

Selektion und Evolution: Ein Schülersimulationsexperiment zur selektiven Wirkung der Räuber-Beute-Beziehung

Cornelia Stiller^{1,*}, Holger Bekel-Kastrup² & Andreas Stockey²

¹ Universität Bielefeld

² Oberstufen-Kolleg an der Universität Bielefeld

* Kontakt: Universität Bielefeld,
Fakultät für Biologie / Biologiedidaktik,
Universitätsstr. 25, 33615 Bielefeld
cornelia.stiller@uni-bielefeld.de

Zusammenfassung: In dieser Unterrichtseinheit wird am Beispiel des Birken-spanners das Phänomen der gerichteten Selektion erarbeitet und mit einem Selektions-Simulations-Experiment veranschaulicht. Dabei erfolgt eine Verknüpfung der genetischen (Vererbbarkeit und Variabilität von Merkmalen), ökologischen (Räuber-Beute-Beziehung und negative Rückkoppelung in Ökosystemen) und evolutiven (Selektion und Anpassung) Aspekte des Phänomens. Auf der methodischen Ebene ermöglicht dieses Simulationsexperiment die Anwendung aller in den vorherigen Experimenten erlernten Kompetenzen.

Schlagwörter: Experimentieren, Unterrichtskonzept, Evolution, Simulationsexperimente, Scientific Inquiry



1 Einleitung

Evolution sollte ein essentieller Bestandteil des Biologieunterrichts sein (Graf, 2009; Sommer, 2011; Wallin, 2011). In Lehrplänen für die Eingangsphase (MSW NRW, 2013) wird auf ein Verständnis von evolutionären Zusammenhängen im Biologieunterricht ein Schwerpunkt gelegt. Kaum eine andere Theorie eignet sich so gut wie die Evolutionstheorie, biologischen Inhalten einen gemeinsamen übergeordneten Rahmen zu geben, und ermöglicht erst so ein grundlegendes Verständnis der Biologie (Kattmann, 1995; Sommer, 2011; Wallin, 2011) und eine gesellschaftliche Teilhabe (Kattmann, 1995) im Sinne einer wissenschaftspropädeutischen Grundeinstellung (Graf, 2009). Für das Welt- und Selbstverständnis des Menschen ist die Evolutionstheorie von zentraler Bedeutung (Harlen, 2010), sodass sie in einem Curriculum, das eine naturwissenschaftliche Grundbildung anstrebt, nicht fehlen sollte.

2 Evolutionstheorie im Unterricht

Die Evolutionstheorie, als eine der bedeutendsten biologischen Theorien, befasst sich mit der evolutiven Entwicklung von Arten. Charles Darwin dokumentierte nach jahrzehntelanger Auswertung, dass eine große Variationsbreite innerhalb einer Art vorliegt und mehr Nachkommen produziert werden, als überleben und sich fortpflanzen können. Das Überleben einzelner Individuen ist nicht ausschließlich zufällig, sondern hängt grundlegend von den ererbten Merkmalen ab (Campbell & Reece, 2009). Dabei haben Individuen, die vorteilhafte ererbte Merkmale besitzen, eine höhere Wahrscheinlichkeit, sich erfolgreich fortzupflanzen, als Individuen, die diese für die jeweiligen Umweltbedingungen vorteilhaften Merkmale nicht aufweisen. Darwin erkannte die Verbindung zwischen der natürlichen Selektion und der Fähigkeit von Organismen, eine Überproduktion an Nachkommen zu erzeugen (Campbell & Reece, 2009). Es gibt demnach einen Wettbewerb um Ressourcen, bei dem diejenigen erfolgreich sind, die am besten an die jeweiligen Umweltbedingungen angepasst sind, wodurch es allmählich über viele Generationen durch Selektion zu einer veränderten Zusammensetzung von Populationen und damit langfristig zu evolutiver Veränderung von Arten kommt (Munk, 2000). Darüber hinaus stellen Unterschiede im Fortpflanzungserfolg eine hinreichende Voraussetzung für eine Selektion dar, die langfristig über viele Generationen zu einem absoluten Wandel in der Populationszusammensetzung führt. Darwins Evolutionstheorie wurde durch weitere Forschung gefestigt und spezifiziert. Mit dem Neodarwinismus wurden Mutation und Rekombination als Ursache für Variation erkannt (Munk, 2000). Der synthetischen Evolutionstheorie liegt die Annahme zugrunde, dass die Variationsbreite innerhalb von Populationen eine Anpassung an die jeweilige Umwelt darstellt (Munk, 2000). Evolution kann demnach als ein Zusammenwirken von Variation, Überproduktion und Selektion in einer sich ändernden Umwelt gesehen werden, in dessen Folge über einen langen Zeitraum eine Anpassung von Lebewesen an die Umwelt resultiert (Bayrhuber, Kull & Linder, 2005; Erdmann, 2010).

2.1 Grundbegriffe der Evolutionstheorie

Aus evolutiver Perspektive wird ein populationsgenetischer bzw. biologischer Artbegriff zugrunde gelegt (Bayrhuber et al., 2005; Campbell & Reece, 2009), der eine Population als die Gesamtheit aller Individuen einer Art beschreibt, die zur gleichen Zeit leben und eine Fortpflanzungsgemeinschaft darstellen (Bayrhuber, et al., 2005; Erdmann, 2010). Eine Art ist dadurch gekennzeichnet, dass deren Individuen sich ausschließlich miteinander fortpflanzen können und darüber hinaus durch Fortpflanzungsschranken von Populationen anderer Arten getrennt sind (Zrzavý, Burda, Storch, Begall & Mihulka, 2013).

Nur wenn in einer Population verschiedene Ausprägungen eines Merkmals vorhanden sind (Variation), ist Evolution möglich. Jedes Individuum einer Population hat einen spezifischen Genotyp, der sich in bestimmten sichtbaren Merkmalen und Eigenschaften des Individuums über den Phänotyp zeigt, z.B. charakteristische morphologische Merkmale wie Aussehen und Körpergröße (Campbell & Reece, 2009). Zu phänotypischen Unterschieden zählen nicht nur morphologische, anatomische oder verhaltensbiologische Unterschiede, sondern auch Unterschiede in Merkmalen auf molekularem Niveau, wie z.B. in der Blutgruppe (Campbell & Reece, 2009). Für die Vererbung relevant sind phänotypische Merkmale, die einen genetischen Hintergrund haben. Genetische Variation entsteht im Wesentlichen durch Rekombination und Mutation. Dabei beruht der größte Teil der genetischen Variabilität bei Arten, die sich sexuell fortpflanzen, auf der individuellen Neukombination von Allelen (Rekombination), bei der so nach dem Zufallsprinzip „individuen-spezifische neue Genotypen“ entstehen (Campbell & Reece, 2009, S. 632). Im Gegensatz dazu sind Mutationen selten auftretende, zufällige Veränderungen von DNA-Abschnitten, die spontan oder durch Mutagene wie z.B. Röntgenstrahlen entstehen können (Campbell & Reece, 2009; Erdmann, 2010). Für evolutive Prozesse direkt relevant sind Mutationen, die in den Keimzellen stattfinden, während somatische Mutationen in der Evolution nicht direkt wirksam werden, da diese nicht an die folgende Generation weitergegeben werden können, sondern nur indirekt über eine reduzierte Fortpflanzungsrate wirksam werden können. Verschiedene Varianten eines Merkmals führen dazu, dass es zwischen einzelnen Individuen Unterschiede gibt, wie gut sie jeweils an die bestehenden Umweltbedingungen angepasst sind und damit auch wie gut sie sich fortpflanzen und überleben können. Dieses führt dazu, dass die Allelfrequenz für die vorteilhaften Merkmale in den nächsten Generationen zunimmt.

Als Selektionsfaktoren können biotische (z.B. innerartliche und zwischenartliche Konkurrenz) und abiotische (z.B. Temperatur, Feuchtigkeit) Umweltfaktoren wirksam werden. Die gerichtete Selektion ist eine Form der Selektion (Campbell & Reece, 2009; Erdmann, 2010). Ursache für eine gerichtete Selektion sind häufig Umweltveränderungen oder die Besiedlung eines neuen Lebensraumes, die dazu führen, dass die Individuen einen Vorteil haben, die vom Durchschnitt abweichen und dadurch unter den veränderten Umweltbedingungen einen Vorteil aufweisen. Als Folge davon haben diese Individuen eine höhere Überlebens- und Fortpflanzungswahrscheinlichkeit, und es kommt zu einer Häufigkeitsveränderung des Merkmals innerhalb der Population, die langfristig zu evolutionem Wandel führt. Ein Beispiel für eine gerichtete Selektion stellen die körnerfressenden Finken auf den Galapagos-Inseln dar (Erdmann, 2010). Aufgrund einer Dürre im Jahre 1977 und des damit verbundenen geänderten Nahrungsangebots zeigte sich innerhalb einer Generation eine messbare Veränderung des Phänotyps. Im Vergleich zu den Generationen davor wiesen im Mittel die Finken dickere Schnäbel auf, mit denen sie in der Lage waren, auch größere und härtere Pflanzensamen zu knacken.

2.2 Industriemelanismus

Anhand des Phänomens des Industriemelanismus lassen sich Variation und Selektion im Unterricht gut illustrieren. In der Mitte des 19. Jahrhunderts konnte an zahlreichen Nachtfalterarten im Zuge der Industrialisierung und damit zusammenhängend einer Zunahme der Luftverschmutzung ein Wechsel in der Verbreitung von hellen zu dunklen Färbungen beobachtet werden (Kutschera, 2006). Dieses Phänomen wurde als „Industriemelanismus“ bezeichnet und beschreibt eine „rasche genetisch verankerte Anpassung einer Tierart an veränderte Umweltbedingungen unter Wechsel der Körperpigmentierung“ (Kutschera, 2006, S. 214ff.). Durch die Industrialisierung zu Beginn des 19. Jahrhunderts und die damit einhergehende Luftverschmutzung kam es zu einem Rückgang des Flechtenbewuchses an den Bäumen, während Rußablagerungen zunahm (Lunau, 2002). Dieses führte dazu, dass helle Nachtfalter auf den mittlerweile durch Ruß ge-

schwärzten Bäumen für ihre Fressfeinde nicht mehr so gut getarnt waren wie die dunkleren Varianten derselben Art. Die hellen Morphen hatten demnach einen Selektionsnachteil, und in den Folgegenerationen nahm der Anteil an hellen Morphen ab und der der dunkleren Morphen zu. Seit Mitte des 20. Jahrhunderts ist aufgrund der abnehmenden Schadstoffbelastung wieder eine Zunahme der helleren Varianten zu beobachten (Lunau, 2002). Dieses Phänomen des Industriemelanismus gilt als klassisches Beispiel für „Evolution in Aktion“ (Lunau, 2002), bei der die Entstehung neuer Merkmale zwar keine Rolle spielt, aber verdeutlicht werden kann, wie sich die Häufigkeit zweier Morphen durch drastisch veränderte Umweltbedingungen ändern kann (Lunau, 2002). Damit können zwei der wesentlich wirksamen Evolutionsprinzipien, Variation und Selektion, an einem Beispiel verdeutlicht werden.

Konkret lässt sich der Industriemelanismus an den Untersuchungen am Birkenspanner (*Biston bitularia*) von Kettlewell Ende der 1950er-Jahre (Majerus, 1998) illustrieren (Erdmann, 2010; Kutschera, 2006; Lunau, 2002). *Biston bitularia* kommt in zwei Morphen vor: in der hellen Variante als *Biston bitularia typica* und in der dunklen als *Biston bitularia carbonaria* (vgl. Abb. 1 auf der folgenden Seite). Die Individuen sind nachtaktiv, und tagsüber findet man sie regungslos an Baumstämmen. Birkenspanner sind Nahrung für viele verschiedene Vogelarten. Kettlewell setzte im Jahre 1955 markierte Individuen beider Varianten zu gleichen Anteilen in Wäldern von Industriegebieten in der Nähe von Birmingham und in einem ländlichen Gebiet bei Dorset aus und fing diese wieder ein (Majerus, 2009). Je nach Aussetzungsgebiet unterschieden sich die Wiederfangquoten der hellen und dunklen Falter (vgl. Tab. 1). In dem ländlichen Gebiet um Dorset konnten mehr helle als dunkle Falter wiedergefangen werden, während es in den industriellen Gebieten um Birmingham umgekehrt war. Die Befunde der Untersuchung deuten darauf hin, dass diejenigen Falter eine höhere Überlebenschance hatten, die sich durch eine höhere Übereinstimmung zwischen Falteraussehen und Untergrund erfolgreicher vor Fressfeinden verbergen konnten. Das waren in den ländlichen Gebieten die hellen Falter, die auf den hellen Rinden der Bäume vor ihren Fressfeinden besser getarnt waren, und in den Industriegebieten die dunklen Falter, die auf den dort vorkommenden verrotteten Rinden besser an die Umgebung angepasst und dadurch besser vor ihren Fressfeinden geschützt waren.

Tabelle 1: Wiederfangquoten in den Experimenten von Kettlewell (Daten übernommen aus Majerus, 2009, S. 65)

Aussetzungsgebiet	Wiederfangquote	
	<i>Biston bitularia typica</i>	<i>Biston bitularia carbonaria</i>
Birmingham (Industriegebiet)	25,0 %	52,3 %
Dorset (ländlich)	12,5 %	6,3 %

Die Experimente von Kettlewell und insbesondere die vereinfachte Darstellung in klassischen Schulbüchern haben sich in den letzten Jahren häufig Kritik unterziehen müssen und wurden deshalb als für den Unterricht weniger geeignet eingeschätzt (Majerus, 2009; Rudge, 2000). Majerus (2009) kommt dennoch zu dem Schluss, dass das Beispiel des Industriemelanismus beim Birkenspanner geeignet ist, um im Rahmen des Unterrichts zum Thema Evolution behandelt zu werden, da es für Schüler*innen einfach zu verstehen und nachzuvollziehen ist. Dadurch stellt es eine gute Möglichkeit dar, um Schüler*innen in das Konzept der natürlichen Selektion einzuführen (Rudge, 2000). Darüber hinaus eignet es sich hervorragend, gerade durch die Probleme, die mit dem Experiment von Kettlewell verbunden sind (vgl. z.B. Majerus, 2009, S. 116ff.; Rudge, 2000), um das wissenschaftliche Vorgehen in den Naturwissenschaften nachvollziehbar darzustellen

und zu einem Verständnis der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung beizutragen (Majerus, 2009; Rudge, 2000).

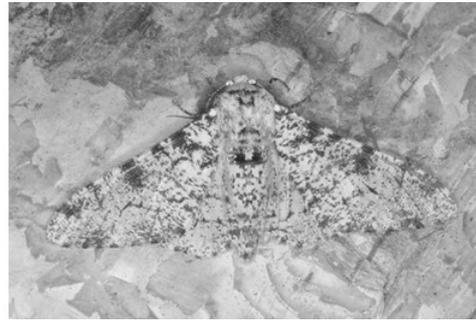


Abb. 1: (a) *Biston bitularia carbonaria*
© Norbert Grotjohann

(b) *Biston bitularia typical*

3 Das Schülereperiment und methodische Aspekte

Im Schulunterricht ist es häufig nicht möglich, bestimmte Experimente durchzuführen. Die Gründe dafür liegen in einem bei manchen Experimenten unverhältnismäßig hohen zeitlichen und apparativen Aufwand, weil an den Schulen die nötigen Voraussetzungen nicht gegeben sind, oder daran, dass Beobachtungen bzw. Experimente, z.B. aus dem Bereich der Genetik oder der Evolution, in der Regel gar nicht vorgenommen werden können (Arnold, 2000a; Treitz, 2000; Urhahne & Harms, 2006). Simulationsexperimente dahingegen stellen eine gute Möglichkeit dar, um Schüler*innen alle einzelnen Schritte der Erkenntnisgewinnung durchführen zu lassen, auch bei Experimenten, die in einer Realsituation zu teuer, zeitaufwändig, gefährlich, komplex oder langfristig sind oder bei denen die Vorgänge nicht direkt zugänglich gemacht werden können.

3.1 Experiment-Simulation zum Birkenspanner

Mit dem letzten Experiment im Kurs soll der Zielpunkt des Kurses erreicht werden, indem die Planung, Durchführung, und Dokumentation eines Experimentes vollständig selbstgesteuert erfolgen. Das beinhaltet die Formulierung einer individuellen Fragestellung und einer begründeten Hypothese, die Entwicklung und Durchführung des zur Fragestellung passenden experimentellen Designs sowie eine selbstgesteuerte Datenerhebung und Auswertung durch die Schüler*innen. Evolutionäre Phänomene im realen Unterrichtsexperiment durchzuführen, ist allerdings in der Regel nicht möglich. Um das Phänomen des Industriemelanismus für die Schüler*innen begreifbar zu machen und ihnen die Möglichkeit zu geben, die evolutionär wirksamen Selektionsmechanismen nachzuvollziehen, eignet sich eine Simulation über viele Generationen. Es gibt verschiedene Computersimulationen, die im Internet frei zugänglich sind (z.B. Lichtner, o.D.).

Computersimulationen ermöglichen die Nachbildung von Prozessen oder natürlichen Systemen mit deren bestimmenden Parametern und erlauben den Lernenden so ein gefahrloses Experimentieren und Simulieren in einer artifiziellen Lernumgebung (Urhahne & Harms, 2006). Damit können komplexe naturwissenschaftliche Zusammenhänge veranschaulicht werden, die im Unterricht sonst nicht darstellbar sind (z.B. evolutionsbiologische Mechanismen, neurophysiologische Prozesse, atomarer Teilchenzerfall) (Rottländer, 2000). Durch Manipulation eines Modells, also durch Änderung bzw. Einstellung verschiedener Parameter, haben Schüler*innen die Möglichkeit, wissenschaftliche Erkenntnisprozesse mit vergleichbar wenig Aufwand nachzuvollziehen (Reimann, 2001; Rottländer, 2000). Computersimulationen lassen sich demnach im Unterricht zwar prinzipiell einsetzen, damit Schüler*innen forschend und hypothesengeleitet naturwissenschaftliche Prinzipien und Konzepte „entdecken“ können (Ciesla, 1993; Rottländer,

2000; Urhahne & Harms, 2006). Aufgrund der didaktischen Ausrichtung im Kurs erschien allerdings der Einsatz von Computersimulationen weniger angemessen, da die Setzungen durch das Programm die gewünschten Freiheitsgrade für die Schüler*innen zu stark einschränken und die Unterrichtsziele damit nur teilweise umsetzbar sind. Computersimulationen verleiten Schüler*innen leicht dazu, ziellos verschiedene Parameter zu variieren, ohne tatsächlich vorher aufgestellte Hypothesen zu prüfen (Reimann, 2001). Außerdem sind Schüler*innen beim Arbeiten mit Computersimulationen an die im jeweiligen Programm implementierten Vorgaben und Rahmenbedingungen gebunden (Arnold, 2000b), sodass eine wirklich selbstständige Planung eines Experiments nicht möglich ist. Häufig ist auch die tabellarische und graphische Darstellung der Ergebnisse im Programm implementiert (Ciesla, 1993) und verhindert so, dass Schüler*innen selbstständig überlegen müssen, welche Form der Rohdatentabelle oder Ergebnisdarstellung angemessen ist. Dies alles sind aber ganz wesentliche Elemente, auf deren Förderung im Kurs ein großer Schwerpunkt liegt und die gerade zum Abschluss des Kurses von den Schüler*innen selbstständig geplant und ausgeführt werden sollen (Stiller, Stockey, Hahn, & Wilde, eingereicht; Stiller, Allmers, Stockey & Wilde, eingereicht; Stiller, Hahn, Stockey & Wilde, S. 5–16 in diesem Heft). Der Einsatz einer realen Experiment-Simulation eröffnet den Schüler*innen dahingegen Gestaltungsmöglichkeiten, da relevante Entscheidungen von den Schüler*innen selbstständig getroffen werden können. In einer realen selbstgestalteten Experimentiersimulation können sie selbst eine Fragestellung entwickeln, Hypothesen aufstellen, festlegen, welche Parameter, in welchen Intervallen variiert werden sollen, und entscheiden, in welcher Form die Daten aufgenommen und die Ergebnisse dargestellt werden (Stiller, Stockey et al., eingereicht).

3.2 Planung der Unterrichtseinheit

Die Unterrichtseinheit „Selektion und Evolution“ (vgl. Abb. 2 auf der folgenden Seite) ist für ca. zehn bis zwölf Unterrichtsstunden geplant. Zunächst wird der evolutionsbiologische Hintergrund des Phänomens „Industrie-Melanismus beim Birkenspanner“ als historischer Beleg für Darwins Evolutionstheorie mithilfe von klassischen Lehrbuchtexten, Schülerreferaten und einem Film (z.B. Planet Schule, o.D.) in vier bis sechs Unterrichtsstunden erarbeitet. In diesem theoretischen Teil werden die Grundprinzipien der Evolutionstheorie (Variation, Selektion, Adaptation), das Phänomen des Industriemelanismus und die Untersuchung von Kettlewell in den 1950er-Jahren (vgl. Online-Supplement, Material 1) thematisiert. Danach werden im Rahmen von zwei Unterrichtsstunden verschiedene methodische Grundformen naturwissenschaftlich-empirischen Arbeitens (Zufallsbeobachtung, systematische Erhebung im Freiland, Experiment im Labor, Modellentwicklung, Prozess-Simulation, Simulations-Experiment) thematisiert und deren Einsatzmöglichkeiten verglichen. Dieser Einschub dient dazu, grundlegende Aspekte aus der Einführung in dem Kurs wieder aufzugreifen (Stiller, Allmers, Habigsberg, Stockey & Wilde, S. 28–39 in diesem Heft) und mit den Schüler*innen auch andere methodische Grundformen des hypothetisch-deduktiven Vorgehens der Erkenntnisgewinnung zu vertiefen, die Abhängigkeit von der Zielsetzung und den gegebenen Möglichkeiten zu verdeutlichen und die Schüler*innen mit den Prinzipien von Simulationsexperimenten vertraut zu machen. Um die Schüler*innen grundsätzlich an die Methode eines Simulationsexperiments heranzuführen, wird zunächst ein Vorversuch (das „Wahrnehmungs-Simulations-Experiment“; vgl. Online-Supplement, Material 2) mit der gesamten Kursgruppe gemeinsam durchgeführt. Dieser führt zum einen praktisch in die Durchführung einer Simulation ein, und die Schüler*innen werden für mögliche Fehlerquellen sensibilisiert. Zum anderen können die Schüler*innen mit diesem Vorversuch die Abhängigkeit der Fangquote von der Sichtbarkeit der Beute nachstellen und so ein Verständnis dafür entwickeln, wie Tarnung funktioniert. Die Schüler*innen werden durch diese Vorexperimente auf die selbstständige Planung und Durchführung des Simulationsexperiments zur Räuber-Beute-Beziehung vorbereitet.

In einem anschließenden Simulationsexperiment (zwei Unterrichtsstunden) wird dann in Einzelarbeit oder in Zweiergruppen die Bedeutung unterschiedlicher Parameter für den Tarnungs-Effekt in unterschiedlichen individuellen, selbstständig ausgestalteten Untersuchungsansätzen bearbeitet. Die Untersuchung der Wirkung dieses Phänomens über viele Generationen (d.h. durch Selektion verursachte evolutive Entwicklung als Anpassung an eine sich verändernde Umwelt in einer Räuber-Beute-Beziehung) wird in einem dritten Ansatz nachgestellt und in einer Simulation experimentell überprüft. Dieses Vorgehen hat auch den Vorteil, dass die Schüler*innen eine gewisse Routine im Umgang mit den Materialien und dem Vorgehen entwickeln können. Anschließend bietet sich eine Unterrichtseinheit zu evolutiven Weltbildern an, um erkenntnistheoretische Aspekte weiter zu vertiefen.

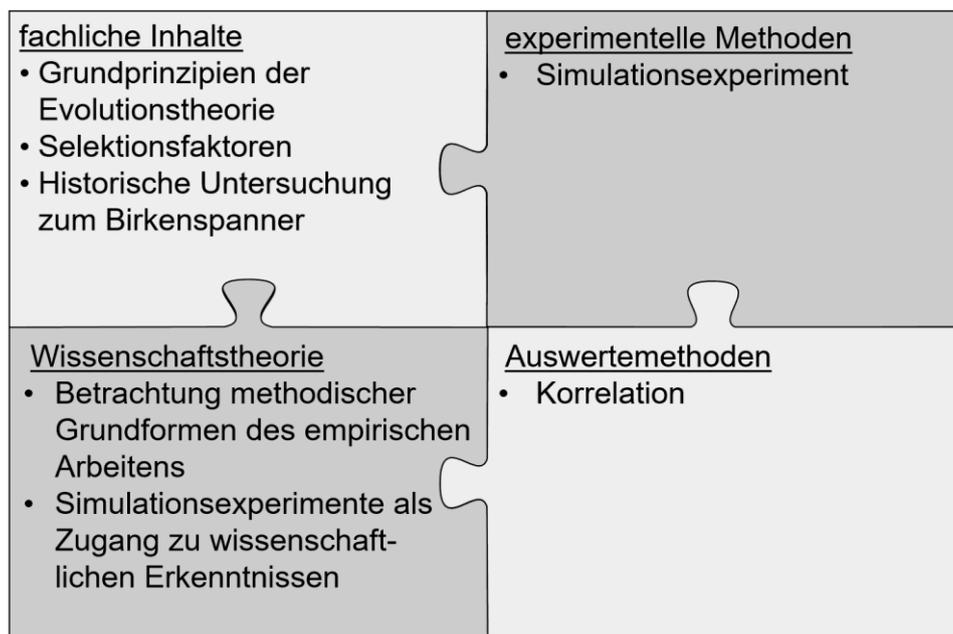


Abbildung 2: Übersicht über die fachlichen und überfachlichen Inhalte für die Unterrichtseinheit „Evolution und Selektion“ (eigene Darstellung)

3.3 Methodische Einbindung

Durch die Vorexperimente wurden die Schüler*innen auf die selbstständige Planung und Durchführung des Simulationsexperiments zur Räuber-Beute-Beziehung vorbereitend unterstützt. Das Simulationsexperiment zur Räuber-Beute-Beziehung bietet nun die Gelegenheit, dass die Schüler*innen ihr erworbenes Wissen zum Vorgehen beim Experimentieren selbstständig in allen Schritten der experimentellen Planung und Umsetzung einsetzen können. Die Schüler*innen entscheiden in diesem Experiment erstmalig selbstständig, welche Variablen sie kontrollieren, und sie legen ebenso erstmalig selbstständig fest, welche spezifische Fragestellung sie im Rahmen der übergeordneten Frage untersuchen und wie sie das Simulationsexperiment durchführen werden (vgl. Stiller, Stockey et al., eingereicht; Stiller, Hahn et al., S. 5–16 in diesem Heft). In den Experimenten der vorhergehenden Unterrichtseinheiten formulierten die Schüler*innen lediglich eine präzise Fragestellung. In dem Simulationsexperiment zur Räuber-Beute-Beziehung überlegen sie selbstständig, welche konkrete Fragestellung sie in ihrem Simulationsexperiment untersuchen wollen. Dieses Simulationsexperiment ermöglicht so eine maximale Selbststeuerung, da die Simulation durch vielfältige Ausgestaltungsmöglichkeiten die freie Gestaltung der experimentellen Rahmenbedingungen ermöglicht. Dieses Vorgehen bedeutet auch, dass eine große Variationsbreite an Fragestellungen und

Experimentierdesigns vorliegt, mit der die Lehrenden konstruktiv umgehen müssen und was von ihnen ein hohes Ausmaß an Flexibilität erfordert. Auch wenn die Schüler*innen prinzipiell in der Lage sein sollten, alle Schritte des hypothetisch-deduktiven Verfahrens alleine durchzuführen, so bleiben die Lehrenden Ansprechpartner*innen und Berater*innen für eventuell auftretende Schwierigkeiten. Die Lehrenden unterstützen dabei den Erkenntnisprozess der Schüler*innen bei Problemen, indem sie z.B. Leitfragen einsetzen, die es ermöglichen, die Schüler*innen in ihrem Erkenntnisprozess zu begleiten, ohne dabei konkrete Vorgaben zu machen. Auch die Aspekte der *Data Literacy* werden von den Schüler*innen größtenteils selbstständig vollzogen (vgl. Stiller, Allmers et al., eingereicht). Die Schüler*innen legen sich selbst eine Wertetabelle an, berechnen aus den Rohdaten angemessene Maße der zentralen Tendenz, erstellen und beschreiben Diagramme aus ihren Daten und überlegen, wie ein möglicher funktioneller Zusammenhang aussehen kann. Lediglich die Signifikanzprüfung, die erst im vorangegangenen Keimungsexperiment erstmalig eingeführt wurde, bedarf zusätzlicher Unterstützung durch die Lehrperson. Die Lehrperson nimmt allerdings auch hier eine beratende Rolle ein und versucht, in den einzelnen Experimentiergruppen mit den Schüler*innen gemeinsam zu erarbeiten, welche Signifikanzprüfung für die vorhandenen Daten eine geeignete Methode darstellt. Die Signifikanzprüfung selbst wird von den Schüler*innen selbstständig mit den eigenen Daten und anhand der aus dem vorangegangenen Experiment bekannten Vorgehensweise durchgeführt (vgl. Online-Supplement, Material 4).

3.4 Durchführung und Auswertung

Die Schüler*innen bekommen die Aufgabe, ein Simulationsexperiment zu entwickeln, mit dem die durch Selektion verursachte evolutive Entwicklung als Anpassung an eine sich verändernde Umwelt in einer Räuber-Beute-Beziehung nachgestellt und experimentell überprüft werden kann. Dazu erhalten sie von den Lehrenden eine Liste mit zur Verfügung stehenden Materialien: (a) vielfältig variiertes Papier (verschiedene Graustufen, Schwarz/Weiß-Muster, Schwarz/Weiß-Schattierungen, Schwarz/Weiß-Birkenrinden-Muster) als Material für den Hintergrund (Umwelt) und die Papier-Schmetterlinge (Beute), (b) buntes Papier für Blätter und Blüten, (c) Schmetterlings-Locher (in verschiedenen Größen), (d) Blüten- und Blatt-Locher (in verschiedenen Größen), (e) Mitschüler*innen, Freunde und Bekannte der SuS als Räuber, (f) Haftmittel für die „Räuberfang-Finger“, z.B. Vaseline, Fettsalbe, Wasser usw., (g) eine Stoppuhr zum Messen der Dauer der Fangperiode, z.B. Handy-Telefon, (h) Klebeband zum Zusammenkleben der Hintergrund-DIN-A4-Blätter und (i) Scheren (vgl. Online-Supplement, Material 3). Anschließend sollen dann in Kleingruppen mögliche Aspekte, die eine relevante Rolle in dem Evolutionsprozess spielen können, unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus dem Vorexperiment, erarbeitet und diese dann im Plenum diskutiert werden. Das Ergebnis der Diskussion könnte dann eine Liste wie in Tabelle 2 auf der folgenden Seite sein.

Anschließend beginnt die Arbeit in den Experimentiergruppen. Die Gruppen entwickeln ein Untersuchungsdesign zu einer von ihnen festgelegten Fragestellung. Anschließend stellen sich jeweils zwei bis drei Experimentiergruppen ihr Untersuchungsdesign gegenseitig vor. Durch das Feedback der anderen Schüler*innen haben die Experimentiergruppen noch einmal Gelegenheit, mögliche Fehlplanungen zu korrigieren oder Aspekte, die nicht berücksichtigt wurden, aufzunehmen. Anschließend wird das Experiment durchgeführt und von den Schüler*innen selbstständig ausgewertet. Während des gesamten Experimentierens stehen die Lehrenden den Schüler*innen als Berater*innen zur Verfügung. Die Lehrenden können dabei den Erkenntnisprozess der Schüler*innen bei Problemen z.B. durch Leitfragen unterstützen, ohne dabei den Schüler*innen ein Untersuchungsdesign oder die Auswertungsschritte vorzugeben. Ein mögliches Untersuchungsdesign ist in Abbildung 3 auf der folgenden Seite dargestellt.

Tabelle 2: Mögliche Merkmalsbereiche und deren Ausprägungen, die im Experiment untersucht werden können (eigene Darstellung)

Merkmalsbereich	Ausprägungen
Beute-Merkmale (Individuen)	Größe, Farbe
Beute-Merkmale (Population)	Variabilität, quantitative Zusammensetzung der Ausgangspopulation, Populationsdichte, Populationswachstum (ohne?, Faktor?)
Hintergrund (Umweltmerkmale)	Farbe, Struktur, Irritation durch weitere Objekte (z.B. Blätter, Blüten)
Räuber-Merkmale	Trainings-Effekt, Sehfähigkeit, Suchdauer, Rot-Grün-Farbblindheit
Regeln für die Beute-Fang-Periode	Maximale Fangdauer, Anzahl der zu fangenden Objekte, wie soll gefangen werden (z.B. mit Fingern ohne Hilfsmittel, mit Klebefinger (Fettsalbe), mit Pinzette)?

Fragestellung: Wie ändert sich die Anzahl verschiedener Farbvarianten über mehrere Generationen?

Hypothese: Je ähnlicher eine Farbvariante dem Untergrund ist, desto größer wird ihr Anteil an der Gesamtpopulation nach mehreren Generationen.

Untersuchungsdesign:





Farbvariante 3 (schwarz-weiß)

Farbvariante 3 (grau)

Farbvariante 3 (weiß)

Durchführung: Von jeder Farbvariante werden 7 Schmetterlinge zufällig auf dem Hintergrund verteilt. Der „Räuber“ hat 15s Zeit so viele Schmetterlinge zu fangen, d.h. vom Untergrund zu entfernen, wie er in der Zeit schafft. Die übrig gebliebenen Schmetterlinge werden gezählt und die Anzahl notiert. Vor Beginn der nächsten Fangperiode wird jeder Schmetterling verdoppelt und dann wieder auf dem Untergrund zufällig verteilt. Nach der 8. Fangperiode wird abgebrochen. Dieser ganze Vorgang wird fünf Mal wiederholt.

Abbildung 3: Exemplarisches Untersuchungsdesign (eigene Darstellung)

3.5 Mögliche Ergebnisse und ihre Dokumentation

Im Folgenden soll exemplarisch an einer Fragestellung und einem Untersuchungsdesign (vgl. Abb. 3) dargestellt werden, wie Ergebnisse und deren Dokumentation aussehen könnten. Aus Abbildung 4 auf der folgenden Seite ist deutlich ersichtlich, dass die Anzahl der weißen und der schwarz-weißen Farbvariante über die Generationen deutlich zunimmt, während die Anzahl der grauen Farbvariante abnimmt. Um dieses zu verdeutlichen, lässt sich eine *Spearman-Rangkorrelation* berechnen, die die Schüler*innen bereits aus dem Keimungsexperiment kennen (vgl. Haunhorst, Stockey & Wilde, S. 107–116 in diesem Heft). Es zeigt sich eine signifikante positive Korrelation zwischen Generation und Anzahl der „überlebenden“ Schmetterlinge bei den schwarz-weißen ($r_s = 0,831$) und den weißen Faltern ($r_s = 0,828$) und eine signifikant negative Korrelation bei der grauen Farbvariante ($r_s = -0,866$). Die weiße und die schwarz-weiße Farbvariante

haben eine höhere Ähnlichkeit mit dem Hintergrund als die graue Farbvariante. Die aufgestellte Hypothese „Je ähnlicher eine Farbvariante dem Untergrund ist, desto größer wird ihr Anteil an der Gesamtpopulation nach mehreren Generationen“ konnte demnach durch dieses Simulationsexperiment bestätigt werden.

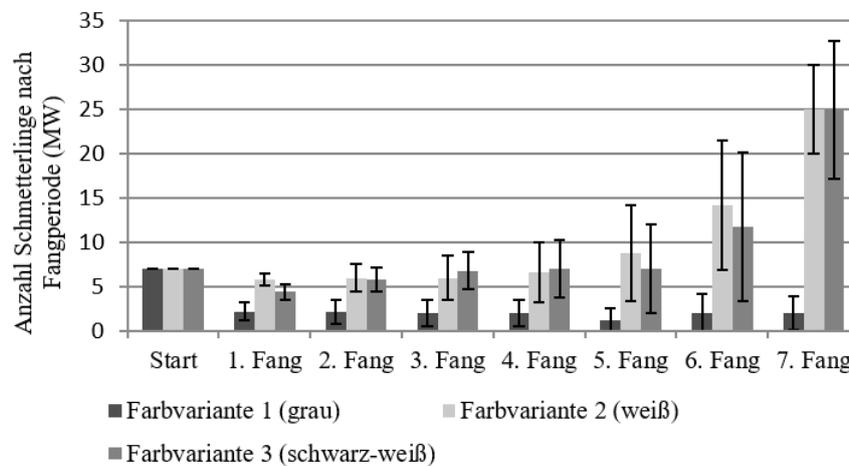


Abbildung 4: Ergebnisse aus dem Experiment. Dargestellt sind die Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (Balken) der Anzahl der nicht gefangenen Schmetterlinge (eigene Berechnung)

Durch das Experiment lassen sich die grundlegenden Evolutionsfaktoren Variation, Adaptation und Selektion verständlich und nachvollziehbar zeigen. Von den Faltern gab es verschiedene Farbvarianten (Variation). Die einzelnen Individuen mit den verschiedenen Farbvarianten unterschieden sich darin, wie gut sie an die bestehenden Umweltbedingungen angepasst sind. Falter, die eine ähnliche Färbung wie der Untergrund aufwiesen, konnten vom Räuber weniger schnell entdeckt und gefangen werden als Falter, die sich deutlich vom Untergrund unterschieden, sodass Falter mit ähnlicher Färbung einen deutlichen „Überlebensvorteil“ in der nächsten Fangrunde hatten. Sie sind also an die Umweltbedingungen besser angepasst (Adaptation). Die Überlebens- und damit auch die Fortpflanzungswahrscheinlichkeit von Faltern mit einer ähnlichen Färbung sind damit höher als die der Falter, die sich deutlich vom Untergrund unterscheiden (Selektion). Dadurch kommt es zu einer Häufigkeitsveränderung des Merkmals innerhalb der Population, die langfristig zu einem evolutiven Wandel führen würde. Mit diesem Simulationsexperiment lassen sich demnach die Befunde aus der Studie von Kettlewell nachstellen und darüber hinaus die daraus gezogenen Schlussfolgerungen, dass dem ein evolutiver Prozess zugrunde liegt, bekräftigen.

Bei diesem Experiment handelt es sich um ein Simulationsexperiment, d.h., bei der Interpretation der Ergebnisse muss berücksichtigt werden, dass es keine reale Situation war, sondern ein evolutiver Prozess nachgestellt wurde. Die Ergebnisse aus dem Simulationsexperiment können durch Faktoren beeinflusst worden sein, die in dieser Form so nicht auf die evolutiven Prozesse wirken würden. So ist z.B. nicht auszuschließen, dass der „Räuber“, der ja ebenfalls die Hypothesen kannte, unbewusst im Sinne der Hypothesen agiert und durch die Wiederholungen Übung im Erkennen der Falter gewonnen hat.

4 Anregungen zur Reflexion

Mit den Schüler*innen gemeinsam kann im Rahmen dieses Experiments der Modellbegriff, der im Rahmen des Dichte- und Lösungswärmeexperimentes (vgl. Allmers, Stiller & Wilde, S. 53–66 in diesem Heft; Stiller, Beyer-Sehlmeyer, Friedrich, Stockey & Allmers, S. 67–79 in diesem Heft) zur vereinfachten Darstellung von naturwissenschaftli-

chem Wissen eingeführt und diskutiert wurde, um die Nutzung von Modellen zur Erkenntnisgewinnung erweitert werden. Auch an dieser Stelle ist es empfehlenswert, den Umgang mit Modellen für den Erkenntnisprozess zu thematisieren und mögliche Stärken und Schwächen dieser Herangehensweise mit den Schüler*innen zu erörtern.

Literatur und Internetquellen

- Allmers, T., Stiller, C., & Wilde, M. (2020). Konzentrationsbestimmung von Kochsalzlösungen: Ein Vergleich zwischen verschiedenen Methoden. *PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 53–66. <https://doi.org/10.4119/pflb-3304>
- Arnold, G. (2000a). Mendel-Genetik in der Sekundarstufe II. *Praxis der Naturwissenschaften – Biologie*, 49 (7), 1–9.
- Arnold, G. (2000b). Neues Lernen? Didaktische und methodische Überlegungen. *Praxis der Naturwissenschaften – Biologie*, 49 (1), 4–9.
- Bayrhuber, H., Kull, U., & Linder, H. (Hrsg.). (2005). *Linder-Biologie. Lehrbuch für die Oberstufe*. Braunschweig: Schroedel.
- Campbell, N.A., & Reece, J.B. (2009). *Biologie*. München: Pearson Studium.
- Ciesla, E. (1993). Der Computereinsatz im Physikunterricht unter didaktischer Sicht. *Physik in der Schule*, 31 (7–8), 243–248.
- Erdmann, U. (Hrsg.). (2010). *Evolution*. Braunschweig: Schroedel.
- Graf, D. (2009). Evolution – das Rückgrat der Biologie. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 62 (1: Evolution), 3–4.
- Harlen, W. (Hrsg.). (2010). *Principles and Big Ideas of Science Education*. Hatfield, UK: Association for Science Education.
- Haunhorst, D., Stockey, A., & Wilde, M. (2020). Die ökologische Nische: Ein Dosis-Wirkungs-Experiment zur Ermittlung des physiologischen Spektrums verschiedener Getreidearten. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 107–116. <https://doi.org/10.4119/pflb-3308>
- Kattmann, U. (1995). Konzeption eines naturgeschichtlichen Biologieunterrichts: Wie Evolution Sinn macht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 1, 29–45.
- Kutschera, U. (2006). *Evolutionsbiologie*. Stuttgart: Ulmer.
- Lichtner, H.-D. (o.D.). *Lernspiel „Selektionsprozesse beim Birkenspanner“*. Zugriff am 15.3.2019. Verfügbar unter: http://lernarchiv.bildung.hessen.de/sek/biologie/allgemeine_biologie/evolution/evolutionstheorie/evofaktoren/index.html/panel_lrt/?id=9999.
- Lunau, K. (2002). *Warnen, Tarnen, Täuschen. Mimikry und andere Überlebensstrategien in der Natur*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Majerus, M.E.N. (1998). *Melanism. Evolution in Action*. Oxford: Oxford University Press.
- Majerus, M.E.N. (2009). Industrial Melanism in the Peppered Moth, *Biston betularia*: An Excellent Teaching Example of Darwinian Evolution in Action. *Evolution: Education and Outreach*, 2 (1), 63–74. <https://doi.org/10.1007/s12052-008-0107-y>
- MSW NRW (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen) (2013). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen*. Düsseldorf: MSW.
- Munk, K. (Hrsg.). (2000). *Grundstudium Biologie: Biochemie, Zellbiologie, Ökologie, Evolution*. Heidelberg & Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.
- Planet Schule. Schulfernsehen multimedial (o.D.). *Film „Darwins Erben“*. Zugriff am 15.3.2019. Verfügbar unter: <https://www.planet-schule.de/sf/filme-online.php?film=8249>.
- Reimann, P. (2001). Lernen in der Virtualität. Aktuelle Erkenntnisse der Lernpsychologie. *DIE – Zeitschrift für Erwachsenenbildung*, 8, 28–29.
- Rottländer, E. (2000). „Neue“ Medien im Biologieunterricht. *Praxis der Naturwissenschaften – Biologie*, 49 (1), 1–4.

- Rudge, D.W. (2000). Does Being Wrong Make Kettlewell Wrong for Science Teaching? *Journal of Biological Education*, 35 (1), 5–11. <https://doi.org/10.1080/00219266.2000.9655728>
- Sommer, R.J. (2011). Zum Wissenschaftsverständnis der modernen Evolutionsbiologie. In D. Graf (Hrsg.), *Evolutionstheorie – Akzeptanz und Vermittlung im europäischen Vergleich* (S. 91–98). Berlin & Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-02228-9_7
- Stiller, C., Allmers, T., Habigsberg, A., Stockey, A., & Wilde (2020). Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften: Von der Hypothese zur Theorie. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 28–39. <https://doi.org/10.4119/pflb-3302>
- Stiller, C., Allmers, T., Stockey, A., & Wilde, M. (eingereicht). „Data-Literacy“ – Grundbildung im Umgang mit empirischen Daten. *MNU – Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*.
- Stiller, C., Beyer-Sehlmeyer, G., Friedrich, G., Stockey, A., & Allmers, T. (2020). Lösungswärme energetisch betrachtet: Ein Schülerexperiment zur Bestimmung der konzentrationsabhängigen Lösungsenthalpie beim Lösen verschiedener Salze. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 67–79. <https://doi.org/10.4119/pflb-3305>
- Stiller, C., Hahn, S., Stockey, A., & Wilde, M. (2020). Experimentierend zu mehr Selbstbestimmung: Der *Basiskurs Naturwissenschaften* – Theoretische Leitlinien und empirische Hinweise. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innenBildung*, 2 (2), 5–16. <https://doi.org/10.4119/pflb-3300>
- Stiller, C., Stockey, A., Hahn, S., & Wilde, M. (eingereicht). Das Konzept des fächerübergreifenden „Basiskurs Naturwissenschaften“ und seine didaktisch-methodischen Prinzipien. *MNU – Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*.
- Treitz, N. (2000). Kann die Simulation etwas, was das Experiment nicht kann? *Praxis der Naturwissenschaften – Physik*, 49 (6), 2–4.
- Urhahne, D., & Harms, U. (2006). Instruktionale Unterstützung beim Lernen mit Computersimulation. *Unterrichtswissenschaft*, 34 (4), 358–377.
- Wallin, A. (2011). Zu einer inhaltsorientierten Theorie des Lernens und Lehrens der biologischen Evolution. In D. Graf (Hrsg.), *Evolutionstheorie – Akzeptanz und Vermittlung im europäischen Vergleich* (S. 119–139). Berlin & Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-02228-9_9
- Zrzavý, J., Burda, H., Storch, D., Begall, S., & Mihulka, S. (2013). *Evolution. Ein Lese-Lehrbuch*. Berlin & Heidelberg: Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-39696-0>

Beitragsinformationen

Zitationshinweis:

Stiller, C., Bekel-Kastrup, H., & Stockey, A. (2020). Selektion und Evolution: Ein Schülersimulationsexperiment zur selektiven Wirkung der Räuber-Beute-Beziehung. *PFLB – PraxisForschungLehrer*innen-Bildung*, 2 (2), 117–128. <https://doi.org/10.4119/pflb-3309>

Online-Supplement:

Materialien für ein Schülersimulationsexperiment zur selektiven Wirkung der Räuber-Beute-Beziehung

Online verfügbar: 19.02.2020

ISSN: 2629-5628



© Die Autor*innen 2020. Dieser Artikel ist freigegeben unter der Creative-Commons-Lizenz Namensnennung, Weitergabe unter gleichen Bedingungen, Version 4.0 International (CC BY-SA 4.0).

URL: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/de/legalcode>