aufgreifen (Graf & Schmidt-Salomon 2017). Anschließend sind die Vögel satt und dürfen wieder dösen. Nach einigen Simulationsrunden können die Rollen getauscht werden, sodass die Lernenden die verschiedenen Perspektiven der Simulation einnehmen.

Für die Durchführung der Unterrichtsdoppelstunde werden folgende Materialien benötigt:

- Frauenbilder (Abb. 31)
- Unterrichtsprotokoll (Anhang A: Kugelhausschnecke_Protokoll)
- jeweils ca. 100 Tonmurmeln in acht verschiedenen Farben z. B. schwarz, braun, hellgrün, dunkelgrün, rot, hellblau, gelb, orange (Graf & Schmidt-Salomon 2017, S.69)
- Protokollbogen in Größe A2 (Tab. 52)

- Filzstift
- Stöcke für die Abgrenzung des Simulationsfeldes (Graf & Schmidt-Salomon 2017)

Tabelle 52: Beispielhafter Protokollbogen erstellt nach Graf & Schmidt-Salomon (2017).

	●	●	●	●	●	●	●	●
Startpopulation	10	10	10	10	10	10	10	10
Sammelrunde 1	6	1	9	3	9	9	1	2
Rest	4	9	1	7	1	1	9	8
Tochtergeneration 1	8	18	2	14	2	2	18	16
Sammelrunde 2	6	4	1	10	2	1	5	11
Rest	2	14	1	4	0	1	13	5
Tochtergeneration 2	4	28	2	8	-	2	26	10
Sammelrunde 3	1	10	2	5		2	12	8
Rest	3	18	0	3		0	14	2
Tochtergeneration 3	6	36	-	6		-	28	4
Sammelrunde 4	4	16		4			14	2
Rest	2	20		2			14	2
Tochtergeneration 4	4	40		4			28	4
Sammelrunde 5	2	17		2			16	3
Rest	2	23		2			12	1
Tochtergeneration 5	4	46		4			24	2

Weitere Hinweise zum Aufbau und Ablauf der Simulation finden sich in abgewandelter Form bei Graf & Schmidt-Salomon (2017, S. 69-72).

c) Durchführung der Unterrichtsdoppelstunde

Zur Einführung in die Unterrichtsdoppelstunde sollen die Lernenden Bilder an der Tafel vergleichen. Diese zeigen Frauen mit unterschiedlichen Merkmalen (Abb. 31).



Abbildung 31: Frauen (KI Midjourney, eigene Bearbeitung).

Die Lernenden sollen in Einzelarbeit Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Frauen notieren und diese anschließend mit ihrem Sitznachbarn austauschen. Im Plenum werden die Antworten gesammelt und über die gleiche Artzugehörigkeit der gezeigten Frauen gesprochen. Dabei sollen die Schülerinnen und Schüler das Phänomen beobachten, dass Individuen einer Art unterschiedliche Merkmale aufweisen können.

Zur Überleitung der Thematik wird die innerartliche Varianz genutzt und ein weiteres Beispiel dafür vorgestellt. Den Lernenden soll hierbei verdeutlicht werden, dass nicht nur jeder Mensch individuelle Merkmale aufweist. Im folgenden Unterrichtsschritt werden den Schülerinnen und Schülern die acht verschiedenen Farbvarianten der „Kugelhausschnecken“ in Form von Tonmurmeln vorgestellt. Die im Zentrum der Unterrichtsdoppelstunde stehende Population der „Kugelhausschnecken“ weist deutliche Unterschiede in der farblichen Ausprägung auf, sodass die Lernenden wiederholt mit den individuellen Varianten einer Art konfrontiert werden. Nachdem die Lehrkraft mit der oben vorgestellten Geschichte in die Simulation eingeführt hat, soll gemeinsam die Unterrichtsfrage „Welche Auswirkungen haben die Farbvarianten der Kugelhausschnecken auf ihr Überleben?“ formuliert werden. Bevor die Simulation zur Klärung dieser Frage durchgeführt wird, sollen die Lernenden die Unterrichtsfrage auf dem Unterrichtsprotokoll (Anhang A: 1.Kugelhausschnecke_Protokoll) notieren. Anschließend sollen sie in Einzelarbeit Vermutungen zu den Überlebenschancen der Kugelhausschnecken notieren, um die eigene Vorstellung in Worte zu fassen. Diese werden mit dem Sitznachbarn ausgetauscht und begründet.

Im Folgenden wird gemeinsam im Plenum eine Hypothese zur Untersuchung, abgeleitet von der Unterrichtsfrage, aufgestellt. Diese soll im weiteren Unterrichtsverlauf untersucht werden. Anschließend wird die Simulation im Freien auf einer abgesteckten Wiese durchgeführt. Die Durchführung im Freien sorgt dabei für einen authentischen Kontext der Simulation. Die Generationenabfolgen werden durch die Simulationsleiterin gut sichtbar auf einem großen Protokollbogen notiert (bspw. Tab. 52). Die Lernenden werden somit nach jeder Generation mit der Entwicklung der Kugelhausschneckenpopulation konfrontiert. Durch gezielte Nachfragen zum Prozess des Beutegreifens sollen die Kinder nach Beendigung der Aktivität die gerichtete Selektion durch Räuber selbst erkennen. Zudem sollen Fragen zur Reflexion der Generationenabfolgen wie „Können sich die Nachkommen der Kugelhausschnecken ihre Farbe selber aussuchen?“ beantwortet werden. Folgend soll jeder Schüler und jede Schülerin die eigenständig formulierte Vermutung zum Simulationsablauf selbstständig auf dem Unterrichtsprotokoll auswerten. Im weiteren

Unterrichtsgeschehen sollen die überprüften Vermutungen im Plenum vorgestellt und die gemeinsam formulierte Hypothese an der Tafel ausgewertet werden. Zudem wird die Unterrichtsfrage diskutiert. Anschließend findet eine Modellkritik statt, indem wesentliche Unterschiede der Simulation zur Realität besprochen werden. Dabei soll erneut die individuelle Varianz thematisiert und darauf aufmerksam gemacht werden, dass in der Simulation lediglich ein individuelles Merkmal (Farbe) dargestellt wurde. Wichtig ist außerdem an dieser Stelle die identische Verdopplung der Nachkommen in der Simulation zu besprechen. Die Schülerinnen und Schüler sollen hierbei wiederholt Bezug zum Menschen nehmen und sich selbst mit ihren Eltern vergleichen, um zu erkennen, dass die Nachkommen einer Generation individuelle Merkmale aufweisen. Des Weiteren sollte der zeitliche Aspekt beim Ablauf der Generationenabfolgen reflektiert werden. Zudem können beispielsweise weitere Umweltgegebenheiten besprochen werden, welche Einfluss auf das Überleben der Kugelhausschnecken haben könnten. Je nach Lerngruppe können weitere Unterschiede zur Realität thematisiert werden.

Zum Abschluss der Unterrichtsdoppelstunde soll das Erlernete erneut in einem Gedankenmodell abgerufen werden. Dazu soll in Kleingruppen darüber diskutiert werden, wie sich die Population der Kugelhausschnecken im Wald entwickeln könnte. Die Antworten werden im Plenum gesammelt und ausgewertet.

d) Übersicht der Unterrichtsdoppelstunde

Zur Übersicht werden folgend die unterrichtlichen Phasen mit Zeitvorschlägen und kurzen inhaltlichen Schwerpunkten tabellarisch dargestellt (Tab. 53). Ein ausführlicher didaktisch-methodischer Kommentar sowie eine Materialliste befinden sich jeweils unter Punkt a) bzw. b) in diesem Unterkapitel.

Tabelle 53: Übersicht über Phasen, Zeit und inhaltliche Schwerpunkte zur Unterrichtsdoppelstunde „Kugelhausschnecke“.

Phase	Zeit	Inhaltliche Schwerpunkte
Begrüßung und Vorstellung	2 min	Klasse ansprechen, Stundenablauf vorstellen
Thematischer Einstieg zur individuellen Varianz	10 min	Unterschiedliche Merkmale der Kinder besprechen, Eigene Vorstellung aktivieren zu innerartlicher Varianz,
	5 min	Farbvarianten der Kugelhausschnecke vorstellen und Diskussion über individuelle Unterschiede einer Population

Einführung in die Simulation „Kugelhausschnecke“	5 min	Einführungsgeschichte erzählen, Simulationsablauf und Regeln erklären
Unterrichtsfrage	5 min	Stundenfrage formulieren: Welche Auswirkungen haben die Farbvarianten der Kugelhausschnecken auf ihr Überleben?
Vermutungen aufstellen	10 min	Vermutungen zum Simulationsergebnis aufstellen, Gemeinsame Hypothese zur Untersuchung festlegen
Ortswechsel	5 min	Simulationsaufbau im Freien, Zwei Gruppen einteilen (Wissenschaftler, Vögel)
Simulationsdurchführung	20 min	Wiederholte Thematisierung der variablen Farben einer Population, Evtl. Rollenwechsel nach mehreren Generationsrunden
Ergebnisauswertung	5 min	Reflexion und Besprechung der Ergebnisse im Plenum
Vermutungen auswerten, Beantwortung der Stundenfrage	10 min	Auswertung der aufgestellten Hypothesen in Einzelarbeit, Beantwortung der Stundenfrage
Modellkritik	5 min	Vergleich Modell-Realität, Grenzen aufzeigen
Transfer	8 min	Gedankenmodell: „Wie könnte sich die Population im Wald entwickeln?“

7.7.2 Simulation „Nahrungstransport der Kernbeißer“

a) Ergänzende didaktisch-methodische Hinweise

Mit dieser Unterrichtsdoppelstunde sollen die Erkenntnisse aus der vorangegangenen Stunde der Unterrichtssequenz wiederholt und vertieft werden (Petermann & Petermann 2018). So soll den gefundenen Alltagsvorstellungen (Kapitel 7) erneut begegnet und, nachdem mit der Simulation „Kugelhausschnecke“ ein Rahmen zum Verständnisaufbau (Gropengießer & Kattmann 2023) gegeben wurde, die wissenschaftlichen Vorstellungen in geändertem Kontext angewendet werden. Konkret sollen die Lernenden, wie in Kapitel 7.4.3 beschrieben, die erfahrenen wissenschaftlichen Konzepte zur individuellen Varianz innerhalb einer Population und den Auswirkungen dieser auf den Fortpflanzungserfolg in einem neuen Szenario mit bekannter Tierart anwenden (Brennecke 2015). Abrufübungen dieser Art können zur Stärkung des neuen Wissens führen, indem sie die Zugänglichkeit der neuen Informationen erhöhen (Roelle et al. 2023). Zur Unterstützung der eigenen

Vorstellungsentwicklung seitens der Lernenden (Kapitel 7.2.3) sowie des Austauschs untereinander, wird hier die bereits bekannte Methode „think-pair-share“ eingesetzt. Vor allem durch das Begründen der eigenen Vorstellungen im heterogenen Gruppenaustausch, kann eine „Ko-Konstruktion“ (Asshoff 2020) gefördert und so eine Formung der eigenen Vorstellung erreicht werden.

Um die Angepasstheit einer Population zu verstehen, müssen komplexe Ursachen-Wirkungszusammenhänge erkannt werden (Kapitel 3.6). Entscheidend ist dabei die Erkenntnis der zufälligen Variation innerhalb einer Population, wobei Lernende vielfältige Alltagsvorstellungen zeigen (Kapitel 7, Abb. 26, Abb. 27, Abb. 28, Einzelfallanalysen). Aus diesem Grund soll der Simulationsschritt „zufällige Variation ziehen“ in der Unterrichtssequenz neu eingeführt werden. Nachdem im Sinne der Didaktischen Rekonstruktion (Kapitel 3.3) mit der ersten Simulation des Arrangements („Kugelhausschnecke“) die grundlegenden Voraussetzungen für das Verstehen (Gropengießer & Kattmann 2023) evolutionärer Angepasstheit geschaffen wurden, indem die Schülerinnen und Schüler die Auswirkungen individueller Varianz erfahren haben, sollen sie in dieser Unterrichtsdoppelstunde ihr Wissen um die zufällige Entstehung dieser Varianzen erweitern. Des Weiteren soll neben abiotischen Faktoren wie der Zugänglichkeit zu Nahrung auch ein weiterer wichtiger biotischer Selektionsfaktor, die Konkurrenz um Ressourcen (Kattmann 2022), dargestellt werden, indem die Population und somit ebenfalls die Konkurrenz um Nahrung zunimmt (Tab. 54).

Durch einen Ablaufplan (Abb. 33) sollen den Lernenden die einzelnen Schritte der Simulation während der Durchführung veranschaulicht und Verständnisschwierigkeiten vorgebeugt werden (Kapitel 7.2.3).

b) Optimierungen zum Simulationsaufbau

Um das Lernen bestmöglich zu gestalten, startet die Simulation (im Gegensatz zur ersten Version) mit jeweils zwei Kindern je Schnabelvariante „spitz“ und „flach“ (Abb. 32). Im weiteren Simulationsverlauf können die Varianten „rund“ und „spitz-rund“ zufällig entstehen. Somit soll den Schülerinnen und Schülern verdeutlicht werden, dass je nach gegebener Umwelt zufällig entstandene Variationen eine höhere Fitness als bisher vorkommende Varianten haben können. Fehlvorstellungen, die eine Art als „Typus“ beschreiben (Kapitel 3.6, S1, S2, S5, S8), soll somit aufgezeigt werden, dass sich Populationen nicht gleichmäßig ändern. Zudem stellt die Simulation heraus, dass

evolutionäre Entwicklung nicht auf einen Endzustand oder ein Ziel hinausläuft und kann so finalistischen oder teleologischen Alltagsvorstellungen (Kapitel 3.6) entgegenwirken, die bei einem Großteil der Lernenden vorhanden sind (Abb. 26- 28, S1-10, S12-14).

Zur besseren Orientierung der Lernenden während der Simulationsrunden soll ein Ablaufplan (Abb. 33) dienen. Dieser soll jederzeit sichtbar im Raum aufgehängt werden, um die Schritte der Simulation vereinfacht darzustellen (Kapitel 7.2.3). Des Weiteren kann dieser Ablaufplan während der späteren Reflexion genutzt werden, um über die einzelnen Aspekte zu diskutieren und das Verständnis der Lernenden dafür zu überprüfen.

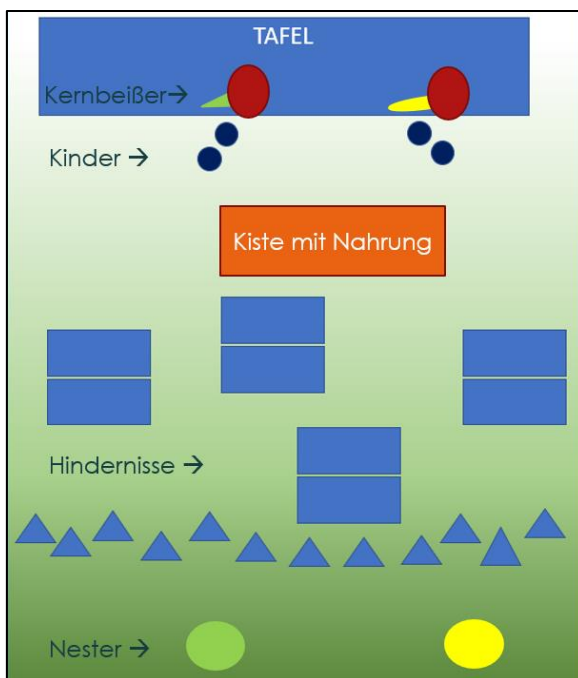


Abbildung 32: Aufbau der Simulation im Klassenraum.

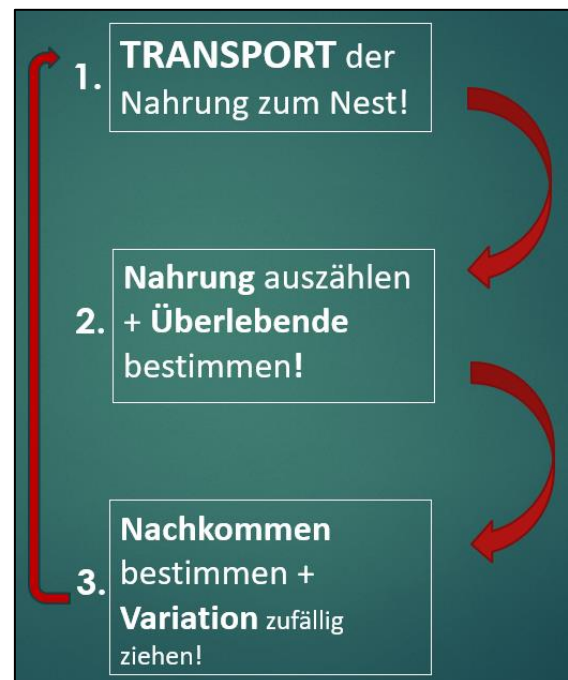


Abbildung 33: Simulationsablauf.

Für die Durchführung der Simulation wird der Simulationsablaufplan (Abb. 33) auf der Materialliste ergänzt.

c) Optimierte Durchführung der Unterrichtsdoppelstunde

Mit der PowerPoint-Präsentation „Kernbeißer“ (Anhang A: 2.Kernbeißer_neu) werden die Lernenden in die zweite Unterrichtsdoppelstunde des Arrangements eingeführt. Dabei werden zunächst die zentralen Erkenntnisse der vorangegangenen Unterrichtsdoppelstunde wiederholt, indem das unterrichtsbegleitende Protokoll zur Simulation „Kugelhausschnecke“ (Kapitel 7.7.1) präsentiert wird. Die Schülerinnen und Schüler sollen reflektieren, wie sich die Anpasstheit der Kugelhausschnecken-Population an ihren

Lebensraum entwickelt hat, um ihre Vorstellungen zu aktivieren und in den Unterricht einzubinden (Kapitel 3.3).

Anschließend wird der Fokus auf die Fressfeinde der Kugelhausschnecken gelenkt, die Vögel. Dabei werden die Schülerinnen und Schüler gefragt, welche heimischen Vogelarten ihnen bekannt sind. Die Antworten werden im Plenum gesammelt. Folgend werden unterschiedliche Bilder des Kernbeißers präsentiert und im Plenum nach der Artzugehörigkeit der Individuen gefragt.

<p>Name: _____ Klasse: _____</p> <p>Nahrungstransport der Kernbeißer</p> <p>1. Notiere die Unterrichtsfrage:</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>2. Notiere Vermutungen zum Spielverlauf (Hypothesen):</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>3. Kreuze deine Erkenntnisse aus den Spielrunden an:</p> <p>Warum sehen die Kernbeißer so unterschiedlich aus?</p> <p><input type="checkbox"/> Sie sehen so unterschiedlich aus, weil sie verschiedenen Arten angehören.</p> <p><input type="checkbox"/> Die unterschiedlichen Merkmale sind bei der Fortpflanzung zufällig entstanden.</p> <p><input type="checkbox"/> Die Kernbeißer passten ihre Schnabelform an, damit mehr Nachkommen überleben.</p> <p>Warum haben einige Kernbeißer nicht überlebt?</p> <p><input type="checkbox"/> Die Natur hat einige Kernbeißer nicht an ihre Umwelt angepasst, sodass diese nicht überlebt haben.</p> <p><input type="checkbox"/> Einige Kernbeißer haben nicht überlebt, weil sie sich nicht anpassen wollten.</p> <p><input type="checkbox"/> Einige Kernbeißer konnten mit ihrer Schnabelform nicht genug Nahrung zum Nest transportieren und somit ihren Nachwuchs nicht ernähren.</p>	<p>Name: _____ Klasse: _____</p> <p>Nahrungstransport der Kernbeißer</p> <p>4. Fülle das Simulationsprotokoll aus:</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;"></th> <th style="width: 15%;">Schnabel „spitz“</th> <th style="width: 15%;">Schnabel „flach“</th> <th style="width: 15%;">Schnabel „rund“</th> <th style="width: 15%;">Schnabel „spitz-rund“</th> <th style="width: 10%;"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Generation 1</td> <td>2</td> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Überlebende:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>x 2</td> </tr> <tr> <td>Generation 2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Überlebende:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>x 2</td> </tr> <tr> <td>Generation 3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Überlebende:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>x 2</td> </tr> <tr> <td>Generation 4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Überlebende:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>x 2</td> </tr> <tr> <td>Generation 5</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Überlebende:</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>x 2</td> </tr> </tbody> </table> <p>5. Überprüfe deine Vermutungen! Welche lassen sich bestätigen, welche widerlegen?</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>6. Beantworte die Unterrichtsfrage!</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>		Schnabel „spitz“	Schnabel „flach“	Schnabel „rund“	Schnabel „spitz-rund“		Generation 1	2	2				Überlebende:					x 2	Generation 2						Überlebende:					x 2	Generation 3						Überlebende:					x 2	Generation 4						Überlebende:					x 2	Generation 5						Überlebende:					x 2
	Schnabel „spitz“	Schnabel „flach“	Schnabel „rund“	Schnabel „spitz-rund“																																																															
Generation 1	2	2																																																																	
Überlebende:					x 2																																																														
Generation 2																																																																			
Überlebende:					x 2																																																														
Generation 3																																																																			
Überlebende:					x 2																																																														
Generation 4																																																																			
Überlebende:					x 2																																																														
Generation 5																																																																			
Überlebende:					x 2																																																														

Abbildung 34: Optimiertes Unterrichtsprotokoll zur Simulation „Nahrungstransport der Kernbeißer“.

Um den Lebensweltbezug für die Lernenden zu erhöhen, wird diese heimische Vogelart in den Fokus der Unterrichtsstunde gestellt.

Das Ziel der Einführung ist hierbei das bewusste Wahrnehmen der eigenen Vorstellungen zum Artverständnis. Außerdem sollen die Schülerinnen und Schüler zunächst selbstständig über die Entstehung des großen und kräftigen Schnabels der Kernbeißer vermuten, bevor sie ihre Überlegungen mit dem Sitznachbarn und darauffolgend im Plenum diskutieren (Bruckermann & Schlüter 2017). Anschließend wird die unterrichtsleitende Frage im optimierten Unterrichtsprotokoll (Abb. 34) notiert.

Zusätzlich zu den Materialien und Regeln der Simulation (Kapitel 5.1.1) soll der optimierte Aufbau (Abb. 32) und ein neu eingeführter Ablaufplan (Abb. 33) besprochen werden. Die optimierte Simulation startet mit jeweils zwei Kindern als Kernbeißer der Schnabelvarianten „spitz“ und „flach“ (Abb. 32). Wie im beispielhaft dargestellten Protokoll (Tab. 54) kann somit veranschaulicht werden, dass eine gegebene Merkmalsvariante (hier: „flach“) in der Population verschwinden und nach mehreren Generationen erneut auftreten kann.

Tabelle 54: Beispielhaft protokollierter Ablauf zur optimierten Simulationdurchführung „Nahrungstransport der Kernbeißer“. Je zwei Lernende starten in Generation 1 mit der Schnabelform „spitz“ und der Schnabelform „flach“. Ein „+“ vor der Zahl zeigt die zufällig gezogene Variation an.

	Schnabel „spitz“	Schnabel „rund“	Schnabel „spitz-rund“	Schnabel „flach“	
Generation 1	2			2	
Überlebende:	2			1	x 2 ↻
Generation 2		(zufällige Variante) +2		2	
Überlebende:	3	2		0	x 2 ↻
Generation 3					
Überlebende:	6	4 +1	+1		x 2 ↻
Generation 4					
Überlebende:	3	4	1		x 2 ↻
Generation 5					
Überlebende:	6 +1	8	2	+2	x 2 ↻
Generation 5					
Überlebende:	2	7	2	0	x 2 ↻
Generation 5					
Überlebende:	4	14+1	4	+2	
Überlebende:	1	7	4	0	

Außerdem kann dargestellt werden, dass sich zufällig entstandene Varianten (hier: „rund“ und „spitz-rund“) vorteilig auf den Fortpflanzungserfolg auswirken können (Tab. 54).

Die aufgezeigten Optimierungen der Simulation „Nahrungstransport der Kernbeißer“ sind durch die Ergebnisse der begleitenden Studie begründet (Kapitel 7.2.3, Kapitel 7.3.3, Kapitel 7.4.3) und können sich förderlich auf das Lernen der Schülerinnen und Schüler auswirken.

7.7.3 Simulation „Entwicklung der Alpenruspen“

a) Ergänzende didaktisch-methodische Hinweise

Da die Schülerinnen und Schüler im Erprobungsdurchgang I nur einen geringen Lernzuwachs in den botanischen Szenarien zeigten (Abb. 26, S1, S5) und Alltagsvorstellungen auch nach der Durchführung der Sequenz äußerten (Abb. 26, S1, S2,

S5), wurde die Simulation „Entwicklung der Alpenruspen“ vor den folgenden Erprobungen modifiziert, um das Verständnis für ablaufende evolutionsbiologische Prozesse zu fördern (Kapitel 7.2.3).

Das Simulationsfeld soll geteilt werden (Abb. 35, 37), sodass zunächst nur die Trockenseite des Gebirges zu sehen ist und die Entwicklung der Teilpopulation der Alpenruspen auf dieser Gebirgsseite simuliert werden kann. Wurden die Ergebnisse auf dieser Seite reflektiert, soll das Simulationsfeld umgedreht und die Entwicklung der Teilpopulation auf der Wetterseite des Gebirges simuliert werden. Damit soll die Komplexität in der Durchführung verringert und zugleich das Verständnis der Simulation gefördert werden. Zudem sollen alle Ereignisfelder, die für die jeweilige Gebirgsseite relevant sind, direkt mit auf das Simulationsfeld aufgedruckt sein (Abb. 35, 37), um die Materialfülle zu reduzieren (Kapitel 7.2.3). Wie aus der Expertenbefragung hervorgeht (Kapitel 5.1.2, Abschnitt e), sollten die jeweiligen Ereignisse symbolisch unterstützt werden und einfache, eindeutige Formulierungen enthalten (Abb. 36, 38).

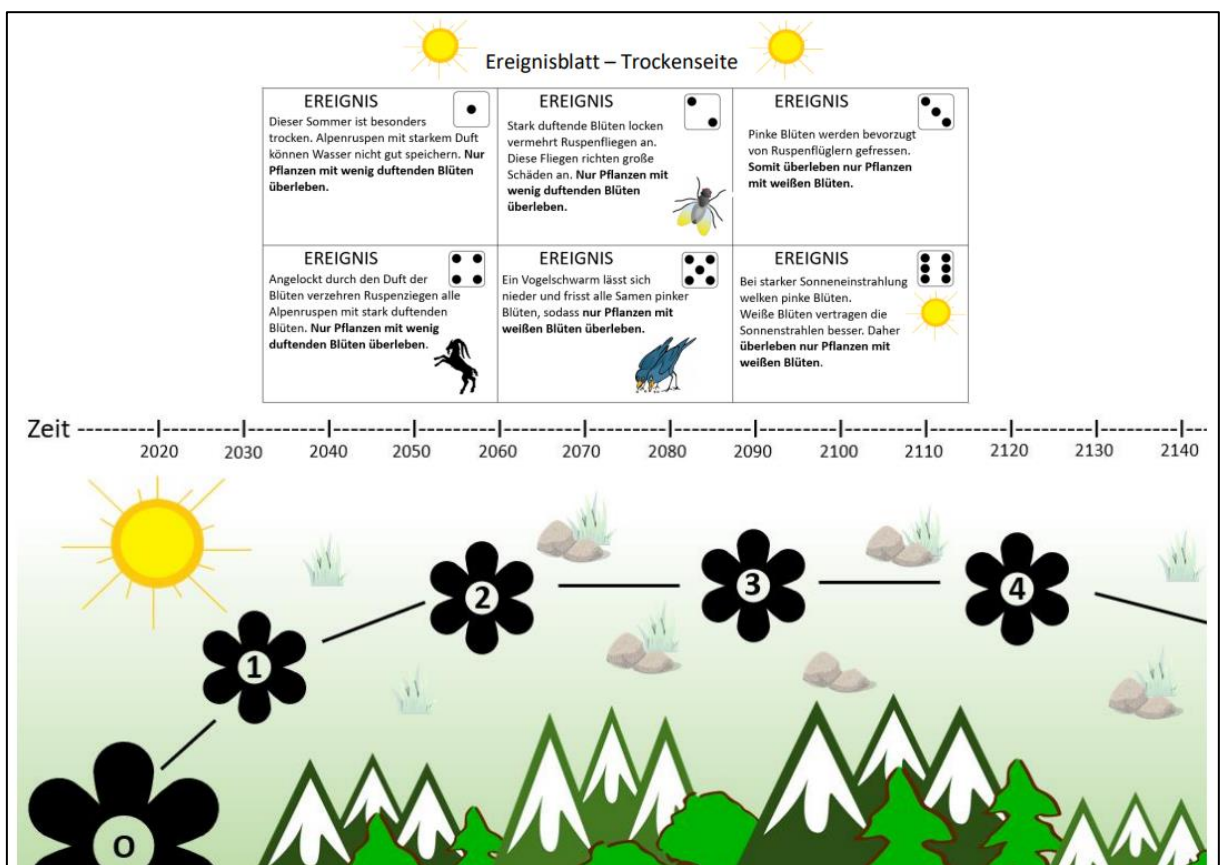


Abbildung 35: Optimiertes Simulationsfeld „Entwicklung der Alpenruspen“ auf der Trockenseite.











Ereignisblatt – Trockenseite		
<p>EREIGNIS </p> <p>Dieser Sommer ist besonders trocken. Alpenruspen mit starkem Duft können Wasser nicht gut speichern. Nur Pflanzen mit wenig duftenden Blüten überleben.</p>	<p>EREIGNIS </p> <p>Stark duftende Blüten locken vermehrt Ruspenfliegen an. Diese Fliegen richten große Schäden an. Nur Pflanzen mit wenig duftenden Blüten überleben.</p> 	<p>EREIGNIS </p> <p>Pinke Blüten werden bevorzugt von Ruspenflüglern gefressen. Somit überleben nur Pflanzen mit weißen Blüten.</p>
<p>EREIGNIS </p> <p>Angelockt durch den Duft der Blüten verzehren Ruspenziegen alle Alpenruspen mit stark duftenden Blüten. Nur Pflanzen mit wenig duftenden Blüten überleben.</p> 	<p>EREIGNIS </p> <p>Ein Vogelschwarm lässt sich nieder und frisst alle Samen pinker Blüten, sodass nur Pflanzen mit weißen Blüten überleben.</p> 	<p>EREIGNIS </p> <p>Bei starker Sonneneinstrahlung welken pinke Blüten. Weiße Blüten vertragen die Sonnenstrahlen besser. Daher überleben nur Pflanzen mit weißen Blüten.</p> 

Abbildung 36: Ausschnitt der Ereigniskarten der Trockenseite.













Ereignisblatt - Wetterseite		
<p>EREIGNIS </p> <p>Ein Vogelschwarm lässt sich nieder und frisst alle Samen der weiß-blütigen Pflanzen. Nur Pflanzen mit pinken Blüten überleben.</p> 	<p>EREIGNIS </p> <p>Die Wetterfliege richtet große Schäden an weißen Blüten an. Nur Pflanzen mit pinken Blüten überleben.</p> 	<p>EREIGNIS </p> <p>Durch starken Wind können nur noch Rothummeln fliegen. Diese bestäuben nur stark duftende Blüten. Dadurch überleben nur Pflanzen mit stark duftenden Blüten.</p> 
<p>EREIGNIS </p> <p>Der Alpen-Rüsselkäfer hat sich ausgebreitet und richtet an Pflanzen mit weißen Blüten große Schäden an. Nur Pflanzen mit pinken Blüten überleben.</p> 	<p>EREIGNIS </p> <p>Es hat geschneit. Kleine Pflanzen können unter dem Schnee überleben. Da Alpenruspen mit stark duftenden Blüten besonders klein sind, überleben nur Pflanzen mit stark duftenden Blüten.</p> 	<p>EREIGNIS </p> <p>Bei rauer Witterung werden Ruspenfalter aktiv. Sie werden durch starken Duft angelockt. Daher überleben nur alle Pflanzen mit starkem Duft.</p> 

Abbildung 37: Optimiertes Simulationsfeld „Entwicklung der Alpenruspen“ auf der Wetterseite.







Ereignisblatt - Wetterseite		
<p>EREIGNIS</p> <p>Ein Vogelschwarm lässt sich nieder und frisst alle Samen der weiß-blütigen Pflanzen. Nur Pflanzen mit pinken Blüten überleben.</p> 	<p>EREIGNIS</p> <p>Die Wetterfliege richtet große Schäden an weißen Blüten an. Nur Pflanzen mit pinken Blüten überleben.</p> 	<p>EREIGNIS</p> <p>Durch starken Wind können nur noch Rothummeln fliegen. Diese bestäuben nur stark duftende Blüten. Dadurch überleben nur Pflanzen mit stark duftenden Blüten.</p> 
<p>EREIGNIS</p> <p>Der Alpen-Rüsselkäfer hat sich ausgebreitet und richtet an Pflanzen mit weißen Blüten große Schäden an. Nur Pflanzen mit pinken Blüten überleben.</p> 	<p>EREIGNIS</p> <p>Es hat geschneit. Kleine Pflanzen können unter dem Schnee überleben. Da Alpenruspen mit stark duftenden Blüten besonders klein sind, überleben nur Pflanzen mit stark duftenden Blüten.</p> 	<p>EREIGNIS</p> <p>Bei rauer Witterung werden Ruspenfalter aktiv. Sie werden durch starken Duft angelockt. Daher überleben nur alle Pflanzen mit starkem Duft.</p> 

Abbildung 38: Ausschnitt der Ereigniskarten der Wetterseite.

Die Begrenzung auf nur noch vier (anstatt fünf) Generationen zur Simulation der Entwicklung der Alpenruspen soll das Simulationsfeld übersichtlicher halten, da die Anzahl der Individuen der Teilpopulationen am Ende der Simulation dann geringer ist. Zudem soll die Drehscheibe zum Ausloten einer zufälligen Variation der Nachkommen, aus bekannten Gründen (Kapitel 7.2.3), durch ein Mutationssäckchen (Abb. 40) ersetzt werden. Hieraus soll eine Variation verdeckt gezogen werden. Dieses Simulationsmaterial kennen die Lernenden bereits aus der vorangegangenen Simulation (Kapitel 5.1.1 bzw. Kapitel 7.7.2), was Verständnisschwierigkeiten durch weiteres Material vorbeugen soll (Kapitel 7.2.3).

Ein gemeinsamer Testdurchlauf der Simulation (Kapitel 7.4.3) an der Tafel soll den Schülerinnen und Schülern zur besseren Orientierung dienen. Dabei sollen die Lernenden das optimierte Ablaufschema (Abb. 39) der Simulation kennenlernen und sich mit den einzelnen Schritten zur Durchführung vertraut machen. Außerdem sollen alle Arbeitsaufträge erst formuliert werden, bevor das Material an die Lerngruppen ausgeteilt wird (Kapitel 7.2.3).

Der Aufbau der Erarbeitungsphasen orientiert sich wiederholt an der Methode „think-pair-share“, welche den Lernenden bereits aus dem vorangegangenen Unterricht bekannt ist und sich besonders zur Unterstützung des Lernprozesses eignet (Bruckermann & Schlüter 2017), indem eine Entwicklung hin zur fachlichen Vorstellung angeregt werden kann (Lin et al. 2016).

Um die Beteiligung am Unterrichtsgeschehen zu erhöhen, soll die Größe der Lernendengruppen auf vier Schülerinnen und Schüler begrenzt werden, wobei mit fester Aufgabenzuteilung gearbeitet werden soll (Kapitel 5.1.2, Abschnitt e).

b) Optimierungen zum Simulationsaufbau, Regelwerk & Material

Zu Beginn wird das große Simulationsfeld (Posterdruck Größe A1), welches bereits in der Hälfte gefaltet ist, mit der Trockenseite (Abb. 35) nach oben hin ausgeteilt. Die Simulationsleiterin gibt die Anweisung, die Entwicklung der Alpenruspen zuerst auf dieser Gebirgsseite (nach dem optimierten Ablaufschema, Abb. 39) zu simulieren und danach das Simulationsfeld umzudrehen, um die Entwicklung der Alpenruspen auf der Wetterseite (Abb. 37) zu simulieren (Kapitel 7.2.3). Außerdem wird eine Sortierbox (Abb. 40) mit den vorsortierten Blüten, einem Würfel und Mutationssäcken ausgehändigt.

Ablauf



1. Zu Beginn sind alle Blüten-Varianten genau einmal vertreten. Legt diese auf das Feld .
2. Jetzt würfelt einer und liest das gewürfelte Ereignis vom Ereignisblatt vor. .
3. Entfernt die Blüten, die nicht überleben und streicht diese auch im Protokoll durch. Die anderen Blüten schiebt ihr ein Feld weiter!
4. **Jede** übrige Blüte bekommt einen Nachkommen. Legt die neuen Blüten mit auf das nächste Feld .
5. Als letztes zieht ihr noch eine neue Blüte aus dem Säckchen.  Legt diese auf euer Feld zu den anderen Blüten.
6. Notiert nun die Anzahl der Blüten in euerm **Protokoll!**
7. Geht jetzt wieder zu Schritt 2 !

Abbildung 39: Optimiertes Ablaufschema zur Simulation „Entwicklung der Alpenruspen“.

Anschließend werden die Rollen am Gruppentisch verteilt (Kapitel 5.1.2, Abschnitt e): Ein Kind liest den Ablaufplan Schritt für Schritt vor, ein Kind würfelt die Ereignisse aus und liest diese vor, ein Kind setzt die Blüten und zieht eine Variante und ein Kind führt den Protokollbogen (Tab. 3).



Abbildung 40: Sortierbox mit Würfel, Mutationssäckchen und den vier Blütenvarianten: weiß glitzernd - duftend (oben links), weiß - ohne Duft (unten links), pink glitzernd - duftend (oben rechts), pink - ohne Duft (unten rechts).

Sind die Aufgaben verteilt, werden die Blüten der Anfangsgeneration auf das Feld mit der Blütennummer „0“ gelegt (Abb. 35) und die nachfolgenden Simulationsschritte, wie im Ablaufschema (Abb. 39) beschrieben, durchgeführt. Hat die Teilpopulation Generation vier erreicht, werden letztmalig die Nachkommen und eine Variation bestimmt und im Protokoll notiert. Anschließend wird zunächst in Einzelarbeit und danach gemeinsam am Gruppentisch reflektiert, wie sich die Teilpopulation im Vergleich zum Beginn entwickelt hat. Das fördert eine aktive Auseinandersetzung mit der eigenen Vorstellung und kann eine Entwicklung hin zur wissenschaftlichen Perspektive begünstigen (Lin et al. 2016). Dabei soll auch der Simulationsschritt „Ziehen einer Blüte aus dem Säckchen“ besprochen werden, um die Zufälligkeit der Merkmalsentstehung in den Fokus zu rücken und den aufgetretenen Alltagsvorstellungen in diesem Zusammenhang zu begegnen (Abb. 26, Abb. 27, Abb. 28, S1-15).

Nachfolgend werden die Blüten zurück in die Sortierbox (Abb. 40) eingeordnet und das Simulationsfeld umgedreht. Jetzt soll die Teilpopulation der Alpenruspen auf der Wetterseite (Abb. 37) erneut nach dem optimierten Ablaufschema (Abb. 39) simuliert werden. Dazu wird der ausgeteilte Protokollbogen der Wetterseite ausgefüllt. Auch auf

dieser Gebirgsseite wird die Simulation fortgesetzt bis Generation 4 erreicht ist. Nachdem die Blütenvarianten ausgezählt und notiert wurden, wird zunächst einzeln reflektiert und anschließend gemeinsam in der Tischgruppe besprochen, inwiefern sich die Teilpopulation in Generation 4 entwickelt hat im Vergleich zur Anfangspopulation der Alpenruspen. Im Anschluss werden die Ergebnisse der Simulation beider Gebirgsseiten miteinander verglichen und zunächst in Einzelarbeit und darauffolgend in der Gruppe reflektiert, wie sich diese Unterschiede in der Entwicklung der Teilpopulationen im Simulationsverlauf ergeben haben. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen an dieser Stelle hervorgehoben werden, um ein Verständnis für allopatrische Isolationsmechanismen zu fördern.

Für die Durchführung der Unterrichtsdoppelstunde werden folgende ergänzende Materialien benötigt:

- Optimiertes Simulationsfeld (Abb. 35 & Abb. 37) Größe A1
- Optimiertes Ablaufschema (Abb. 39)
- Optimiertes Unterrichtsprotokoll (Abb. 41)
- Sortierbox (Abb. 40) mit vier verschiedenen Blütenvarianten (weiß – ohne Duft, weiß glitzernd – duftend, pink – ohne Duft, pink glitzernd – duftend), Variationssäckchen (in welchem die Varianten jeweils genau viermal vertreten sind) und Würfel

c) Optimierte Durchführung der Unterrichtsdoppelstunde

Die Unterrichtsdoppelstunde beginnt, wie in Kapitel 5.1.2 (Abschnitt c) beschrieben, mit einer Einführung zur fiktiven Pflanzenart „Alpenruspe“ und den Standortbedingungen dieser im Gebirge. Nachdem das Phänomen vorgestellt und die Unterrichtsfrage notiert wurde, soll das Simulationsfeld für beide Gebirgsseiten präsentiert werden (Abb. 35 & Abb. 37). Mithilfe des optimierten Ablaufschemas der Simulation (Abb. 39) sollen die Schritte zur Durchführung der Simulation „Entwicklung der Alpenruspen“ geklärt werden. Um sicherzustellen, dass die Simulationsschritte in der richtigen Reihenfolge durchgeführt und die Materialien korrekt verstanden werden, sollen beispielhaft zwei Generationenabfolgen gemeinsam an einem großen Aktionsfeld an der Tafel simuliert werden (Kapitel 7.4.3). Hierzu kann ein Posterdruck der Trockenseite (Abb. 35) und des Protokolls (Tab. 3) in Größe A1 verwendet werden.

Nachdem die Simulation vorgestellt wurde, soll jede Schülerin und jeder Schüler eine Vermutung zum Simulationsergebnis anhand der Unterrichtsfrage ableiten und auf dem

Unterrichtsprotokoll (Abb. 41) notieren. Anschließend sollen die Vermutungen mit dem Sitznachbarn ausgetauscht und begründet werden, bevor die Lernenden an der Tischgruppe eine Hypothese zur Untersuchung festlegen.

Name:	Entwicklung der Alpenruspen	Klasse:
1. Notiere die Unterrichtsfrage:		
<hr/> <hr/> <hr/>		
2. Notiere Vermutungen zum Simulationsverlauf (Hypothesen):		
<hr/> <hr/> <hr/> <hr/>		
3. Kreuze deine Erkenntnisse aus den Simulationsrunden an:		
Warum haben die Alpenruspen so unterschiedliche Merkmale?		
<input type="checkbox"/> Sie haben so unterschiedliche Merkmale, weil sie verschiedenen Arten angehören.		
<input type="checkbox"/> Die Natur hat einige Alpenruspen verändert, damit sie überleben.		
<input type="checkbox"/> Die unterschiedlichen Merkmale sind bei der Fortpflanzung zufällig entstanden.		
Warum haben genau diese Alpenruspen in Generation 4 überlebt?		
<input type="checkbox"/> Weil sie zufällig an die vorherrschenden Umweltbedingungen angepasst waren und somit einen Vorteil hatten.		
<input type="checkbox"/> Weil diese Alpenruspen gemerkt haben, dass sie sich anpassen müssen, um zu überleben.		
<input type="checkbox"/> Weil die Natur sie angepasst hat, damit sie einen Vorteil haben und überleben.		
4. Überprüfe deine Hypothesen! Welche lassen sich bestätigen, welche widerlegen?		
<hr/> <hr/> <hr/> <hr/>		

Abbildung 41: Optimiertes Unterrichtsprotokoll zur Simulation „Entwicklung der Alpenruspen“.

Bevor das Simulationsmaterial an die Lerngruppen verteilt wird, soll die Anweisung zur Aufteilung der Rollen während der Simulation gegeben werden (Kapitel 7.2.3). In Vierer-Gruppen liest jeweils ein Kind den Ablaufplan Schritt für Schritt vor, eins würfelt die Ereignisse aus und liest diese laut vor, ein Kind legt die Blüten auf das Simulationsfeld und zieht eine Variation aus dem Säckchen und eins füllt das Protokoll aus. Somit hat jeder Lernende eine wichtige Aufgabe während der Simulation und muss sich mit den Geschehnissen aktiv auseinandersetzen (Kapitel 5.1.2, Abschnitt e).

Im folgenden Unterrichtsverlauf soll die optimierte Simulation „Entwicklung der Alpenruspen“ durchgeführt werden. Dabei ist das Simulationsfeld wie oben beschrieben gefaltet, sodass die Entwicklung der isolierten Teilpopulationen nacheinander simuliert wird (Kapitel 7.2.3). Nach der Durchführung der Simulation auf der Trockenseite sollen die Schülerinnen und Schüler das Ergebnis reflektieren und gemeinsam beantworten, wie sich die Verschiebung der Teilpopulation hin zu einer Anpasstheit an die gegebenen Umweltbedingungen entwickelt hat. Auch nachdem die Lernenden die Simulation auf der Wetterseite des Gebirges durchgeführt haben, sollen sie gemeinsam in der Gruppe diskutieren, wie sich durch die zufälligen Gegebenheiten eine gegenwärtige Anpasstheit entwickelt hat.

Im Anschluss sollen die Erkenntnisfragen beantwortet sowie die selbst formulierte Vermutung auf dem Unterrichtsprotokoll ausgewertet und begründet werden. Anschließend wird die Untersuchungshypothese gemeinsam in der Tischgruppe reflektiert, bevor die Ergebnisse aller Gruppen an der Tafel gesammelt werden. Im Plenum soll der Grund der unterschiedlichen Gruppenergebnisse erarbeitet und die Unvorhersehbarkeit der Entwicklung der isolierten Populationen diskutiert werden. Abschließend soll eine Modellkritik stattfinden, wie in Kapitel 5.1.2 beschrieben.

Im nachfolgenden Unterricht soll das Erlernete genutzt werden, um die Artbildung bei geografisch isolierten Teilpopulationen konkret zu thematisieren. Die Simulation „Isolation der Kernbeißer“ (Kapitel 5.1.3) kann dazu beitragen, die Merkmale einer Art zu besprechen und zu reflektieren, unter welchen Bedingungen getrennte Teilpopulationen bei anhaltender Isolation weiterhin einer gemeinsamen oder bereits einer neu gebildeten biologischen Art angehören.

8 Diskussion

Aufgrund der vielfältigen Alltagsvorstellungen von Schülerinnen und Schülern zur evolutionären Anpasstheit und Artbildung (Kapitel 3.6) und der gleichzeitig großen Bedeutung dieser für das Leben auf unserem Planeten (Kapitel 3.5), fordern Didaktiker und Bildungseinrichtungen sowohl die frühzeitige Einbeziehung der Evolution in den Lehrplan der Schulen (z. B. Giffhorn & Langlet 2006, Fenner 2013, Leopoldina 2017) als auch die Konzeption neuartiger Materialien zur Vermittlung grundlegender evolutionärer Mechanismen (z. B. Leopoldina 2017) und die Überprüfung der didaktisch rekonstruierten Unterrichtsdesigns auf deren Effektivität (Zabel 2020). Außerdem werden in den neuen Bildungsstandards der Naturwissenschaften für die Sekundarstufe I zur Umsetzung im Unterricht die Konzepte zur „Anpasstheit“ und „Artbildung“ als verbindliche Inhalte aufgeführt (KMK 2024).

Um ein wirksames Unterrichtskonzept zur Förderung wissenschaftlicher (Teil-) Vorstellungen im aufgezeigten Themenbereich zu entwickeln (Kapitel 3.4) und die Effektivität dessen zu überprüfen, wurden die Lernendenvorstellungen zum einen zur Anpasstheit und zum anderen zur Artbildung bei Schülerinnen und Schülern der sechsten und siebten Klassenstufe in verschiedenen Szenarien erhoben (Kapitel 7). Durch die folgende Zusammenführung der Ergebnisse der quantitativen Fragebogenstudie und der induktiv kategorisierten Aussagen aus den Einzelinterviews kann ein Beitrag, vor allem zur Vorstellungsforschung zur Artbildung bei jüngeren Lernenden, geleistet werden.

8.1 Diskussion der vorunterrichtlichen Vorstellungen zur Anpasstheit und Artbildung von Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I in botanischen und zoologischen Szenarien

Im Folgenden werden die verbreitetsten vorunterrichtlichen Vorstellungen der Lernenden diskutiert. Dabei soll zunächst näher auf die Vorstellungen zur Anpasstheit, und speziell zur Artbildung, eingegangen werden bevor die Antworten zur Frage nach den isolierten Teilpopulationen eingeordnet werden.

8.1.1 Vorstellungen zur Angepasstheit und Artbildung im botanischen und zoologischen Szenario – ein Vergleich

8.1.1.1 Fragebogenstudie

In allen Erprobungsdurchgängen wurden anhand des Fragenbogens, sowohl in botanischen als auch zoologischen Szenarien, überwiegend finalistische und anthropomorphe vorunterrichtliche Vorstellungen zur Angepasstheit aufgedeckt (Kapitel 7, Abb. 26-28), wobei letztere häufig ebenfalls mit einer bewusst absichtsvollen Handlung verknüpft sind (Kapitel 3.6.1). Auch in anderen Studien (z. B. Baalman et al. 2004, Fenner 2013, Brennecke 2015, Roth 2017, Beniermann 2019) wurde eine hohe Präferenz zu finalistischen Antworten zu evolutionärer Angepasstheit erfasst. Dagegen sind in dieser Erhebung lamarckistische Vorstellungen und die einer spontanen Entstehung von Merkmalen, wie z. B. auch bei Roth (2017), nur wenig vertreten, wobei kein nennenswerter Unterschied zwischen den Szenarien aufgefallen ist.

8.1.1.2 Interviewstudie

Verortung in mehreren Kategorien

Die Vorstellung zur Beschreibung des Artbildungsprozesses wurde häufig in mehrere Kategorien eingeordnet. Das ist gleichermaßen bei den Schilderungen zur Merkmalsentwicklung aufgefallen, sowohl im botanischen als auch zoologischen Kontext, und deckt sich mit den Ergebnissen vorangegangener Studien (z. B. Brennecke 2015, Roth 2017). Dies lässt vermuten, dass Vorstellungen ad hoc generiert werden und eine Unsicherheit in der Beantwortung des präsentierten Phänomens besteht (Samarapungavan & Wiers 1997, Brennecke 2015, Roth 2017). Durch das Nutzen von Verzögerungslauten während der Beschreibung der Artbildung wird das Beschriebene zusätzlich bestärkt (S1, S6). Hieran sollte der Biologieunterricht anknüpfen: Indem die eigenen Vorstellungen aktiv abgerufen und anschließend mit anderen diskutiert werden, geraten diese möglicherweise an die Grenzen ihrer Erklärungskraft, woraufhin die wissenschaftliche Vorstellung als schlüssige Erklärung des Phänomens durch geeignete Intervention (Kapitel 7.7) nach den herausgestellten didaktischen Prinzipien (Kapitel 3.1, 3.2, 3.3) anschaulich präsentiert werden kann. Außerdem sollte Unterricht zu Anpassungs- und Artbildungsprozessen aufeinander aufbauend gestaltet werden, um eine Überforderung zu vermeiden und zunächst die Vorstellung der Variation innerhalb einer Population zu festigen, da dies die Grundlage

für ein Verständnis evolutionärer Anpasstheit und Artentstehung bildet (Fiedler 2018, Beniermann & Graf 2021).

Nichtwissen und Notwendigkeit

Zur Artbildung wurden Vorstellungen in Verbindung mit einer Notwendigkeit aufgedeckt. Diese lassen sich den finalistischen Vorstellungen zuordnen (Kapitel 3.6.1). Da sie für menschliches Verhalten und im Alltag häufig plausibel sind, werden diese auch auf Vorstellungen im wissenschaftlichen Kontext übertragen (Kapitel 3.6.1). Sie zeigen sich sowohl in dieser als auch in anderen Untersuchungen (z. B. Fenner 2013, Brennecke 2015). Indem im Unterricht die Diversität thematisiert und anschließend die daraus resultierende unterschiedliche Fitness aufgezeigt wird (Kapitel 7.7), kann ein Verständnis für sich verschiebende Merkmalsausprägungen einer Population und die sich ergebende momentane Anpasstheit an die vorherrschenden Bedingungen aufgebaut werden (Brennecke 2015).

Sehr viele Äußerungen zur Anpasstheit wurden, sowohl im botanischen als auch im zoologischen Szenario, in den Kategorien Nichtwissen und Notwendigkeit codiert. Auch in der Erhebung von Roth (2017) wird die Schilderung von Unwissenheit sowie die Beschreibung einer Notwendigkeit im Bezug zur Merkmalsausprägung dokumentiert. Diese Erkenntnisse zeigen, dass noch kein gefestigtes Wissen zum befragten Themenbereich vorhanden ist. Des Weiteren lässt sich vermuten, dass Erklärungen auch an dieser Stelle spontan generiert (Samarapungavan & Wiers 1997, Brennecke 2015) und deshalb mit Bezug zu Alltagsvorstellungen geäußert werden. Bestärkt wird diese Vermutung durch die häufige Verbindung der geäußerten Vorstellungen mit bereits Bekanntem, sowohl im botanischen als auch zoologischen Szenario (Tab. 46 & 47, Brennecke 2015).

Vergleich mit Bekanntem

Außerdem wurde auch bei der Vorstellungserhebung zur Artbildung in zoologischen Kontext die Kategorie „Vergleich mit Bekanntem“ codiert. Brennecke (2015) stellt ebenfalls in ihrer Studie heraus, dass Lernende häufig Vergleiche verwenden, um ihre Vorstellung zu kommunizieren. Wie in Kapitel 3.1 dargelegt, gründen die Lernendenvorstellungen aus ihren bereits gesammelten subjektiven Erfahrungen, die dann auf neue, unbekannte Sachverhalte übertragen werden (Riemeier 2007, Graf & Hamdorf 2011, Brennecke 2015), weshalb hierbei oftmals Alltagsvorstellungen beschrieben werden (Graf & Hamdorf, 2011;

Brennecke, 2015; z. B. 1.S3, Pos. 42, 44). Welche Konsequenzen sich daraus ergeben, wird unter Punkt 8.4.4 diskutiert.

Umwelt

Des Weiteren wird die Artentstehung durch die Umwelt bei stark veränderten Lebensbedingungen isolierter Teilpopulationen beschrieben (z. B. S8). Die Vorstellung, dass unterschiedliche Umweltbedingungen (bei isolierten Populationen) zur Bildung neuer Arten führen, dokumentierten ebenfalls Beniermann (2019) und Kusmierz et al. (2021) bei älteren Probanden. Diese Vorstellungen können im Unterricht genutzt werden, um daran anzuknüpfen (Möller 2019), da bereits ein Verständnis für den Artwandel vorhanden ist. Das Divergieren von Populationen in isolierten Ortsverhältnissen schließt weitere Faktoren wie die Populationsgröße, Konkurrenz und den sich ergebenden aktuellen Selektionsdruck mit ein (Kapitel 3.6.2, Kattmann 2022, Dial et al. 2019). Anhand verschiedener Simulationsmodelle können diese Teilaspekte anschaulich dargestellt und ein Verständnis dessen gefördert werden (Kapitel 7.7.2, 7.7.3). Auch die Untersuchungen von Beardsley (2004) und Fenner (2013) bestätigen den positiven Einsatz von Simulationsmodellen zum Verständnisaufbau.

Auch zur Angepasstheit wird gehäuft die Vorstellung einer Merkmalsentstehung durch die Umwelt beschrieben. Im zoologischen Szenario ist dies die Kategorie, für die sich die meisten Lernenden entschieden (Tab. 47), wohingegen sich im botanischen Szenario nur zwei Lernende dazu äußerten. Im Unterricht kann diese Erkenntnis genutzt werden, um in botanischen Szenarien die Zufälligkeit einer Merkmalsvariation herauszustellen und die eigene Vorstellung dahingehend zu diskutieren (Brennecke 2015).

Wissenschaftliche (Teil-) Vorstellungen

Zudem wurden sowohl zur Angepasstheit, wie in den Studien von Fenner (2013), Brennecke (2015), Roth (2017) und Klös (2020), als auch zur Artbildung bereits wissenschaftliche Teilvorstellungen beschrieben (Kapitel 7.2-7.4), wobei diese häufig im Zusammenhang mit zum Teil tief verankerten Alltagsvorstellungen vorkommen (Gropengießer & Kattmann 2023). Erste wissenschaftliche Ideen können im Unterricht genutzt werden, um Anknüpfungspunkte zu identifizieren und mögliche Lernhindernisse abzugrenzen (Weitzel 2006, Möller 2019). Anschließend sollen diese nach dem Prinzip der Didaktischen Rekonstruktion (Kapitel 3.3) wechselseitig auf die wissenschaftliche Erklärung zum Prozess

der Artentstehung bezogen werden, um das Verständnis ablaufender Prozesse zu fördern. Um die neue wissenschaftliche Vorstellung abrufbar zu machen, sollte diese in verschiedenen Kontexten angewandt, überprüft und erweitert werden (Brennecke 2015, Petermann & Petermann 2018, Roelle et al. 2023). Dazu sollen, wie Kapitel 7.7 dargestellt, unterschiedlich bekannte botanische und zoologische Beispiele genutzt werden (Brennecke 2015, Roth 2017).

Hybridisierung

Schülerin 10 beschreibt die Artbildung bei Pflanzen als eine Hybridisierung (1.S10, Pos. 17). Zudem liegen in ihrer Beschreibung gleich mehrere biologische Fehlvorstellungen vor, was die Forderung nach einer frühzeitigen Einbindung evolutionärer Anpassungs- und Artbildungsprozesse in den Biologieunterricht stützt, um wissenschaftliche Erklärungen einzuführen und nutzbar zu machen (z. B. Giffhorn & Langlet 2006, Leopoldina 2017).

Im Gegensatz zu den Studien von Evans (2000), Fenner (2013) und Klös (2020), in denen die Lernenden zwar Verständnisprobleme mit dem Artkonzept zeigen, jedoch nur in geringem Ausmaß eine artfremde Kreuzung zur Artneubildung anführen, zeigt in der hiesigen Untersuchung auch Schülerin 11 die Vorstellung einer Hybridisierung zur Entstehung einer neuen Pflanzenart (1.S11, Pos. 28). Im zoologischen Szenario äußern sogar die meisten Lernenden Vorstellungen dieser Kategorie zur Artentstehung (S1, S3, S4, S6, S8, S11, S13, S15). Dabei beziehen sich zwei Lernende auf das Szenario „Bänderschnecken“ und beschreiben eine Hybridisierung verschiedener Schneckenarten (1.S6, Pos. 50 bzw. 1.S8, Pos. 62), während zwei Schülerinnen im Szenario „Kernbeißer“ die Kreuzung artfremder Vögel zur Bildung einer neuen Art schildern (1.S11, Pos. 44 bzw. 1.S15, Pos. 32). Dass der Aufgabenkontext Einfluss auf die Äußerung von Vorstellungen nimmt, zeigen auch vielfältige andere Untersuchungsergebnisse (z. B. Brennecke 2015, Roth 2017, Miller-Betzitza 2019), was in den nachfolgenden Absätzen weiter ausgeführt werden soll.

Des Weiteren konnten auch Vorstellungen einer Hybridisierung dokumentiert werden, die die Kreuzung von zwei sehr unterschiedlichen Tierarten beschrieben (S13). Um eine wissenschaftliche Vorstellung zur Artbildung einzuführen, sollte zunächst ein Grundlagenverständnis zufälliger innerartlicher Variation aufgebaut werden (Wallin 2011, Fiedler 2018, Beniermann & Graf 2021), bevor eine Angepasstheit über mehrere Generationen hinweg verstanden werden kann (Kapitel 3.6.1). Diese Erkenntnis wurde in

der vorliegenden Arbeit genutzt, um, mithilfe von drei aufeinander aufbauenden Simulationen, die handlungsorientiert in den Unterricht eingebunden sind, ein Verständnis zur Angepasstheit und allopatrischen Artbildung zu fördern (Kapitel 7.7.1, 7.7.2, 7.7.3).

8.1.2 Diskussion der erhobenen Vorstellungen zu isolierten Teilpopulationen

In der hiesigen Fragebogenstudie konnten zur Frage nach der Entwicklung isolierter Teilpopulationen (Anhang B: Fragebogen_Schule), wie in den Studien von Beniermann (2019) und Kuszmierz et al. (2021), viele Antworten, die eine unterschiedliche Entwicklung der Teilpopulationen bei sich stark unterscheidenden Lebensräumen beschreiben, aufgedeckt werden (Abb. 29). Im Unterricht sollte darauf Bezug genommen und die Unvorhersehbarkeit der Entwicklung thematisiert werden, beispielsweise durch die Simulation der Entwicklung isolierter Teilgruppen einer Art (Kapitel 7.7.3).

Werden die kategorisierten Vorstellungen der Einzelfallanalysen betrachtet (Anhang C: Einzelfallanalyse_gesamt), ergeben sich insgesamt sehr unterschiedliche Äußerungen in der interventionsbegleitenden Studie. Das zeigt sich im Vergleich der Antworten, sowohl zwischen Fragebogen und Interview, als auch zwischen botanischem und zoologischem Szenario. Es lässt sich vermuten, dass diese stark unterschiedlichen und inkonsistenten Vorstellungen teilweise aus den verschieden formulierten Fragestellungen resultieren: In der Unterrichtssequenz zur Simulation „Entwicklung der Alpenruspen“ wurde die Frage nach der Entwicklung isolierter Teilpopulationen unter zufälligen Ereignissen untersucht. Im Szenario „Venusfliegenfalle“ wurde im Interview jedoch die Frage zur Entwicklung der Teilpopulationen gestellt, wobei die Abbildung dazu gleiche Bedingungen suggerierte (Anhang B: Interviewleitfaden).

Dagegen wurde im Szenario „Bänderschnecken“ im Interview die Frage zur Entwicklung isolierter Teilpopulationen unter sichtbar verschiedenen Bedingungen gestellt (Anhang B: Interviewleitfaden). Auch Kampourakis & Zogza (2008), Nehm & Ha (2011), Brennecke (2015), Roth (2017) und Miller-Betzitza (2019) konnten zeigen, dass der Aufgabenkontext eine entscheidende Rolle bei der Formulierung der Lernendenvorstellungen spielt. Aus diesem Grund sollte in weiteren Forschungen zum Verständnisaufbau der Entwicklung isolierter Teilpopulationen auf die einheitliche Verwendung des Kontextes bei der Erhebung der Lernendenvorstellungen unbedingt geachtet werden.

Zudem kann aufgrund der inkonsistenten Vorstellungen zu den getrennten Teilpopulationen auch an dieser Stelle auf ein noch unzureichend ausgeprägtes Wissen in diesem Bereich geschlossen werden (Samarapungavan & Wiers 1997, Brennecke 2015). Deshalb ist die Einbindung von Isolationsprozessen, die einen hauptsächlich Einfluss auf die Artbildung nehmen (Dial et al. 2019), in den Unterricht zur Evolution essentiell, um ein wissenschaftliches Verständnis von (allopatrischer) Artbildung aufzubauen.

Nachdem die analysierten Lernendenvorstellungen diskutiert wurden, sollen im Folgenden die Konsequenzen zur inhaltlichen Gestaltung, die sich aus den theoretisch erarbeiteten und empirisch überprüften Prinzipien ergeben, zusammenfassend erörtert werden.

8.2 Didaktische Konsequenzen und inhaltliche Schwerpunktsetzung des optimierten Unterrichtsdesigns zur Förderung des Lernens im Themenbereich Variation, Anpasstheit und allopatrische Artbildung

Wie aus den theoretisch erarbeiteten Prinzipien (Kapitel 3.6.1, Abb. 3) und den diskutierten Ergebnissen hervorgeht, sollte zunächst die Variation innerhalb einer Population und die Wechselwirkung mit den momentan herrschenden Lebensbedingungen korrekt verstanden werden (Kapitel 7.3.3), um eine Anpasstheit über Generationen hinweg und die Möglichkeit der Artbildung zu erkennen (Wallin 2011, Fiedler 2018, Beniermann & Graf 2021, Weitzel 2024). Aus diesem Grund wird als Konsequenz der hiesigen Studie empfohlen, wie in Kapitel 7.7.1 dargestellt, im Unterricht zunächst den Einfluss innerartlicher Varianzen auf die momentane Fitness zu untersuchen. Dies kann durch den Einsatz wirklichkeitsnaher Beispiele mithilfe einer handlungsorientierten Simulation zum Lerninhalt gelingen (Terhart 1999, Fenner 2013, Sommer & Graf 2024, Tramowsky 2024), wobei unter anderem typologischen Vorstellungen begegnet werden kann (Fenner 2013). Da Lernende, wie die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen (vgl. Kategorie „Vergleich mit Bekanntem“), neues Wissen nach konstruktivistischen Grundsätzen im Zusammenhang mit bereits gesammelten subjektiven Erfahrungen verarbeiten, müssen vorunterrichtliche Konzepte sichtbar gemacht werden (Kapitel 3.3). Um die Vorstellungsentwicklung hin zu wissenschaftlichen Vorstellungen zu fördern, empfiehlt Kattmann (2022) die Phasen des „Bewusstmachens“, „Umlernens“, „Anwendens“ und „Reflektierens“ im unterrichtlichen Kontext zu verwenden. In allen drei optimierten Unterrichtssequenzen (Kapitel 7.7.1-7.7.3), wird deshalb nach dem Prinzip der Didaktischen Rekonstruktion (Kapitel 3.3) die aktive

Auseinandersetzung mit der eigenen Vorstellung gefördert, wobei diese im Unterrichtsverlauf mehrfach auf den Unterrichtsgegenstand bezogen werden soll. Indem die Schülerinnen und Schüler Fragestellungen zunächst eigenständig bearbeiten und anschließend der kooperative Austausch mit weiteren Personen stattfindet (Bruckermann & Schlüter 2017), wobei sich die Positionen zum Themenbereich möglicherweise zum eigenen Denken unterscheiden, formt sich ihre eigene Vorstellung (Zabel & Bergmann-Gering 2023). Anhand der Ergebnisentwicklung während der drei Erprobungsdurchgänge in der hiesigen Untersuchung kann reflektiert werden, dass nach Einführung der Methode „think-pair-share“ sowie Verbesserungen des Materials und der Didaktik, die größte Zustimmung zur wissenschaftlichen Vorstellung dokumentiert wurde (Kapitel 7.2-7.4).

Zur Darstellung selektionstheoretischer Grundlagen wurden bereits vielfach Räuber-Beute-Beziehungen genutzt (z. B. Stebbins & Allen, 1975; Burton & Dobson, 2009, Schmidt et al., 2017), sodass auch in der vorliegenden Arbeit die Simulation dieser zur Förderung wissenschaftlicher Vorstellungen innerartlicher Variation und Anpasstheit empfohlen werden kann (Kapitel 7.7.1). Um vor allem typologischen Vorstellungen, wie sie bei jüngeren Lernenden häufig sind (Samarapungavan & Wiers 1997, Fenner 2013) entgegenzuwirken, weist die angepasste Population am Ende der Simulation (Kapitel 7.7.1) noch sichtbare Varianzen auf (Fenner 2013).

Zudem wird mithilfe des optimierten Unterrichtsdesigns auch die Variation der Nachkommen veranschaulicht (Kapitel 7.7.2), was zum korrekten Verständnis evolutionärer Prozesse essentiell ist (z. B. Fiedler 2018). So kann für Lernende die Wirkung der Diversität der Nachkommen auf ihre Fitness und die Anpasstheit der Population nach mehreren Generationen dargestellt werden (Kapitel 7.7.2). Dazu wird eine neu konzipierte und auf die Lernenden der Sekundarstufe I abgestimmte Simulation genutzt, die eine Räuber-Beute-Beziehung in einem weiteren Szenario mit einer heimischen Vogelart aufzeigt (Kapitel 7.7.2). Wie Brennecke (2015) beschreibt und die hiesige Untersuchung bestätigt (Kapitel 7.2-7.5), äußern Lernende bei einem bekannten Szenario häufig konkrete Vorstellungen, die als Anknüpfungspunkt für weitere unterrichtliche Maßnahmen dienen können (Möller 2019). Auch hierbei kann bestehendes Wissen durch die Rekonstruktion der eigenen Vorstellungen zum Unterrichtsgegenstand erweitert werden (Krüger 2007), indem die Schülerinnen und Schüler neue Inhalte aus einer veränderten und authentischen Perspektive betrachten und gesammelte Erfahrungen aktiv reflektieren (Schnotz 2006, Gebhard 2023). Die Wiederholung und erneute Anwendung zentraler Erkenntnisse ist dabei von

entscheidender Bedeutung für das Lernen und den Transfer des neuen Wissens (Petermann & Petermann 2018, Roelle et al. 2023).

Einen weiteren inhaltlichen Schwerpunkt des optimierten Unterrichtsdesigns stellt die adressatengerechte Vermittlung allopatrischer Artbildungsprozesse dar, da die in dieser Arbeit entwickelte optimierte Simulation (Kapitel 7.7.3) bis zu diesem Zeitpunkt die einzige evaluierte deutschsprachige analoge Simulation zur unterrichtlichen Vermittlung im unteren Sekundarbereich mit Bezug zu botanischen Szenarien darstellt. Indem der Genfluss zwischen Populationen durch geografische Isolation unterbrochen wird, während verschiedene Ereignisse auf die Teilpopulationen einwirken, kann der Prozess der allopatrischen Artbildung veranschaulicht werden (Kapitel 7.7.3). Dass es dabei nicht unbedingt notwendig ist, bereits über spezifische Kenntnisse zur Genetik zu verfügen, um Anpasstheit (Brennecke 2015, Dreesmann & Kissi 2020) und Artbildung (Graf & Schmidt-Salomon 2017, Beniermann et al. 2017, Graf 2024) zu verstehen, zeigen auch die Ergebnisse dieser Studie (Kapitel 7.4). Dabei spielt die Gruppenarbeit während der Bearbeitung der Simulation „Entwicklung der Alpenruspen“ eine zentrale Rolle: Durch den Austausch wird nicht nur die aktive Auseinandersetzung mit den eigenen Vorstellungen gefördert, die Aufgabenzuweisung und unterschiedliche Verantwortung der einzelnen Gruppenmitglieder fordert zum einen die permanente Aufmerksamkeit und sorgt zum anderen für eine „positive Abhängigkeit“ der Kinder untereinander (Schlüter 2023).

Durch das entwickelte Unterrichtsdesign werden die Schlüsselkonzepte „Merkmalsvariation“ (Kapitel 7.7.1, 7.7.2, 7.7.3), „Unterschiedliche Fitness aufgrund unterschiedlichen Zugangs zu Nahrung“ (Kapitel 7.7.2), „Übertragung von Merkmalen über Generationen hinweg“ (Kapitel 7.7.1, 7.7.2, 7.7.3), „Auswirkungen durch Umweltveränderungen“ (Kapitel 7.7.3, 5.1.3) und „Veränderungen der Merkmalshäufigkeit“ (Kapitel 7.7.1, 7.7.2, 7.7.3) nicht isoliert voneinander vermittelt, sondern zur erfolgreichen Förderung wissenschaftlicher Vorstellungen miteinander verknüpft (Ronfard et al. 2021).

8.3 Strukturelle Konsequenzen zur Förderung wissenschaftlicher Vorstellungen von Variation und Anpasstheit zum Verständnisaufbau allopatrischer Artbildungsprozesse

Um die Unterrichtsinhalte aufeinander aufbauend strukturieren zu können, wurden vorunterrichtliche Vorstellungen analysiert und damit ein fachlicher Rahmen zum Verständnisaufbau konstruiert (Gropengießer & Kattmann 2023). Neben anderen Untersuchungen (z. B. Fenner 2013, Brennecke 2015, Roth 2017, Klös 2020) konnten auch in dieser Studie typologische Vorstellungen aufgedeckt werden (S1, S2, S5, S8, S10, S12, S15). Gerade Vorstellungen von Artkonstanz behindern das Lernen evolutionsbiologischer Prozesse, und speziell der Artbildung (Beniermann 2019). Wie in den obigen Abschnitten beschrieben, sollten deshalb zunächst die Grundlagen von Variation und Anpasstheit vermittelt werden (Fiedler 2018, Weitzel 2024). Dabei zeigen Schülerinnen und Schüler auch zu diesen evolutionären Konzepten vielfältige Alltagsvorstellungen, wie frühere Erhebungen ebenfalls bestätigen (z. B. Fenner 2013, Brennecke 2015, Beniermann 2019, Kuschmierz et al. 2021).

Vor diesem Hintergrund ergibt sich aus den Erprobungen I-III als Konsequenz der ausgewerteten Lernendenvorstellungen (Kapitel 7.2.3, 7.3.3, 7.4.3) die Empfehlung zur Einführung in die Unterrichtssequenz anhand einer, einfach im Unterricht umsetzbaren, Simulation „Kugelhausschnecke“ (Kapitel 7.7.1). Aufgrund der geringen Komplexität der Simulation kann ein Rahmen zum Aufbau eines Verständnisses über die unterschiedliche Fitness der Individuen und die nach mehreren Generationen resultierende momentane Anpasstheit einer Population erarbeitet werden (vgl. Graf & Schmidt-Salomon 2017). Das Ziel ist hierbei, den Schülerinnen und Schülern eine wissenschaftliche Vorstellung zur Verfügung zu stellen, die je nach Kontext zur Erklärung eines Phänomens eingesetzt werden kann (Weitzel & Gropengießer 2009).

Aufbauend auf den Erfahrungen aus der ersten Simulation soll zur Festigung des neuen Wissens ein weiteres zoologisches Szenario in der Simulation „Nahrungstransport der Kernbeißer“ aktiv und handlungsorientiert im Klassenunterricht umgesetzt werden (Kapitel 7.7.2). Um die Anwendung der eingeführten wissenschaftlichen Erklärungen zur Anpasstheit einer Population in einem weiteren wissenschaftlichen Kontext einzuüben, empfehlen ebenfalls Fenner (2013), Brennecke (2015) und Roth (2017) die Anwendung in weiteren Szenarien. Wie Brennecke (2015) herausgefunden hat, kann ein bekanntes

Phänomen die konkrete Formulierung der eigenen Vorstellung unterstützen und dabei den Aufbau wissenschaftlicher Vorstellungen vereinfachen. Zudem soll das zuvor Erlernte in der Simulation „Nahrungstransport der Kernbeißer“ erweitert werden, indem die Nachkommen in jeder Generation eine zufällige Mutation erfahren (Kapitel 7.7.2). So kann neben der Wichtigkeit der Diversität einer Population (Kapitel 3.5) auch die mögliche Entwicklung in Richtungen einer neuen Variante veranschaulicht und somit finalistischen Vorstellungen einer zielgerichteten Entwicklung (Kapitel 3.6.1) begegnet werden. Außerdem kann neben abiotischen Faktoren, wie der Zugänglichkeit zu Nahrung, auch ein weiterer wichtiger biotischer Selektionsfaktor (Kattmann 2022) veranschaulicht werden, indem die Population wächst und so die Konkurrenz um Nahrung zunimmt (Kapitel 7.7.2).

Nach dem Aufbau und der erneuten Anwendung eines Grundlagenverständnisses zu den Themen Variation, Selektion und Anpasstheit soll als Abschluss der Unterrichtssequenz die Entwicklung geografisch isolierter Teilpopulationen in einer optimierten Simulation „Entwicklung der Alpenruspen“ (Kapitel 7.7.3) und damit ein essentieller Evolutionsprozess zur Entwicklung und Entstehung von Arten dargestellt werden. Um dabei gezielt finalistischen Vorstellungen zu begegnen, empfiehlt Brennecke (2015) die Nutzung eines botanischen Szenarios. Der Aufbau wissenschaftlicher Vorstellungen zu allopatrischen Artbildungsprozessen soll gefördert werden, indem die Generationenabfolgen der Teilpopulationen zunächst getrennt voneinander untersucht werden, um diese später zu vergleichen (Kapitel 7.7.3). Die Lernenden bearbeiten die Simulation in mehreren Gruppen, was verschiedene Simulationsergebnisse generieren soll. Indem diese ebenfalls verglichen werden, soll die Unvorhersehbarkeit der Entwicklung der verschiedenen Teilpopulationen aufgezeigt werden (Kapitel 7.7.3). Mit der in dieser Arbeit konzipierten und optimierten Simulation zur Untersuchung isolierter Teilpopulationen wird erstmalig ein evaluiertes, analoges unterrichtliches Simulationsmodell im deutschen Sprachraum zur Verwendung im unteren Sekundarbereich und mit Bezug zu einem botanischen Szenario zur Verfügung gestellt und so dem Ruf nach Materialien zur Vermittlung evolutionsbiologischer Prozesse (z. B. Leopoldina 2017, Beniermann & Graf 2021) nachgegangen.

Dabei wurden die bereits vielfach erhobenen Alltagsvorstellungen von Schülerinnen und Schülern (Kapitel 3.6) berücksichtigt und mithilfe der didaktischen Entwicklungsforschung im Dortmunder Modell (Kapitel 3.4) ein strukturell aufeinander aufbauendes Unterrichtsdesign zur Förderung wissenschaftlicher Vorstellungen zu den genannten Themen zum direkten Einsatz im Klassenunterricht entwickelt, beforscht und optimiert.

8.4 Evaluation des Unterrichtsdesigns anhand der Lernendenvorstellungen zu den Themen Variation, evolutionäre Anpasstheit und Artbildung nach der Durchführung der Unterrichtssequenz

Im Folgenden wird zunächst kritisch Bezug genommen auf die Auswahl unterschiedlicher Klassenstufen für die Befragung in der hiesigen Untersuchung. Anschließend erfolgt eine Diskussion der prominenten Ergebnisse im Rückblick auf das Aufgabenformat der Studie, woran sich die Evaluation des Unterrichtsdesigns anschließt.

Kritische Stellungnahme zur Auswahl der Probanden

Eine Befragung im Rahmen eines iterativen Verfahrens im schulischen Kontext innerhalb identischer Bedingungen durchzuführen, scheint utopisch, da sich die Klassen einer Schule auch in der gleichen Stufe bezüglich des Lernens stark unterscheiden können. Dies hängt maßgeblich vom individuellen Lernen, der Lehrperson, der Klassensituation und weiteren Faktoren ab (vgl. Kapitel 3.1), die nur schwierig zu kontrollieren sind. Da es das Ziel der vorliegenden Arbeit ist, ein optimiertes Unterrichtsdesign zur Umsetzung im schulischen Kontext zur Verfügung zu stellen, sollen Rückschlüsse auf das Lernen aus der Befragung nach der konkreten Durchführung im Klassenunterricht gezogen werden.

Zu Beginn der vorliegenden Studie wurde eine siebte Klasse am Anfang des Schuljahres befragt. Somit fand vor der Intervention kein Biologieunterricht nach dem schulinternen Curriculum dieser Jahrgangsstufe statt (mündliche Aussage des Lehrers). Da die weiteren Befragungen in der sechsten Klassenstufe jeweils zum Ende des Halb- und Schuljahres realisiert wurden, kann von ähnlichen vorunterrichtlichen Voraussetzungen bezogen auf biologische Unterrichtsinhalte ausgegangen werden, die es erlauben die Ergebnisse im direkten Vergleich zu messen.

8.4.1 Diskussion der Ergebnisse im Rückblick auf das Aufgabenformat der Erhebung

Anhand der Ergebnisse der vor- und nachunterrichtlichen Fragebogenerhebung der Lernendenvorstellungen insgesamt (Kapitel 7, Abb. 26, Abb. 27, Abb. 28), kann ein Zugewinn an wissenschaftlichen Vorstellungen durch das optimierte Unterrichtsdesign (Kapitel 7.7) verzeichnet werden. Einzig in Erprobung I wurde in den Szenarien

„Schnecken“ und „Venusfliegenfallen“ ein geringer Abfall an wissenschaftlichen Antworten nach dem Unterricht dokumentiert (Kapitel 7.2.1, Abb. 26). Die besondere Situation, in der sich die Schülerinnen und Schüler dieser Klasse befanden, soll an dieser Stelle erwähnt werden, da eine mögliche Einflussnahme auf das Lernen bestand: Die im Leistungsniveau sehr heterogene Schulklasse (mündliche Angabe des Klassenlehrers) konnte in der Zeit der Datenerhebung nicht vom Klassenlehrer betreut werden. Der Klassenlehrer stellt jedoch eine enge Bezugsperson für die Lernenden dar (Cocard & Tettenborn 2022). Aufgrund seiner Abwesenheit wurden Unterrichtsstunden, nach üblichem Vorgehen, in größerem Umfang von verschiedenen Lehrkräften vertreten, die den Schülerinnen und Schülern teilweise fremd waren (mündliche Aussage des Klassenlehrers). Sich auf neue Lehrer einzustellen, fällt Lernenden unterschiedlich schwer. Das kann unter Umständen dazu führen, dass Unterrichtsinhalte weniger verbindlich wirken, was eine mögliche Erklärung für die generelle Unruhe der Mitschüler in dieser Klassensituation darstellt. Dass sich die Gruppenzusammensetzung dabei auf die Entwicklung der Vorstellungen auswirken kann, beschreibt auch Egbers (2017). Zusätzlich wurde das Lernen durch die bestehende Maskenpflicht während der Coronapandemie belastet: Die Mimik war nur sehr eingeschränkt sichtbar und Worte nicht immer klar und deutlich zu verstehen. Außerdem war der Schulalltag durch Abstandsregelungen geprägt. Ein Einfluss auf die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung kann nicht ausgeschlossen werden.

In Erprobung II und III, nach der Weiterentwicklung des Unterrichtsdesigns (Kapitel 7.2.3, 7.3.3), entschieden sich in allen Szenarien nach der Durchführung des Unterrichts mehr Lernende für die wissenschaftliche Erklärung einer Merkmalsentwicklung (Kapitel 7.3.1, 7.4.1), wobei in Erprobung III die größte Zustimmung zum wissenschaftlichen Konzept nach der Durchführung der Unterrichtssequenz im Szenario „Kernbeißer“ dokumentiert wurde (Abb. 28). Da dieses Szenario anknüpfend an die Unterrichtssequenz (Kapitel 7.7.2) konzipiert wurde, kann dieser Zugewinn an wissenschaftlichen Antworten auf die entwickelte Lernsequenz zurückgeführt werden. Dass auch ein Transfer des neuen Wissens auf nicht im Unterricht behandelte Szenarien gelingt, zeigt die Auswertung der botanischen Szenarien (Abb. 28). Zudem kann ein deutlicher Abfall finalistischer Vorstellungen anhand des Fragebogens bestätigt werden (Abb. 28). Dabei ist der Prozentsatz an finalistischen Antworten im Szenario „Kernbeißer“ um mehr als 40% gesunken (Abb. 28), was wiederholt für einen Lernzuwachs aus der entwickelten Unterrichtssequenz (Kapitel 7.7.2) spricht.

Die Auswertung der quantitativen Untersuchung soll in dieser Arbeit nur eine Richtungstendenz geben (unter anderem aufgrund der geringen Probandenzahl), wohingegen eine ausführliche Evaluation des Unterrichtsdesigns über die nachfolgende Diskussion der Lernendenvorstellungen aus den qualitativen Ergebnissen der Interviewstudie führt. Denn teilweise zeigen sich deutliche Unterschiede in der quantitativen Auswertung der Fragebögen und Interviews gegenüber der qualitativen Auswertung der Interviews, wie in Kapitel 7.2-7.4 dargestellt. Diese Diskrepanz beobachtet auch Roth (2017) in seiner Studie zur Erhebung von Lernendenvorstellungen zur Evolution. So sind zwar finalistische Vorstellungen wie in anderen Studien (z. B. Fenner 2013, Brennecke 2015, Roth 2017) vor und nach der Unterrichtseinheit zu finden, jedoch werden auch die aufgebauten wissenschaftlichen Erklärungsmuster genutzt (Kapitel 7). Dabei zeigen sich in den Interviews nach der Unterrichtssequenz häufig differenziertere Erklärungsansätze auf erfragte Merkmalsentwicklungen als zuvor (Kapitel 7, Fenner 2013, Brennecke 2015). Da Lernende oftmals verschiedene Teilvorstellungen zu einem Phänomen äußern, kann durch eine Fragebogenerhebung mit geschlossenen Fragen, wobei alleinig die Auswahl vorgefertigter Antwortoptionen möglich ist, nicht die gesamte Bandbreite an Vorstellungen aufgedeckt werden (vgl. Brennecke 2015, Roth 2017).

Zudem sollten auch die quantitativen Ergebnisse der kategorisierten Lernendenaussagen (Kapitel 7.1.1) vorsichtig interpretiert werden. Da vor allem die Qualität der Aussagen eine hohe Relevanz für die Beurteilung des Verständnisses der Lernenden hat (vgl. Roth 2017), sollten die quantitativen Ergebnisse der prominenten Kategorien nur als Entwicklungstendenz der Vorstellungen und zur Vollständigkeit der Auswertung dienen. Allein die Anzahl der Aussagen (Kapitel 7.1.1) sollte nicht zur Bewertung eines möglichen Lernzuwachses herangezogen werden. Dabei sollte auch kritisch hinterfragt werden, inwiefern die quantitativ dargestellten Kategorien (Kapitel 7.1.1) zur Erklärung evolutionärer Phänomene genutzt werden. So lässt sich in der qualitativen Ergebnisauswertung der Kategorien in der Einzelfallanalyse (Kapitel 7.2.2, 7.3.2, 7.4.2) aufzeigen, dass Konzepte zumeist inkonsistent und in Zusammenhang mit weiteren Alltags- oder teilweise wissenschaftlichen Vorstellungen beschrieben werden. Diese inkonsistente Nutzung von vorhandenen Vorstellungen wird auch von Brennecke (2015) und Roth (2017) bestätigt, wobei in dieser Arbeit nach der Intervention alle Schülerinnen und Schüler auch wissenschaftliche Teilvorstellungen in ihre Erklärungen miteinbeziehen (Tab. 48, 44), was erneut für einen Erfolg des entwickelten Unterrichtsdesigns spricht.

Vor dem Hintergrund der Diskrepanz zwischen den Antwortkategorien der Fragebogen- und Interviewstudie, sollte auch die Lesekompetenz der Schülerinnen und Schüler des unteren Sekundarbereichs als mögliche Einflussgröße bedacht werden. So zeigt Miller-Betzitza (2019) in ihrer Untersuchung eine hoch signifikante Korrelation zwischen dem Leseverständnis und dem Evolutionsscore der Lernenden der 8. und 9. Jahrgangsstufe. Auch für nachfolgende Forschungsarbeiten sollte der aufgezeigte Aspekt bedacht und das Aufgabenformat entsprechend der Kompetenzen der Lernenden modifiziert werden.

Die Erhebung der Vorstellungen von jüngeren Probanden mittels Fragebogen mit geschlossenem Antwortformat soll in der vorliegenden Arbeit zur Übersicht der gesamten Breite der Lernendenvorstellungen dienen. Außerdem trägt dies zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit anderen Studien bei (Beniermann 2019, Kuschmierz et al. 2021) und lässt sich auch mit einer Vielzahl von Lernenden im Rahmen einer solchen Untersuchung umsetzen. Darüber hinaus lässt diese Form des Fragebogens eine rein objektive Auswertung der Antworten zu, wohingegen sich die Kategorien in der interpretativen Bewertung der Interviewaussagen nicht immer eindeutig trennscharf voneinander abgrenzen lassen. Aus diesen Gründen ist der eingesetzte Fragebogen (Kapitel 6.2) trotz der genannten Einschränkungen ein wichtiges Erhebungsinstrument.

8.4.2 Evaluation des Unterrichtsdesigns anhand der Diskussion der Ergebnisse der Einzelfallanalysen im Nachinterview zur Merkmalsentwicklung

Fortpflanzung

Die analysierten Vorstellungen der Interviewstudie (Kapitel 7) zeigen, dass die Unterrichtssequenz das Verständnis evolutionärer Mechanismen zur Merkmalsentwicklung fördern kann: Zwei Lernende nutzen erstmalig nach der Intervention die Vorstellung zur Fortpflanzung in ihren Erklärungen zur Merkmalsentstehung im botanischen Szenario (S1, S11). Auch im zoologischen Szenario ist in dieser Kategorie ein Erfolg zu verzeichnen: Im Nachinterview äußern sechs Schülerinnen und Schüler (Tab. 49) Vorstellungen zur Fortpflanzung, wohingegen es im Vorinterview nur ein Lernender war (Tab. 47).

Diversität

Es zeigt sich, dass das entwickelte Design auch zum bedeutungsvollen Lernen des evolutionsbiologischen Konzepts der Diversität in Populationen beitragen kann, was

zeitgleich essentiell zum Verstehen weiterer Evolutionsprozesse ist (Kattmann 2022, Brennecke 2015, Fiedler 2018, Beniermann & Graf 2021): Während sich im botanischen und zoologischen Szenario vor der Intervention jeweils drei Lernende zur Varianz von Individuen einer Art äußerten, waren es danach jeweils elf bzw. zehn Schülerinnen und Schüler (Kapitel 7.5). Dazu erkennt beispielsweise Schülerin 4 die Wirkung variiertes Individuen auf die unterschiedliche Fitness dieser im botanischen Szenario wie folgt: „[...] die ham sich dann vermehrt und manchmal is es halt, weil wir sehen ja auch nich immer alle gleich aus, zu ein anderen gekomm. Und wenn das gut überlebt hat, konnte sich das dann auch fortpflanzen und wenn nich is es halt ausgestorben.“ (2.S4, Pos. 6), was an dieser Stelle einen großen Erfolg in der Vermittlung der dynamischen Ursachen- und Wirkungszusammenhänge der Evolution darstellt (Kapitel 3.6.1).

Überleben besser angepasster Individuen

Daneben beschreiben zwei weitere Kinder zum ersten Mal das Überleben der besser angepassten Individuen zur Erklärung einer Merkmalsentwicklung im botanischen Szenario, nachdem sie die Unterrichtssequenz durchlaufen haben (S2, S3, S4). Im zoologischen Szenario wird diese Vorstellung nach der Intervention sogar von sechs Lernenden beschrieben (Tab. 49), wohingegen es davor nur drei waren (Tab. 47).

Notwendigkeit

Zudem kann belegt werden, dass Vorstellungen einer notwendigen Entwicklung von Merkmalen im zoologischen Szenario durch die Unterrichtsintervention abgebaut werden können (vgl. Tab 42 und 44). Auch die quantitative Auswertung der kategorisierten Lernendenaussagen zeigt einen deutlichen Rückgang finalistischer Teilvorstellungen (Tab. 21) nach der Durchführung der Sequenz, wobei die Anzahl der zugeordneten Schüleraussagen, die eine zweckgebundene und zielgerichtete Entwicklung beschreiben, in allen drei Erprobungsdurchläufen gesunken ist. Im Unterschied zu den Untersuchungen von Johannsen & Krüger (2005) und Lammert (2012), kann die konzipierte Unterrichtssequenz mit den im Fokus stehenden Simulationen (Kapitel 7.7) somit nicht nur zum Aufbau wissenschaftlicher Vorstellungen, sondern auch zur Reduktion von Vorstellungen einer notwendigen Merkmalsentwicklung beitragen (Kapitel 7).

Wissenschaftliche (Teil-)Vorstellungen

In der quantitativen Auswertung der Vorstellungen ist ein enormer Zugewinn an wissenschaftlichen (Teil-)Vorstellungen nach der Durchführung der Intervention zu beobachten (Tab. 22). Außerdem konnte anhand der Nachinterviews festgestellt werden, dass Äußerungen wissenschaftlicher (Teil-)Vorstellungen zumeist differenzierter nach der Intervention dargelegt werden (S3, S4, S6, S7, S9-S15). Dabei fällt in zoologischem Kontext zwar bei allen Lernenden die Verwendung wissenschaftlicher (Teil-)Vorstellungen auf, jedoch zeigen sich, entgegen der schriftlichen Erhebung von Fenner (2013), daneben häufig noch Alltagsvorstellungen bei der Beantwortung des gleichen Phänomens (Tab. 49). Diese Erkenntnis wird gestützt durch die Interviewstudie von Brennecke (2015). Im Unterricht sollte deshalb zukünftig noch stärker auf die Abgrenzung der Alltagsvorstellungen geachtet und die eingeführte wissenschaftliche Vorstellung in weiteren Szenarien erprobt werden (Brennecke 2015). Eine relativ kurze Interventionsphase ist somit zwar geeignet, um wissenschaftliche Vorstellungen zu initiieren, jedoch ist dies für die Bildung konsistenter wissenschaftlicher Vorstellungen nicht ausreichend (Brennecke 2015), weshalb künftig eine wiederholende und überdauernde, systematische Einbindung evolutionsbiologischer Themen in den Unterricht erfolgen sollte (z. B. Leopoldina 2017).

8.4.3 Evaluation des Unterrichtsdesigns anhand der Diskussion der Ergebnisse der Einzelfallanalysen im Nachinterview zur Artbildung

Nach der unterrichtlichen Intervention ist ein Anstieg der Erklärungen zur Artbildung durch Mutation zu verzeichnen (Tab. 51). Beispielsweise schildert Schülerin 7 im Vorinterview die Artentstehung sehr unsicher, indem sie mehrfach Verzögerungslaute nutzt, um ihre Vorstellung in einem Vergleich mit bereits Bekanntem auszudrücken (1.S7, Pos. 56), wohingegen sie nach der Unterrichtsintervention eine Erklärung durch Diversität und Fortpflanzung beschreibt (2.S7, Pos. 36). Das Erkennen von unterschiedlichen Merkmalsausprägungen innerhalb einer Population trägt dabei entscheidend zum Verständnis von Artbildungsprozessen bei (Fiedler 2018, Beniermann & Graf 2021). Dass auch allopatrische Artbildungsprozesse nach der Intervention mit wissenschaftlichen (Teil) Vorstellungen beschrieben werden (z. B. S1), zeigt eine erfolgreiche Conceptual Reconstruction (Kapitel 3.2), welche durch die entwickelte Unterrichtssequenz ermöglicht werden kann (Kapitel 7).

Entgegen der Befragung von Beniermann (2019), bei der sich ca. ein Drittel der Probanden für Schöpfungsvorstellungen entschieden, konnten diese in der hiesigen Erhebung nur

einmal dokumentiert werden (S5). Auch in den Studien von Samarapungavan & Wiers (1997) und Klös (2020), die ebenfalls jüngere Lernende befragten, wurden nur wenig religiöse Vorstellungen aufgedeckt.

Generell ist zu beobachten, dass die Veränderung von Arten im Interview häufig beschrieben wird. Dagegen fällt es den Lernenden schwerer, die Bildung neuer Arten zu erklären, was auch Fenner (2013) in ihrer Befragung herausfand.

Als interessant zeigen sich in der Auswertung vor allem die Vorstellungen einer Hybridisierung als Möglichkeit zur Artbildung, wobei im Interview nach der Durchführung der Intervention drei Lernende diesbezüglich mit wissenschaftlichen (Teil-) Vorstellungen antworteten (Tab. 51). Entgegen der Studien von Evans (2000) und Klös (2020), nutzten in der hiesigen Studie nach der Intervention insgesamt noch sieben Lernende Vorstellungen einer Hybridisierung zur Frage nach der Artentstehung im zoologischen und botanischen Szenario (Kapitel 7.5). Diese Erkenntnis sollte genutzt werden, um in weiteren Erhebungen gezielt zu überprüfen, in welchen Altersstufen und Aufgabekontexten diese Vorstellungen geäußert werden. Als ergänzende unterrichtliche Maßnahme zur Verständnisförderung der allopatrischen Artbildung sollten erneut Lerngelegenheiten angeboten werden, wie z. B. die Durchführung der Simulation „Isolation der Kernbeißer“ (Kapitel 5.1.3).

8.4.4 Zusammenfassung weiterer Erkenntnisse aus der Evaluation des Unterrichtsdesigns

Eine weitere Erkenntnis der vorliegenden Arbeit betrifft die Evaluation der Lernendenvorstellungen im Szenario „Kernbeißer“ der Erprobung III (Kapitel 7.4). Die Analyse zeigt, dass bereits im Vorinterview eine hohe Präferenz zu wissenschaftlichen Teilvorstellungen zur Merkmalsausprägung vorhanden ist (Kapitel 7.4). Dies bestätigt die Beobachtung von Brennecke (2015), dass ein bekanntes zoologisches Szenario einer heimischen Tierart geeignet ist, zum einen, um die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler zu aktivieren und zum anderen, um unterrichtlich an den bereits geäußerten wissenschaftlichen Teilvorstellungen anzuknüpfen (Weitzel 2006, Möller 2019). Dieser Aspekt sollte zur Konzeption weiterer unterrichtlicher Angebote genutzt werden (Brennecke 2015).

Des Weiteren zeigt sich in der qualitativen Auswertung (Kapitel 7), wie von Riemeier (2007) und Graf & Hamdorf (2011) beschrieben, dass sich Vorstellungen nicht korrigieren lassen, sondern Alltagsvorstellungen nach dem Unterricht weiterhin bestehen können, da sich diese

im Alltag der Lernenden bereits häufig bewährt haben. Demzufolge sollte ein aufgebautes wissenschaftliches Verständnis, im Sinne eines Spiralcurriculums, häufig Anwendung finden, da das Lernen nur durch mehrfache Wiederholung optimal gefördert wird (Petermann & Petermann 2018, Roelle et al. 2023). Wissenschaftliche Vorstellungen sollten somit im Unterricht in vielfältigen wissenschaftlichen Kontexten genutzt werden können, um Phänomene zu erklären. Dies kann nur durch die frühzeitige Thematisierung evolutionärer Inhalte im Unterricht gelingen, denn mit dem Aufbau fachlichen Wissens kann die wissenschaftliche Erklärung für evolutionsbezogene biologische Phänomene überhaupt erst herangezogen werden. Dabei sollte der zu erlernende Unterrichtsgegenstand für die Schülerinnen und Schüler erfahrbar gemacht werden, indem Inhalte anwendungsbezogen und selbsttätig mithilfe überzeugender Darstellungen erarbeitet werden können (Fenner 2013, Schlüter 2023). Wie in der Evaluation der entwickelten Unterrichtssequenz aufgezeigt, kann somit die Vorstellungsentwicklung gefördert und Lernenden die Chance gegeben werden, die wissenschaftliche Vorstellung zur Erklärung eines Phänomens heranzuziehen, sodass sich diese in verschiedenen Situationen bewähren kann.

Wie in den obigen Abschnitten beschrieben, fällt in der hiesigen Studie die häufige Verwendung des Vergleichs mit eigenen Beispielen zur Erklärung von Anpasstheit und Artbildung auf. Insgesamt wurden in der Kategorie „Vergleich mit Bekanntem“ 38 Äußerungen von 12 Lernenden codiert (S1-S7, S9-S13). Dabei nutzte Schülerin 2 insgesamt achtmal im Vor- und Nachinterview in ihren Äußerungen einen Vergleich zu Bekanntem oder bereits Gelerntem. Der in den Schülerantworten genutzte Vergleich mit eigenen Beispielen lässt vermuten, dass subjektive Erfahrungen mit den unterschiedlichen Szenarien verknüpft werden (Graf & Hamdorf 2011, Brennecke 2015). So übertragen die Lernenden ihre durch Alltagssituationen erworbene Vorstellung auf neue, unbekannte Beispiele (Marohn 2008). Nach dem Prinzip des Konstruktivismus (Kapitel 3.1) und der Conceptual Reconstruction (Kapitel 3.2) kann nicht davon ausgegangen werden durch didaktisch rekonstruierten Unterricht ein sofortiges Wissensnetz evolutionärer Strukturen zu erarbeiten, vielmehr soll im unteren Sekundarbereich die eigene Vorstellung bewusst gemacht und ein wissenschaftliches Verständnis aufgebaut werden (Kapitel 3.3). Die Alltagsvorstellung kann somit begrenzt und die wissenschaftliche Vorstellung in aufgezeigten wissenschaftlichen Kontexten verwendet werden, damit diese überhaupt zur Erklärung herangezogen werden kann, auch, wenn fachliche Vorstellungen zunächst noch inkonsistent zur Beantwortung genutzt werden. Somit sprechen die Erkenntnisse dieser Arbeit unbedingt für eine frühere

Einbindung evolutionärer Inhalte in den Unterricht, wofür sich Didaktiker und Bildungseinrichtungen bereits seit Jahren aussprechen (Giffhorn & Langlet 2006, Leopoldina 2017).

Wie nachdrücklich gefordert (Lammert 2012, Fenner 2013, Brennecke 2015, Graf & Schmidt-Salomon 2017, Leopoldina 2017, Roth 2017, Zabel 2020), wurde in dieser Arbeit anhand der fachdidaktischen Entwicklungsforschung im Dortmunder Modell (Kapitel 3.4) ein mehrfach evaluiertes und im Ergebnis optimiertes Unterrichtsdesign mit neuartigen Simulationen zum direkten Einsatz im Unterricht bereits ab der Sekundarstufe I konzipiert, welches nachweislich die Nutzung wissenschaftlicher Konzepte zur Erklärung von Anpasstheit und Artbildung fördern kann (Kapitel 7). Dabei wurden nicht nur funktionale und effektive Unterrichtsprodukte entwickelt (Kapitel 7.7), sondern auch die gegenstandsspezifischen Lerntheorien zu Selektions-, Anpassungs- und Artbildungsprozessen weiterentwickelt (Kapitel 7 -8). Konkret wurde durch das Zusammenwirken der empirischen Untersuchung und der stetigen Optimierung des Arrangements mithilfe des Dortmunder Modells ein Kontext entwickelt, um bedeutungsvolles Lernen zu arrangieren. Da Schülerinnen und Schüler, wie in der hiesigen Studie dargelegt und auch durch frühere Erhebungen bestätigt (z. B. Brennecke 2015), zur Erklärung neuer Sachverhalte vermehrt auf bereits Erfahrenes zurückgreifen, sollen sie mit der optimierten Unterrichtssequenz selbst aktiv im Unterricht Erfahrungen sammeln, um diese in weiteren schulischen und außerschulischen Situationen nutzen zu können.

Im Biologieunterricht sind klare Kompetenzerwartungen beschrieben (MNU 2019, KMK 2024), dennoch ist der zeitliche Aspekt bei der Umsetzung in der Schulpraxis zu berücksichtigen. Die optimierten unterrichtlichen Simulationen können dabei nicht nur insgesamt als Lernsequenz aufeinanderfolgend eingesetzt werden. Je nach Zielsetzung lassen sich zu bestimmten Aspekten im Unterricht einzelne Simulationen verwenden, um den Verständnisaufbau zu fördern. Konkret kann beispielsweise die Simulation „Nahrungstransport der Kernbeißer“ zum Einstieg in den inhaltlichen Schwerpunkt „Ausprägung von Merkmalen“ (MNU 2019) oder „Anpasstheit“ (KMK 2024) genutzt werden, um Alltagsvorstellungen bewusst zu aktivieren und die Lernenden bei der Entwicklung ihrer individuellen Vorstellungen zu unterstützen (Kapitel 7.7.2). Für die unterrichtliche Planung im schulischen Kontext befinden sich im Anhang dieser Arbeit alle Materialien kompakt zusammengefasst (Anhang A).

Für die geforderte frühzeitige Umsetzung evolutionärer Inhalte im Unterricht ist empfehlenswert, dass weitere Materialien anhand der Fachdidaktischen Entwicklungsforschung im Dortmunder Modell zur kreativen Erarbeitung evolutionsbezogener Prozesse konzipiert werden, um den Aufbau wissenschaftlicher Vorstellungen zu fördern.

9 Fazit und Ausblick

In den letzten Jahrzehnten wurden vielfältige Studien zur Erhebung von Lernendenvorstellungen zu verschiedenen evolutionären Konzepten durchgeführt (z. B. Samarapungavan & Wiers 1997, Evans 2000, Brennecke 2015, Beniermann 2019). Als Konsequenz der Erkenntnisse, dass Schülerinnen und Schüler oftmals ein unzureichendes Verständnis über evolutionäre Anpasstheit zeigen, wird sowohl die frühere Einführung der Evolution in den Schulunterricht als auch die Bereitstellung von Materialien zur Vermittlung dieser gefordert (z. B. Graf & Schmidt-Salomon 2017, Leopoldina 2017). Dabei sollen didaktisch rekonstruierte unterrichtliche Arrangements konzipiert werden, die nachweislich zum Aufbau wissenschaftlicher Vorstellungen führen können (Zabel 2020).

In der vorliegenden Arbeit konnte anhand der didaktischen Entwicklungsforschung im Dortmunder Modell (Kapitel 3.4) ein handlungsorientiertes Unterrichtsdesign mit dem Fokus auf drei unterrichtlichen Simulationen zum Aufbau eines Verständnisses der grundlegenden evolutionsbiologischen Konzepte zur Variation, Anpasstheit und allopatrischen Artbildung entwickelt, beforscht und optimiert werden (Kapitel 5 bzw. Kapitel 7.7). Dieses kann zur konkreten Umsetzung der neuen Bildungsstandards in den Naturwissenschaften für die Sekundarstufe I (KMK 2024) beitragen.

Zudem konnten vertiefende Einblicke in die Vorstellungen zur Artbildung sowohl in botanischen als auch zoologischen Szenarien von Lernenden der 6. und 7. Klassenstufe gegeben werden (Kapitel 7). Das entwickelte Kategoriensystem kann zur systematischen Verortung der Lernendenvorstellungen zur Artbildung (Kapitel 7.1) auch in weiteren Forschungsarbeiten genutzt werden. Hierbei sollte vor allem Bezug genommen werden zu den in dieser Arbeit häufig vorkommenden Vorstellungen einer Hybridisierung, als Möglichkeit zur Artbildung, und überprüft werden, inwiefern diese Vorstellung auch in

anderen Untersuchungsgruppen vertreten ist. Folgend sollten weitere Materialien zur Verständnisförderung der Artbildung auf Grundlage der erarbeiteten Prinzipien konzipiert und getestet werden. Dabei könnte die Unterrichtssequenz im Sinne eines Spiralcurriculum z. B. um genetische Prinzipien oder eine stärkere Fokussierung auf unterschiedliche Artkonzepte erweitert werden. Um auch repräsentative Ergebnisse zu generieren, sollten quantitative Studien mit, an das Lernniveau der Lernenden angepassten, Aufgabenformaten durchgeführt werden. Dabei sollte der Einfluss der Lesekompetenz und des Aufgabenkontextes auf das Antwortverhalten beachtet werden.

Für künftig geforderte Debatten zur früheren Einführung der Evolution in den Lehrplänen (Giffhorn & Langlet 2006, Fenner 2013, Leopoldina 2017) kann die auch in der vorliegenden Arbeit bestätigte, häufige Verwendung selbst gewählter Beispiele angebracht werden (Brennecke 2015). So kann zur notwendig früheren Umsetzung evolutionsbiologischer Grundlagen in den Lehrplänen argumentiert werden, dass Schülerinnen und Schüler Konzepte nur dann anwenden können, wenn sie bereits subjektive Erfahrungen damit gesammelt und diese durch mehrfache Wiederholung gefestigt haben (Graf & Hamdorf 2011, Roelle et al. 2023).

10 Literaturverzeichnis

- Apodaca, M. J.; McInerney, J. D.; Sala, O. E.; Katinas, L.; Crisci, J. V. (2019): A Concept Map of Evolutionary Biology to Promote Meaningful Learning in Biology. *The American Biology Teacher*, 81, P. 79-87.
https://www.researchgate.net/publication/330652462_A_Concept_Map_of_Evolutionary_Biology_to_Promote_Meaningful_Learning_in_Biology, zuletzt abgerufen am 31.05.2024.
- Asshoff, R. (2020): Das Unterrichten mit Schülervorstellungen – Anforderungen an Lernumgebungen. In: Reinisch, B.; Helbig, K.; Krüger, D. (Hrsg.): *Biologiedidaktische Vorstellungsforschung: Zukunftsweisende Praxis*. Springer Spektrum. S. 101- 114. <https://dokumen.pub/biologiedidaktische-vorstellungsforschung-zukunftsweisende-praxis-1-aufl-9783662613412-9783662613429.html>, zuletzt abgerufen am 26.03.2024.
- Baalmann, W.; Frerichs, V.; Weitzel, H.; Gropengießer, H.; Kattmann, U. (2004): Schülervorstellungen zu Prozessen der Anpassung – Ergebnisse einer Interviewstudie im Rahmen der Didaktischen Rekonstruktion. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10, S. 7-28.
- Beardsley, P. (2004): Middle School Student Learning in Evolution: Are Current Standards Achievable? *The American Biology Teacher*, 66, P. 604–612.
- Beniermann, A. (2019). *Evolution – von Akzeptanz und Zweifeln*. Empirische Studien über Einstellungen zu Evolution und Bewusstsein. Veröffentlichung der Dissertation, Wiesbaden: Springer Spektrum. <https://www.springer.com/de/book/9783658241049>
- Beniermann, A.; Roth, J.; Schmidt, E.; Greiten, K.; Graf, D. (2017): Arten verändern sich – Das Überleben der „Nussgetiere“. *Sachunterricht Weltwissen „Evolution“*, 2017-1, S. 36-41.
- Beniermann, A.; Brennecke, J.; Greiten, K.; Hamdorf, E.; Roth, J.; Spitzner, A.; Graf, D. (2014); *GiTax - Gießener Taxonomie: Begriffe für die biologiedidaktische Forschung*. Online Publikation, JLU Gießen. <https://www.uni-giessen.de/de/fbz/fb08/Inst/biologiedidaktik/dateien/gitax>, zuletzt abgerufen am: 06.03.2024.
- Beniermann, A.; Graf, D. (2021): Vorstellungen zu zentralen Begriffen zur Evolution - Eine Untersuchung bei Schüler/innen, Studierenden und Biologie-Referendar/innen. *MNU Journal*, 74-6, S. 456-462.
- Berck, K.-H.; Graf, D. (2018): *Biologiedidaktik: Grundlagen und Methoden*. Wiebelsheim: Quelle & Meyer.

- Beschlüsse der Kultusministerkonferenz (2004): Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004. Herausgegeben vom Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland.
https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Biologie.pdf, zuletzt abgerufen am 06.03.2024.
- Beschluss der Kultusministerkonferenz (2020): Bildungsstandards im Fach Biologie für Die Allgemeine Hochschulreife. Beschluss vom 18.06.2020. Herausgegeben vom Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland.
https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2020/2020_06_18-BildungsstandardsAHR_Biologie.pdf, zuletzt abgerufen am 03.05.2024.
- Brennecke, J. (2015): Schülervorstellungen zur evolutionären Anpassung - qualitative Studien als Grundlage für ein fachdidaktisches Entwicklungskonzept in einem botanischen Garten. Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen.
- Brennecke, J. (2016): Das Spiel mit dem Feuer. Biologie im naturwissenschaftlichen Unterricht 5-10. Evolution anschaulich, 15, S. 8-11.
- Bruckermann, T.; Schlüter, K. (2017): Forschendes Lernen im Experimentalpraktikum Biologie. Eine praktische Anleitung für die Lehramtsausbildung. Heidelberg, Berlin: Springer Spektrum.
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2023): Das Bilaterale Kooperationsprogramm des BMEL. Projektletter 2023.
https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/bilaterales-kooperationsprogramm-de.pdf?__blob=publicationFile&v=19, zuletzt abgerufen am 06.03.2024.
- Burton, S.; Dobson, C. (2009): Spork & beans: Addressing evolutionary misconceptions. *The American Biology Teacher*, 71-2, P. 89-91.
- Castillo, A. I.; Roos, B. H.; Rosenberg, M. S.; Cartwright, R. A.; Wilson, M. A. (2022): Genie: an interactive real-time simulation for teaching genetic drift. figshare. Collection. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.c.5853559.v1>, zuletzt abgerufen am 06.03.2024.
- Cocard, Y.; Tettenborn, A. (2022): Klassenleitungen als Drehscheiben des inner- und außerschulischen Zusammenwirkens: Gewachsene Anforderungen an eine zentrale Funktion im Schulsystem. *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, 40-2, S. 230-253. DOI: 10.25656/01:25377, zuletzt abgerufen am 26.03.2024
- Coyne, J. A.; Orr, H. A. (2004): Speciation. Sunderland, MA: Sinauer.
- Cypionka, R. (2012): Pflanzen als Lebewesen in Evolution und Entwicklung. Ein Beitrag zur didaktischen Rekonstruktion. Band 39. Oldenburg: Carl von Ossietzky Universität, Didaktisches Zentrum.

- Dannemann, S.; Heeg, J.; von Roux, Y. (2021): Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Rahmen und Impulsgeber für die Entwicklung von Fachdidaktik und Unterricht. HLZ, 4-2, S. 1-9. <https://www.herausforderung-lehrerinnenbildung.de/index.php/hlz/article/view/4187/4157>, zuletzt abgerufen am 31.05.2024.
- Darwin, C. (1859): On the origin of species by means of natural selection, or, The preservation of favoured races in the struggle for life. London: John Murray. <https://library.si.edu/digital-library/book/onoriginofspec00darw>, zuletzt abgerufen am 06.03.2023.
- Dial, D.; Emetu, N.; Andrews, T. C. (2019): A community-informed list of key speciation concepts for undergraduate education. *Evolution: Education and Outreach*, 12-14. <https://doi.org/10.1186/s12052-019-0105-2>, zuletzt abgerufen am 31.05.2024.
- Dobzhansky, T. (1973): Nothing in Biology Makes Sense Except in the Light of Evolution. *The American Biology Teacher*, 35-3, P. 125-129. <https://doi.org/10.2307/4444260>, zuletzt abgerufen am 31.05.2024.
- Dreesmann, D.; Kissi, L. (2020): Bestäubung praktisch und spielerisch erfahren: Eine Spiel- und Bastelanleitung zum ‚Durch die BLUME‘-Bestäuber-Spiel. *BU Praktisch - Das Online-Journal für Den Biologieunterricht*, 3-3, S. 4. <https://doi.org/10.4119/bupraktisch-3321>, zuletzt abgerufen am 02.03.2024.
- Dresing, T.; Pehl, T. (2018): *Praxisbuch Interview, Transkription & Analyse. Anleitungen und Regelsysteme für qualitativ Forschende*. 8. Auflage. Marburg: Eigenverlag. <https://www.audiotranskription.de/downloads/#praxisbuch>, zuletzt abgerufen am 04.03.2024.
- Duit, R. (1995): Zur Rolle der konstruktivistischen Sichtweise in der naturwissenschaftlichen Lehr- und Lernforschung. *Zeitschrift für Pädagogik*, 41-6, S. 905-923.
- Eckhardt, M.; Harms, U. (2018): SimBioSee. Eine Computersimulation für den Ökologieunterricht. *Unterricht Biologie*, 437, S. 44-46.
- Egbers, M. (2017). Konzeptentwicklungs- und Gesprächsprozesse im Rahmen der Unterrichtskonzeption „choice2learn“. In: A. Marohn (Hrsg.): *Lernen in Naturwissenschaften – verstehen und entwickeln*. Bd. 1. Münster: Logos.
- Eirdosh, D. (2022): *Teaching evolution as an interdisciplinary science: concepts, theory, and network infrastructure for educational design research*. Dissertation, Friedrich-Schiller Universität Jena.
- Evans, M. E. (2000): The emergence of beliefs about the origins of species in school-age children. *Merrill-Palmer Quarterly: A Journal of Developmental Psychology*, 46, P. 221–254.

- Fenner, A. (2013): Schülervorstellungen zur Evolutionstheorie, Konzeption und Evaluation von Unterricht zur Anpassung durch Selektion. Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen.
- Fiedler, D. (2018): Relevance of Threshold Concepts for Understanding Evolution. Kiel: IPN Kiel. https://macau.unikiel.de/receive/diss_mods_00023875?lang=en, zuletzt abgerufen am 19.03.2024.
- Fiedler, D.; Moormann, A.; Beniermann, A. (2023): Using different acceptance measures: The interplay of evolution acceptance, evolution understanding, and religious belief among German preservice biology teachers, secondary school students, and creationists. *Science Education*, 108-1, P. 223-274. <https://doi.org/10.1002/sce.21833>, zuletzt abgerufen am 31.05.2024.
- Franke, H. (1966): *Der Mensch stammt doch vom Affen ab*. München: Kindler.
- Futuyma, D. J. (2013): *Evolution*. 3. Auflage. Sunderland, Massachusetts: Sinauer.
- Gebhard, U. (2023): Die Lernenden: Schülerinnen und Schüler. In: Gropengießer, H.; Harms, U. (Hrsg.): *Fachdidaktik Biologie*, S. 124-141. Hannover: Aulis.
- Gemballa, S.; Götz, H.; Kattmann, U. (2024): Artbildung und Artkonzepte. In: Gemballa, S.; Kattmann, U. (Hrsg.): *Didaktik der Evolutionsbiologie. Zwischen Fachkonzepten und Alltagsvorstellungen vermitteln*. Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-69030-7>, zuletzt abgerufen am 04.11.2024.
- Gemballa, S.; Kattmann, U. (2024): 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. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-69030-7>, zuletzt abgerufen am 04.11.2024.
- Graf, D.; Hamdorf, E. (2011): Evolution: Verbreitete Vorstellungen zu einem zentralen Thema. In: Dreesmann, D.C.; Graf, D.; Wittke, K. (Hrsg.): *Evolutionsbiologie. Moderne Themen für den Unterricht*. Heidelberg: Spektrum, S. 25-41.
- Graf, D.; Schmidt-Salomon, M. (2017): *Evokids – Evolution in der Grundschule*. Oberwesel, Gießen: Giordano-Bruno-Stiftung, Evokids-Projektgruppe. 2. Auflage. https://evokids.de/sites/evo/files/evokids_lehrbuch_farbe_2auflage.pdf, zuletzt abgerufen am 07.03.2024.
- Graf, D.; Wieder, B. (2017): Zwei Welten begegnen sich? Das Thema Evolution und der Grundschulunterricht. *Sachunterricht Weltwissen „Evolution“*, 2017-1, S. 6–7.
- 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. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-69030-7>, zuletzt abgerufen am 04.11.2024.

- Giffhorn, B.; Langlet, J. (2006): Einführung in die Selektionstheorie. So früh wie möglich. Praxis der Naturwissenschaften – Biologie in der Schule, 55-6, S. 6-15.
- Grilliot & Harden (2014): Using Card Games to Simulate the Process of Natural Selection. The American Biology Teacher, 76-2, P. 124-126.
- Gropengießer, H. (2001): Didaktische Rekonstruktion des Sehens. Wissenschaftliche Theorien und die Sicht der Schüler in der Perspektive der Vermittlung. Oldenburg: Carl-von-Ossietzky-Universität, Didaktisches Zentrum.
- Gropengießer, H. (2006): Wie man Vorstellungen der Lerner verstehen kann: Lebenswelten, Denkwelten, Sprechwelten. 2., aktualisierte Auflage, Bd. 4. Oldenburg: Carl-von-Ossietzky-Universität, Didaktisches Zentrum.
- Gropengießer, H. (2007): Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens. In: Krüger, D.; Vogt, H. (Hrsg.): Theorien der biologiedidaktischen Forschung. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 105- 116.
- Gropengießer, H.; Kattmann, U. (2023): Arbeiten mit Schülervorstellungen. & Didaktische Rekonstruktion. In: Gropengießer, H. & Harms, U. (Hrsg.): Fachdidaktik Biologie, S. 30-35 & S. 36-47. Hannover: Aulis.
- Gropengießer, H.; Marohn, A. (2018): Schülervorstellungen und *Conceptual Change*. In: Krüger, D., Parchmann, I., Schecker, H. (Hrsg.): Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Hacker (2017): Vorwort. In: Leopoldina - Nationale Akademie der Wissenschaften e.V. (Hrsg.): Evolutionsbiologische Bildung in Schule und Hochschule. Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e.V. Nationale Akademie der Wissenschaften, Halle (Saale).
- Hammann, M.; Asshoff, R. (2023): Schülervorstellungen im Biologieunterricht. Ursachen für Lernschwierigkeiten. 5. Auflage. Seelze: Kallmeyer.
- Hammer, C.; Aufleger, M.; Probst, W. (2022): Der Artbegriff im Wandel der Zeit. Über aktuelle wissenschaftliche Ergebnisse und Simulationen die Veränderungen des Artbegriffs nachvollziehen können. Unterricht Biologie, 473, S. 31-37.
- Held, M.; Nutzinger, H. G. (2001): Nachhaltiges Naturkapital. Ökonomik und zukunftsfähige Entwicklung. Frankfurt, Main: Campus.
- Helfferrich, C. (2011): Die Qualität qualitativer Daten. Manual für die Durchführung qualitativer Interviews. 4. Auflage. Wiesbaden: VS.
- Herron, J. C. (2022): EvoDots 2.0. <https://faculty.washington.edu/herronjc/evodots/>, zuletzt abgerufen am 07.03.2024.

- Hessisches Kultusministerium (2021): Kerncurriculum gymnasiale Oberstufe. Biologie. <https://kultus.hessen.de/sites/kultus.hessen.de/files/2021-07/kcgo-bio.pdf>, zuletzt abgerufen am 04.11.2024.
- Hildebrand, T. J.; Govedich, F. R.; Bain, B. A. (2014): Hands-On Laboratory Simulation of Evolution: An Investigation of Mutation, Natural Selection, & Speciation. *The American Biology Teacher*, 76-2, P. 132-136. <https://doi.org/10.1525/abt.2014.76.2.11>, zuletzt abgerufen am 03.03.2024.
- Hmelo, C. E.; Holton, D. L.; Kolodner, J. L. (2000): Designing to learn about complex systems. *Journal of the Learning Sciences*, 9, P. 247-298.
- Hubrig, C. (2017): Lösungen trainieren – systemisches Handeln lernen. Weinheim: Beltz.
- Johannsen, M.; Krüger, D. (2005): Schülervorstellungen zur Evolution – eine quantitative Studie. Münster, Berlin: Institut Didaktik Biologie, 14, S. 23-48.
- Kampourakis, K.; Zogza, V. (2008): Students' Intuitive Explanations of the Causes of Homologies and Adaptations. *Science & Education*, 17-1, P. 27-47.
- Kattmann, U.; Duit, R.; Gropengießer, H.; Komorek, M. (1997): Das Modell der didaktischen Rekonstruktion. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3-3, S. 3-18.
- Kattmann, U. (2007): Didaktische Rekonstruktion – eine praktische Theorie. In: Krüger, D. und Vogt, H. (Hrsg.): *Theorie in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden*. Berlin, Heidelberg: Springer. S. 93-104.
- Kattmann, U. (2022): Schüler besser verstehen. Alltagsvorstellungen im Biologieunterricht. 2. aktualisierte Auflage. Hallbergmoos: Aulis.
- Kleesattel, W. (2011): *Die Evolution*. Bern, Stuttgart, Wien: Haupt.
- Klös, T. (2020): Qualitative Erhebungen von Schülervorstellungen von Grundschulkindern zur Evolution sowie die Konzeption und Evaluation einer Unterrichtseinheit zur Humanevolution im Rahmen des Evokids-Projekts. Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen.
- KMK (2024): *Bildungsstandards NATURWISSENSCHAFTEN (2024)*. Biologie, Chemie, Physik. Sekundarstufe I. Beitrag zur Implementation. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/Bildung/Qualitaet/ImplBroschuere_BiSta_NATURWISSENSCHAFTEN_2024-06-06.pdf, zuletzt abgerufen am 04.11.2024.
- Komorek, M.; Prediger, S. (2013): Der lange Weg zum Unterrichtsdesign – Zur Begründung und Umsetzung fachdidaktischer Forschungs- und Entwicklungsprogramme. Sammelband in der Reihe fachdidaktische Forschungen der GFD. Münster: Waxmann.

- Krüger, D. (2007): Die Conceptual-Change-Theorie. In: Krüger, D. und Vogt, H. (Hrsg.) Theorie in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden. Berlin Heidelberg: Springer. S. 81-92.
- Krüger, D. und Vogt, H. (2007): Theorie in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden. Berlin Heidelberg: Springer.
- Kuckartz, U.; Rädiker, S. (2022): Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung. Weinheim: Beltz Juventa.
- Kuschmierz, P.; Meneganzin, A.; Pinxten, R. et al. (2020): Towards common ground in measuring acceptance of evolution and knowledge about evolution across Europe: a systematic review of the state of research. *Evolution: Education and Outreach*, 13. <https://doi.org/10.1186/s12052-020-00132-w>, zuletzt abgerufen am 07.03.2024.
- Kuschmierz, P.; Beniermann, A.; Bergmann, A. et al. (2021): European first-year university students accept evolution but lack substantial knowledge about it: a standardized European cross-country assessment. *Evolution: Education and Outreach*, 14. <https://doi.org/10.1186/s12052-021-00158-8>, zuletzt abgerufen am 07.03.2024.
- Lammert, N. (2012): Akzeptanz, Vorstellungen und Wissen von Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I zu Evolution und Wissenschaft. Dissertation, Technische Universität Dortmund.
- Leopoldina - Nationale Akademie der Wissenschaften e.V. (2017): Evolutionsbiologische Bildung in Schule und Hochschule. Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e.V. Nationale Akademie der Wissenschaften, Halle (Saale).
- Lin, J. W.; Yen, M. H.; Liang, J. C.; Chiu, M. H.; Guo, C. J. (2016): Examining the factors that influence students' science learning processes and their learning outcomes: 30 years of conceptual change research. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 12-9, P. 2617–2646. doi: 10.12973/eurasia.2016.000600a, zuletzt abgerufen am 31.05.2024.
- Lindgren, R.; Tscholl, M.; Wang, S.; Johnson, E. (2016): Enhancing learning and engagement through embodied interaction within a mixed reality simulation. *Computers & Education* 95, P. 174-187. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.01.001>, zuletzt abgerufen am 31.05.2024.
- Manns, B.; Graf, D. (2018): Käfolution. Gießen: Institut für Biologiedidaktik. <https://kaefolution.gardsfabriken.de>, zuletzt abgerufen am 07.03.2024.
- Marohn, A. (2008): Choice2learn – eine Konzeption zur Exploration und Veränderung von Lernervorstellungen im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 14, S. 57-83.
- Mayring, P. (2023) Einführung in die qualitative Sozialforschung. Eine Anleitung zu qualitativem Denken. 7., überarbeitete Auflage. Weinheim, Basel: Beltz.

- Miller-Betzitza, U. (2019): Analyse verschiedener Einflussfaktoren auf Schülervorstellungen zu Anpassung und Auslese. Dissertation, Pädagogische Hochschule Weingarten.
- MNU e. V. (2019): Gemeinsamer Referenzrahmen für Naturwissenschaften (GeRRN). Mindeststandards für die auf Naturwissenschaften bezogene Bildung. Ein Vorschlag. 3., überarbeitete Auflage. Neuss: Seeberger. S. 22-23.
- Möller, K. (2019): Lernen von Naturwissenschaften heisst: Konzepte verändern. In: Labudde, P.; Metzger, S. (Hrsg.): Fachdidaktik Naturwissenschaft 1.-9. Schuljahr. Bern: Haupt, S. 59-74.
- Muell, M. R.; Guillory, W. X.; Kellerman, A., Rubio; A. O., Scott-Elliston, A.; Morales, O.; Eckhoff, K.; Barfknecht, D.; Hartsock, J. A.; Weber, J. J.; Brown, J. L. (2020): Gaming natural selection: Using board games as simulations to teach evolution. *Evolution*, 74-3, P. 681-685. <https://doi.org/10.1111/evo.13924>, zuletzt abgerufen am 20.02.2024.
- Nagel, V. (2020): Lernen mit Simulationen und virtuellen Experimenten in den Naturwissenschaften. In: Digitalisierung in der Lehrerbildung Tübingen (TüDiLB) (Hrsg.). *Evidenzbasierte Hinweise zum Einsatz digitaler Medien im Lehr-Lernkontext*. https://lms-public.uni-tuebingen.de/ilias3/goto.php?target=wiki_wpage_816, zuletzt abgerufen am 07.03.2024.
- Nehm, R.; Ha, M. (2011): Item feature effects in evolution assessment. *Journal of Research in Science Teaching*, 48-3, P. 237–256. <https://doi.org/10.1002/tea.20400>, zuletzt abgerufen am 31.05.2024.
- Osborne, J. (2010): Arguing to Learn in Science: The Role of Collaborative, Critical Discourse. *Science*, 328, P. 463-466. DOI: 10.1126/science.1183944, zuletzt abgerufen am 31.05.2024.
- Petermann, F.; Petermann, U. (2018): Lernen: Grundlagen und Anwendungen. 2., überarbeitete Auflage. Göttingen: Hogrefe.
- Pintrich, P. R.; Marx, R. W.; Boyle, R. A. (1993): Beyond Cold Conceptual Change: The Role of Motivational Beliefs and Classroom Contextual Factors in the Process of Conceptual Change. *Review of Educational Research*, 63, P. 167-199.
- Podolefsky, N.; McGarry, A.; Malley, C.; Olson, J.; Adams, W.; Hoffman, M.; Nix, O.; Paul, A.; Perkins, K.; Wieman, C. (2024): Natural Selection. PhET- Interactive Simulations. Version 1.5.4. Boulder: University of Colorado. <https://phet.colorado.edu/en/simulations/natural-selection>, zuletzt abgerufen am 31.05.2024.

- Pope, D. S.; Rounds, C. M.; Clarke-Midura, J. (2017): Testing the effectiveness of two natural selection simulations in the context of a large-enrollment undergraduate laboratory class. *Evolution: Education and Outreach*, 10-3. <https://evolution-outreach.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12052-017-0067-1>, zuletzt abgerufen am 06.06.2024.
- Posner, G. J.; Strike, K. A.; Hewson, P.; Gertzog, W.A. (1982): Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. *Science Education*, 66-2, P. 211-227. https://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/PHS122/%CE%91%CF%81%CE%B8%CF%81%CE%B1/Posner_Strike_Hewson_Gertzog.pdf, zuletzt abgerufen am 06.06.2024.
- Prediger, S.; Link, M.; Hinz, R.; Hussmann, S.; Ralle, B.; Thiele, J. (2012): Lehr-Lernprozesse initiieren und erforschen. *Fachdidaktische Entwicklungsforschung im Dortmunder Modell. Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht* 65-8, S. 452-457. https://wwwold.mathematik.tu-dortmund.de/~prediger/veroeff/12-Prediger_et_al_MNU_FUNKEN_Webversion.pdf, zuletzt abgerufen am 06.06.2024.
- Reinders, H. (2016) *Qualitative Interviews mit Jugendlichen führen. Ein Leitfaden*. 3. Auflage. Berlin, Boston: De Gruyter.
- Reinfried, S.; Mathis, C.; Kattmann, U. (2009): Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion. Eine innovative Methode zur fachdidaktischen Erforschung und Entwicklung von Unterricht. *Beiträge zur Lehrerbildung*, 27-3, S. 404–414. DOI: 10.25656/01:13710, zuletzt abgerufen am 06.06.2024.
- Reinmann, G.; Mandl, H. (2006): Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. In: Krapp, A. (Hrsg.): *Pädagogische Psychologie*. Weinheim: Beltz. S. 613-658.
- Riemeier, T. (2007): Moderater Konstruktivismus. In: Krüger, D. und Vogt, H. (Hrsg.): *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden*. Berlin Heidelberg: Springer Verlag. S. 69-79.
- Roelle, J.; Lachner, A.; Heitmann, S. (2023): *Lernen. Theorien und Techniken*. Reihe: Psychologie für Lehramtsstudierende. Stuttgart: utb.
- Ronfard, S.; Brown, S.; Doncaster, E.; Kelemen, D. (2021): Inhibiting intuition: Scaffolding children's theory construction about species evolution in the face of competing explanations. *Cognition*, 211, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0010027721000548>, zuletzt abgerufen am 24.03.2024.
- Ronfard, S.; Brown, S. A.; Pitt, E.; Kelemen, D. (2023): Is book reading always best? Children learn and transfer complex scientific explanations from books or animations. *Evolution: Education and Outreach*, 16-8. <https://evolution-outreach.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12052-023-00189-3>, zuletzt abgerufen am 06.06.2024.

- Roth, J. (2017): Erhebung von Lernprozessen zum Thema Evolution in computerbasierten Lernarrangements bei Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I: qualitative Studie nach dem Modell der fachdidaktischen Entwicklungsforschung. Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen.
- Saari, H.; Viiri, J. (2003): A research-based teaching sequence for teaching the concept of modelling to seventh-grade students. *International Journal of Science Education*, 25-11, P. 1333–1352.
- Samarapungavan, A.; Wiers, R.W. (1997): Children's Thoughts on the Origin of Species: A Study of Explanatory Coherence. *Cognitive Science*, 21-2, P. 147-177.
- Schlüter, K. (2023): Vielfalt und Funktion von Unterrichtsmedien. In: Gropengießer, H.; Harms, U. (Hrsg.): *Fachdidaktik Biologie*, S. 338-343. Hannover: Aulis.
- Schmidt, E.; Roth, J.; Beniermann, A.; Greiten, K.; Graf, D. (2017): Fang den Frosch – Ein Spiel zur evolutionären Anpassung. *Sachunterricht Weltwissen „Evolution“*, 2017-1, S. 30-35.
- Schnotz, W. (2006): *Pädagogische Psychologie. Workbook*. Weinheim: Beltz.
- Smith, M. U. (2010): Current Status of Research in Teaching and Learning Evolution: II. Pedagogical Issues. *Science and Education*, 19, P. 539-571.
- Sommer, A.-K. (2017): Selektionsprozesse in der Biologie – Entwicklung eines Simulationsspiels für die Sekundarstufe I. *Wiss. Hausarbeit im Rahmen der Ersten Staatsprüfung für das Lehramt an Gymnasien*. Gießen (unveröffentlicht).
- Sommer, A.-K.; Graf, D. (2024): Simulationen zur Evolution im Biologieunterricht – ein historischer Rückblick. In: Porges, K.; Pittelkow, J.; Hoßfeld, U. (Hrsg.): *Deutsche Gesellschaft für Geschichte und Theorie der Biologie: Biologie im Zeitalter der digitalen (R)Evolution. Beiträge zur 29. Jahrestagung der DGGTB. Verhandlungen zur Geschichte und Theorie der Biologie*, Bd. 25, Arnstadt: THK, S. 57-77.
- Stebbins, R. C.; Allen, B. (1975): Simulation Evolution. *The American Biology Teacher*, 37, P. 206-211.
- Stebbins, R. C.; Allen, B. (1979): Schulversuche zur Evolution - Simulation der natürlichen Auslese. *MNU*, 32, S. 37-44.
- Stover, S. K.; Mabry, M. L. (2007): Influences of Teleological and Lamarckian Thinking on Student Understanding of Natural Selection. *Bioscene*, 33-1, P. 11–18.
- Strike, K. A.; Posner, G. J. (1992): A Revisionist Theory of Conceptual Change. In: Duschl, R.; Hamilton, R. (Hrsg.): *Philosophy of Science, Cognitive Psychology and Educational Theory and Practice*. New York: New York University Press, P. 147-176.

- Terhart, E. (1999): Konstruktivismus und Unterricht. Gibt es einen neuen Ansatz in der Allgemeinen Didaktik? *Zeitschrift für Pädagogik*, 45, S. 629-647.
- Tramowsky, N. (2024): Das Potential von Spielen im Unterricht zur Evolutionsbiologie. In: Gemballa, S.; Kattmann, U. (Hrsg.): *Didaktik der Evolutionsbiologie. Zwischen Fachkonzepten und Alltagsvorstellungen vermitteln*. Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-69030-7>, zuletzt abgerufen am 04.11.2024.
- Trier, U.; Meister, J.; Upmeyer zu Belzen, A. (2021): Verstehen mit Modellen. Originale – Theorien – Modellierungen. Buch für Lernende der Sekundarstufe I. In: Kattmann, U. (Hrsg.): *Neue Wege in die Biologie*. Hannover: Friedrich.
- Vollmer, G. (2017): *Im Lichte der Evolution. Darwin in Wissenschaft und Philosophie*. Stuttgart: Hirzel.
- Wallin, A. (2011): Zu einer inhaltsorientierten Theorie des Lernens und Lehrens der biologischen Evolution. In: Graf, D. (Hrsg.): *Evolutionstheorie – Akzeptanz und Vermittlung im europäischen Vergleich*. (S. 119–139). Berlin & Heidelberg: Springer.
- Weinert, F. E. (2001): *Leistungsmessung in Schulen*. Weinheim: Beltz.
- Weitzel, H. (2006) *Biologie verstehen: Vorstellungen zu Anpassung. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion, Band 15*, Oldenburg: Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Didaktisches Zentrum.
- Weitzel, H.; Gropengießer, H. (2009): Vorstellungsentwicklung zur stammesgeschichtlichen Anpassung: Wie man Lernhindernisse verstehen und förderliche Lernangebote machen kann. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 15, S. 287-305.
- Weitzel, H. (2012): Wie kann Unterricht Vorstellungsänderungen bewirken? In: Spörhase-Eichmann, U. (Hrsg.): *Biologiedidaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II*. 5., überarbeitete Neuauflage, Berlin: Cornelson. S. 82-93.
- Weitzel, H. (2024): Angepasstheit und Unangepasstes, auf dem Wege zur Angepasstheit. In: Gemballa, S.; Kattmann, U. (Hrsg.): *Didaktik der Evolutionsbiologie. Zwischen Fachkonzepten und Alltagsvorstellungen vermitteln*. Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-69030-7>, zuletzt abgerufen am 04.11.2024.
- Westerling, K. (1992): Origami Bird. <https://web.archive.org/web/20120119180804/http://www.indiana.edu/~ensiweb/lessons/origami.html>, zuletzt abgerufen am 31.05.2024.
- Whitworth, K.; Leupen, S.; Rakes, C.; Bustos, M. (2018): Interactive computer simulations as pedagogical tools in Biology Labs. *CBE – Life Sciences Education*, 17-3. <https://doi.org/10.1187/cbe.17-09-0208>, zuletzt abgerufen am 06.03.2024.

- Wolf, N. (2013): Subjektive Theorien zum Lerngegenstand „Nachhaltigkeit“ – Bedingungen und Möglichkeiten zur Förderung eines nachhaltigen Handelns im Biologieunterricht. Dissertation, Technische Universität Dortmund.
- Yamanoi, T.; Iwasaki, W. M. (2015): Origami Bird Simulator: A Teaching Resource Linking Natural Selection and Speciation. *Evolution: Education and Outreach*, 8-14. <https://doi.org/10.1186/s12052-015-0043-6>, zuletzt abgerufen am 06.03.2024.
- Zabel, J. (2020): Vorstellung und Theorie. In: Reinisch, B.; Helbig, K.; Krüger, D. (Hrsg.): *Biologiedidaktische Vorstellungsforschung: Zukunftsweisende Praxis*. S. 27-42. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-61342-9>, zuletzt abgerufen am 08.03.2024.
- Zabel, J.; Bergmann-Gering, A. (2023): Erkenntnistheorie und Lernen. In: Gropengießer, H.; Harms, U. (Hrsg.): *Fachdidaktik Biologie*, S. 442-451. Hannover: Aulis.
- Zrzavý, J.; Burda, H.; Storch, D.; Begall, S.; Mihulka, S. (2013): *Evolution. Ein Lese-Lehrbuch*. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.

11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gesamtdarstellung des Aufbaus der Arbeit.....	9
Abbildung 2: Modell zur didaktischen Strukturierung (verändert nach Kattmann et al. 1997).....	14
Abbildung 3: Zyklus der Fachdidaktischen Entwicklungsforschung im Dortmunder Modell (verändert nach Prediger et al 2012).....	16
Abbildung 4: Darstellung der Ursachen- und Wirkungszusammenhänge evolutionärer Angepasstheit (nach Sommer & Graf 2024).	22
Abbildung 5: Strukturierung der Untersuchung in den Erprobungszyklen I-III und Weiterentwicklung des Unterrichtsarrangements.....	36
Abbildung 6: Materialien der Schnabelvariante „flach“.	43
Abbildung 7: Aufbau der Simulation im Klassenraum.	44
Abbildung 8: Ausschnitt aus der Powerpoint-Präsentation „Entwicklung der Kernbeißer“. Gezeigt werden individuelle Unterschiede im äußeren Erscheinungsbild der Kernbeißer (KI Midjourney, eigene Bearbeitung).	47
Abbildung 9: Unterrichtsprotokoll zur Simulation „Nahrungstransport der Kernbeißer“. .	48
Abbildung 10: Simulationsfeld „Entwicklung der Alpenruspen“.	54
Abbildung 11: Vorsortierte Blütenvarianten	54
Abbildung 12: Ereignisblatt der Wetterseite.	55
Abbildung 13: Ereignisblatt der Trockenseite.....	55
Abbildung 14: Drehscheibe zur zufälligen Ermittlung einer Blütenvariante.....	57
Abbildung 15: Abbildung aus der Powerpoint-Präsentation, welche unterschiedliche Umweltverhältnisse im Gebirge zeigt.	58
Abbildung 16: Ablaufschema zur Simulation „Entwicklung der Alpenruspen“.....	59
Abbildung 17: Unterrichtsbegleitendes Protokoll zur Simulation "Entwicklung der Alpenruspen“.	60
Abbildung 18: Beidseitiges Unterrichtsprotokoll zur Simulation „Isolation der Kernbeißer“.	67
Abbildung 19: Schematische Darstellung der Simulation „Isolation der Kernbeißer.....	67
Abbildung 20: Darstellung der Strukturierung der Erprobungszyklen I-III.....	74
Abbildung 21: Neu eingefügtes Szenario „Kernbeißer“ im Fragebogen des Erprobungszyklus III.	76
Abbildung 22: Schematische Darstellung der Struktur des Interviewleitfadens.	77
Abbildung 23: Venusfliegenfalle (Aufnahme: Dittmar Graf).	78
Abbildung 24: Ausschnitt aus dem Interviewleitfaden zum Szenario Kernbeißer.	80

Abbildung 25: Schüleraussagen der prominenten Kategorien aus der Ordnungskategorie „Entwicklung von Populationen“ jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz der drei Erprobungsdurchgänge.	102
Abbildung 26: Darstellung der vor- und nachunterrichtlichen Vorstellungen aus dem Fragebogen der ersten Datenerhebung.	109
Abbildung 27: Darstellung der vor- und nachunterrichtlichen Vorstellungen aus dem Fragebogen der zweiten Datenerhebung.	121
Abbildung 28: Darstellung der vor- und nachunterrichtlichen Vorstellungen aus dem Fragebogen der dritten Datenerhebung.	134
Abbildung 29: Darstellung der vor- und nachunterrichtlichen Vorstellungen zur Entwicklung getrennter Teilpopulationen im Fragebogen der Erprobungen I-III.....	158
Abbildung 30: Zeitliche Strukturierung des Unterrichtsarrangements in den Erprobungen I-III und Empfehlung für zukünftige Durchführungen.....	158
Abbildung 31: Frauen (KI Midjourney, eigene Bearbeitung).	164
Abbildung 32: Aufbau der Simulation im Klassenraum.	169
Abbildung 33: Simulationsablauf.....	169
Abbildung 34: Optimiertes Unterrichtsprotokoll zur Simulation „Nahrungstransport der Kernbeißer“.	170
Abbildung 35: Optimiertes Simulationsfeld „Entwicklung der Alpenruspen“ auf der Trockenseite.....	172
Abbildung 36: Ausschnitt der Ereigniskarten der Trockenseite.....	173
Abbildung 37: Optimiertes Simulationsfeld „Entwicklung der Alpenruspen“ auf der Wetterseite.....	173
Abbildung 38: Ausschnitt der Ereigniskarten der Wetterseite.	174
Abbildung 39: Optimiertes Ablaufschema zur Simulation „Entwicklung der Alpenruspen“.	175
Abbildung 40: Sortierbox mit Würfel, Mutationssäckchen und den vier Blütenvarianten: weiß glitzernd - duftend (oben links), weiß - ohne Duft (unten links), pink glitzernd - duftend (oben rechts), pink - ohne Duft (unten rechts).	175
Abbildung 41: Optimiertes Unterrichtsprotokoll zur Simulation „Entwicklung der Alpenruspen“.	178

12 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beispiel für einen protokollierten Ablauf der Simulation „Nahrungstransport der Kernbeißer“. Je zwei Schüler starten in Generation 1 mit der Schnabelform „spitz“ und der Schnabelform „rund“. Ein „+“ vor der Zahl zeigt die zufällig gezogene Variation an.....	50
Tabelle 2: Übersicht über Phasen, Zeit und inhaltliche Schwerpunkte zur Unterrichtsdoppelstunde „Nahrungstransport der Kernbeißer“.....	51
Tabelle 3: Protokollbogen zur Simulation „Entwicklung der Alpenruspen“ mit den vier Blütenvarianten weiß, wenig Duft (-); weiß, starker Duft (+); pink, wenig Duft (-); pink, starker Duft (+) (erste Zeile gelesen von links nach rechts).....	56
Tabelle 4: Übersicht über Phasen, Zeit und inhaltliche Schwerpunkte zur Unterrichtsdoppelstunde „Entwicklung der Alpenruspen“.....	62
Tabelle 5: Übersicht über Phasen, Zeit und inhaltliche Schwerpunkte zur Unterrichtsdoppelstunde „Isolation der Kernbeißer“.....	69
Tabelle 6: Notationsregeln.....	82
Tabelle 7: Ordnungskategorien und Kategorien im Überblick.	85
Tabelle 8: Anzahl der codierten Schülervorstellungen der Kategorie „Nichtwissen“ in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.	94
Tabelle 9: Anzahl der codierten Schülervorstellungen der Kategorie „Vergleich mit Bekanntem“ in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.	95
Tabelle 10: Anzahl der codierten Schülervorstellungen der Kategorie „Hybridisierung“ in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.	95
Tabelle 11: Anzahl der codierten Schülervorstellungen der Kategorie „Mutation der Nachkommen“ in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.	96
Tabelle 12: Anzahl der codierten Schülervorstellungen der Kategorie „Automatismus“ in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.	97
Tabelle 13: Anzahl der codierten Schülervorstellungen der Kategorie „Natur“ in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.	97
Tabelle 14: Anzahl der codierten Schülervorstellungen der Kategorie „Umwelt“ in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.	98
Tabelle 15: Anzahl der codierten Schülervorstellungen der Kategorie „Notwendigkeit“ in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.	98
Tabelle 16: Anzahl der codierten Schülervorstellungen der Kategorie „Fortpflanzung“ in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.	99

Tabelle 17: Anzahl der codierten Schülervorstellungen der Kategorie „Variation der Nachkommen“ in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.	100
Tabelle 18: Anzahl der codierten Schülervorstellungen der Kategorie „Vererbung von Merkmalen“ in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.	100
Tabelle 19: Anzahl der codierten Schülervorstellungen der Kategorie „Überleben der besser Angepassten“ in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.	101
Tabelle 20: Anzahl der codierten Schülervorstellungen der Kategorie „Differenziertheit“ in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.	103
Tabelle 21: Anzahl der codierten Schülervorstellungen der Kategorie „Differenziertheit, gleiche Art“ in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.	103
Tabelle 22: Anzahl der codierten Schülervorstellungen der Kategorie „Größenänderung“ in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.	104
Tabelle 23: Anzahl der codierten Schülervorstellungen der Kategorie „Selbstständige Anpassung“ in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.	105
Tabelle 24: Anzahl der codierten Schülervorstellungen der Kategorie „Entwicklung Individuum, Überlebensvorteil (und Fortpflanzung)“ in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.	105
Tabelle 25: Anzahl der codierten Schülervorstellungen der Kategorie „Anthropomorphismus“ in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.	106
Tabelle 26: Anzahl der codierten Schüleraussagen zu finalistischen (Teil-)Vorstellungen in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.	107
Tabelle 27: Anzahl der codierten Schüleraussagen zu wissenschaftlichen (Teil-)Vorstellungen in den drei Erprobungsdurchläufen jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.	107
Tabelle 28: Ablauf des ersten Erprobungszyklus.	109
Tabelle 29: Übersicht der kategorisierten Vorstellungen von Schülerin 1 jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.	111
Tabelle 30: Übersicht der kategorisierten Vorstellungen von Schülerin 2 jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.	113
Tabelle 31: Übersicht der kategorisierten Vorstellungen von Schüler 3 jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.	115
Tabelle 32: Übersicht der kategorisierten Vorstellungen von Schülerin 4 jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.	117

Tabelle 33: Übersicht der kategorisierten Vorstellungen von Schüler 5 jeweils vor und der Unterrichtssequenz.	118
Tabelle 34: Ablauf des zweiten Erprobungszyklus.	122
Tabelle 35: Übersicht der kategorisierten Vorstellungen von Schüler 6 jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.....	124
Tabelle 36: Übersicht der kategorisierten Vorstellungen von Schülerin 7 jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.....	126
Tabelle 37: Übersicht der kategorisierten Vorstellungen von Schülerin 8 jeweils vor und der Unterrichtssequenz.	128
Tabelle 38: Übersicht der kategorisierten Vorstellungen von Schüler 9 jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.....	129
Tabelle 39: Übersicht der kategorisierten Vorstellungen von Schülerin 10 jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.....	131
Tabelle 40: Ablauf des dritten Erprobungszyklus.	135
Tabelle 41: Übersicht der kategorisierten Vorstellungen von Schülerin 11 jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.....	137
Tabelle 42: Übersicht der kategorisierten Vorstellungen von Schüler 12 jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.....	139
Tabelle 43: Übersicht der kategorisierten Vorstellungen von Schüler 13 jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.....	141
Tabelle 44: Übersicht der kategorisierten Vorstellungen von Schülerin 14 jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.....	143
Tabelle 45: Übersicht der kategorisierten Vorstellungen von Schülerin 15 jeweils vor und nach der Unterrichtssequenz.....	144
Tabelle 46: Darstellung der geäußerten Vorstellungskategorien zur Angepasstheit im Szenario „Venusfliegenfallen“ vor der Intervention. Farblich markiert sind die Kategorien, in denen sich die meisten Lernenden geäußert haben.	147
Tabelle 47: Darstellung der geäußerten Vorstellungskategorien zur Angepasstheit im Szenario „Bänderschnecken“ vor der Intervention. Farblich markiert sind die Kategorien, in denen sich die meisten Lernenden geäußert haben.	148
Tabelle 48: Darstellung der geäußerten Vorstellungskategorien zur Angepasstheit im Szenario „Venusfliegenfallen“ nach der Intervention. Farblich markiert sind die Kategorien, in denen sich die meisten Lernenden geäußert haben. Eine grüne Hinterlegung drückt wissenschaftliche (Teil-)Vorstellungen aus..	150
Tabelle 49: Darstellung der geäußerten Vorstellungskategorien zur Angepasstheit im Szenario „Bänderschnecken“ nach der Intervention. Farblich markiert sind die Kategorien, in denen sich die meisten Lernenden geäußert haben. Eine grüne Hinterlegung drückt wissenschaftliche (Teil-)Vorstellungen aus.....	151

Tabelle 50: Darstellung der geäußerten Vorstellungskategorien zur Artbildung vor der Intervention unterteilt in das botanische Szenario und die zoologischen Szenarien. Farblich markiert sind die Kategorien, in denen sich die meisten Lernenden geäußert haben..	152
Tabelle 41: Darstellung der geäußerten Vorstellungskategorien zur Artbildung nach der Intervention unterteilt in das botanische Szenario und die zoologischen Szenarien. Farblich markiert ist die Kategorie, in der sich die meisten Lernenden geäußert haben.....	155
Tabelle 52: Beispielhafter Protokollbogen erstellt nach Graf & Schmidt-Salomon (2017).....	164
Tabelle 53: Übersicht über Phasen, Zeit und inhaltliche Schwerpunkte zur Unterrichtsdoppelstunde „Kugelhausschnecke“.....	166
Tabelle 54: Beispielhaft protokollierter Ablauf zur optimierten Simulationsdurchführung „Nahrungstransport der Kernbeißer“. Je zwei Schüler starten in Generation 1 mit der Schnabelform „spitz“ und der Schnabelform „flach“. Ein „+“ vor der Zahl zeigt die zufällig gezogene Variation an.....	171

Anhang

Die Anhänge (Simulationsmaterial & tabellarische Darstellung der erhobenen Daten) befinden sich unter folgender DOI:

<https://doi.org/10.22029/jlupub-18621>

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbstständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Ich stimme einer evtl. Überprüfung meiner Dissertation durch eine Antiplagiat-Software zu. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.

Datum, Ort

Unterschrift