**Entwicklung der Bildungsstandards für die Allgemeine Hochschulreife
in den Naturwissenschaften**

Lernaufgabe für das Fach Biologie

Kurzbeschreibung

Natürliche Selektion

Diese Aufgabe wurde von Fachexpertinnen und Fachexperten der Länder, überwiegend Lehrkräften, entwickelt. Die Aufgabenentwicklergruppe wurde von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Fachdidaktik der Biologie beraten. Das Institut zur Qualitätsentwicklung im Bildungswesen hat den Prozess koordiniert.

Zusammenfassung

Der Erwerb von Modellkompetenz ist ein Ziel des Biologieunterrichts. Im Mittelpunkt der folgenden Aufgabe steht die Kompetenz E 12. Dabei geht es um die Funktion der Modellierung im naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess. Der wissenschaftshistorische Zugang über die von Endler in den 1980er Jahren durchgeführten Experimente mit Guppys ermöglicht es den Lernenden, Modellierungsprozesse in Form von Gedankenmodellen einerseits eigenständig nachzuvollziehen, andererseits Modellierung bzw. das Arbeiten mit Modellen als Werkzeug naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung zu reflektieren. Dabei werden beobachtete Phänomene gedanklich modelliert, Hypothesen aus der Modellierung abgeleitet und diese im Rahmen von Modellexperimenten überprüft. Modelle werden genutzt, um Vorhersagen zu formulieren, diese zu überprüfen und die Modellierung gegebenenfalls zu ändern.

Anforderungsniveau	grundlegend ☐	erhöht ☒
Kompetenzbereiche und relevante Standards	**Sachkompetenz** Die Lernenden … S 4 formulieren zu biologischen Phänomenen sowie Anwendungen der Biologie theoriegeleitet Hypothesen und Aussagen; S 7 erläutern Prozesse in und zwischen lebenden Systemen sowie zwischen lebenden Systemen und ihrer Umwelt. **Erkenntnisgewinnungskompetenz** Die Lernenden … E 3 stellen theoriegeleitet Hypothesen zur Bearbeitung von Fragestellungen auf;	

	E 4 planen und führen hypothesengeleitete Beobachtungen, Vergleiche, Experimente und Modellierungen durch und protokollieren sie; E 5 berücksichtigen bei der Planung von Beobachtungen, Vergleichen, Experimenten sowie Modellierungen das jeweilige Variablengefüge; E 6 berücksichtigen die Variablenkontrolle beim Experimentieren; E 9 finden in erhobenen oder recherchierten Daten Strukturen, Beziehungen und Trends, erklären diese theoriebezogen und ziehen Schlussfolgerungen; **E 11 widerlegen oder stützen die Hypothese (Hypothesenrückbezug);** **E 12 diskutieren Möglichkeiten und Grenzen von Modellen;** **E 13 reflektieren die eigenen Ergebnisse und den eigenen Prozess der Erkenntnisgewinnung.**
Basiskonzepte	Individuelle und evolutive Entwicklung
Inhaltsbereich	♦ Vielfalt des Lebens ♦ Lebewesen in ihrer Umwelt
konkrete Inhalte	♦ Natürliche Selektion ♦ Sexuelle Selektion ♦ Modell der natürlichen Selektion
Materialien	M 1: Informationen zu Guppys M 2: Versuche von Endler M 3: Endlers Freilandversuche M 4: Informationen zum Fortpflanzungsverhalten der Guppys Tippkarte 1: Modelle als Werkzeuge der Erkenntnisgewinnung
Bearbeitungszeit	90 Minuten
Hilfsmittel	
Differenzierungsmöglichkeit	Weitere Modellierungsprozesse
experimenteller Anteil	ja ☐ nein ☒
Lernvoraussetzungen	♦ Grundlagen der Genetik ♦ Mutation, Rekombination ♦ abiotische Faktoren, biotische Faktoren ♦ Räuber-Beute-Beziehungen ♦ Variabilität

	♦ Hypothesenbildung wie auch das Planen von Experimenten sollte geübt sein

1 Hinweise zur Durchführung

Die modernen Erläuterungen zu evolutiven Prozessen finden ihren Ansatz in der Synthetischen Evolutionstheorie und erfordern deren Sachkenntnis. Die übergeordnete Problemstellung der vorliegenden Aufgabe folgt der Frage „Ist Evolution beobachtbar?“

Der auf Darwin zurückgehende Begriff der *natürlichen Selektion*, verstanden als ein Prinzip, welches sich als zwangsläufige Folge aus den Wechselwirkungen zwischen Organismen und ihrer Umwelt ergibt, erschließt sich in seiner passiven Dimension den Lernenden nicht immer automatisch.

„In den Alltagsvorstellungen zum evolutionären Wandel gibt es kaum Anknüpfungspunkte zur Selektion. Untersuchungen zeigen, dass die in der Biologie durch die Genetik und Evolution vorherrschenden Vorstellungen als zielgerichtete und absichtsvolle Handlungen der Individuen verstanden werden.“

Quelle: Kattmann, 2015, S. 45 ff.

Das sich daraus ergebende Problem liegt in der anthropomorphen Neigung, natürliche Prozesse als zielgerichtet zu begreifen. Dadurch wird der Begriff Selektion leicht missverstanden.

Dieser Alltagsvorstellung gilt es entgegenzuwirken und die Folge der Selektion so zu verstehen, dass Populationen über mehrere Generationen an die jeweiligen Lebensbedingungen angepasst werden.

„Für den Lernerfolg zum Thema Selektion sind vier Begriffe ausschlaggebend: Variation, Vererbung, Fortpflanzungserfolg, Veränderung der Population (= Kernbegriffe), während Konkurrenz, Überproduktion und begrenzte Ressourcen ergänzende Begriffe sind.“

Quelle: Kattmann, 2015, S. 45 ff.

Die folgende Lernaufgabe kann sowohl in Einzel- als auch in Partnerarbeit durchgeführt werden. Letzteres bietet darüber hinaus Möglichkeiten, Kompetenzen im Bereich Kommunikation zu fördern.

Weil den Lernenden Struktur- und Funktionsmodelle geläufiger sind als Gedankenmodelle, ist der Modellierungsprozess zuerst als Gedankenmodell zu charakterisieren, beispielsweise durch ein Simulationsspiel zur Selektion.

Da die Teilaufgaben aufeinander aufbauen, sind die Materialien sukzessive auszugeben.

Teilaufgabe 6 zielt auf die Reflexion des Modellierungsprozesses. Es empfiehlt sich, diese ebenfalls gesondert auszuteilen.

2 Aufgabenstellung

Info-Box 1

In der folgenden Aufgabe geht es um das Arbeiten mit Modellen im Zuge des naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinns.

„Ein Modell ist etwas, das ein Original bzw. eine Realität repräsentiert."

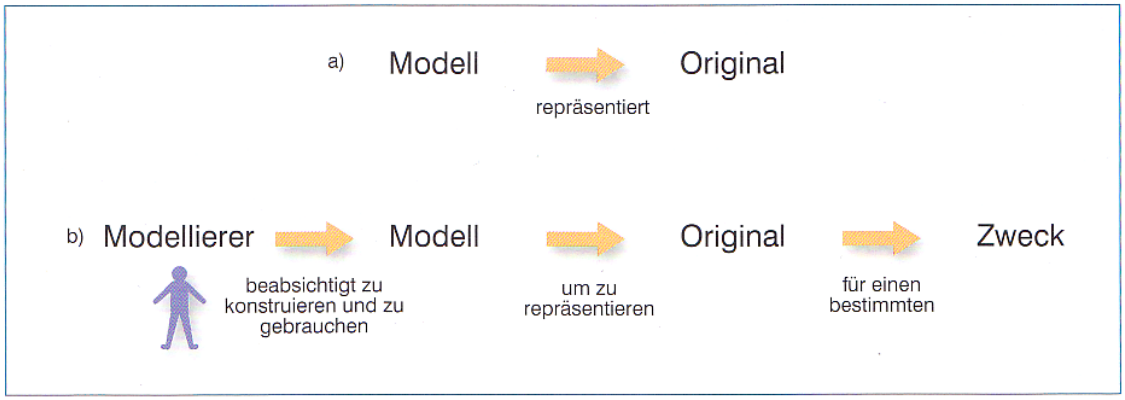


Abbildung 1: Aufgaben von Modellen, Weitzel, 2014.

„Alle Modelle eint der Versuch, ein nicht direkt zugängliches Phänomen zu beschreiben, zu erklären oder Vorhersagen über dieses Phänomen zu treffen."

Teilaufgabe 1 (Material 1)

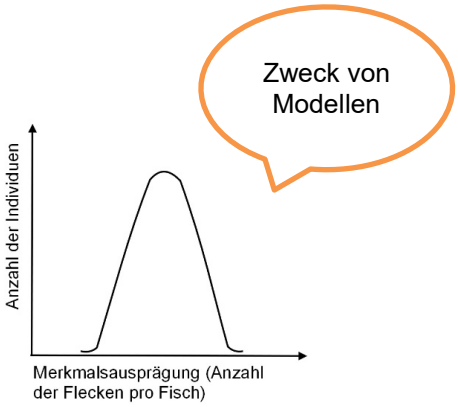
„Die Tatsache, dass zwei Phänomene miteinander korrelieren, belegt noch nicht, dass das eine das andere bedingt."

Quelle: Begon et al., 2017, S. 45ff.

Planen Sie – ausgehend von der in Material 1 beschriebenen Korrelation zwischen den Farbmustern der männlichen Guppys und unterschiedlichen Räubern – Experimente, welche eine Ursache-Wirkungs-Beziehung aufklären könnten. Beachten Sie dabei die Bedeutung von Kontrollexperimenten.

Teilaufgabe 2 (Material 2)

Werten Sie das in Material 2 dargestellte Experiment in Bezug auf die Änderung der Merkmalsausprägung „Flecken pro Fisch" in Abhängigkeit von der Anwesenheit der Räuber aus. Stellen Sie in einem Modell den Räuberdruck durch einen Pfeil dar. Nutzen Sie dazu das vorgegebene Schema und ergänzen Sie die sich daraus ergebende Veränderung der Merkmalsausprägung (Flecken pro Fisch) innerhalb der Population in einem weiteren Schema.



Teilaufgabe 3

Stellen Sie ausgehend von den Ergebnissen und Ihrer Modellierung eine Hypothese über die weitere Entwicklung der betrachteten Merkmalsausprägung auf, wenn die Guppys, welche zunächst einem starken Räuber ausgesetzt werden, in einen Teich ohne Räuber umgesiedelt werden.

Teilaufgabe 4 (Material 3)

Werten Sie die Ergebnisse aus Material 3 aus und überprüfen Sie die von Ihnen formulierten Hypothesen aus Aufgabe 3.

Aufgabe 5 (Material 2 und 4)

5.1 Modellieren Sie die Auswirkungen des in Material 4 beschriebenen Fortpflanzungsverhalten der weiblichen Guppys in Bezug auf die zu erwartenden Veränderungen des Fleckenmusters (Größe, Farbvariation) der Männchen innerhalb der Population. Nutzen Sie dazu das Schema aus Aufgabe 2.

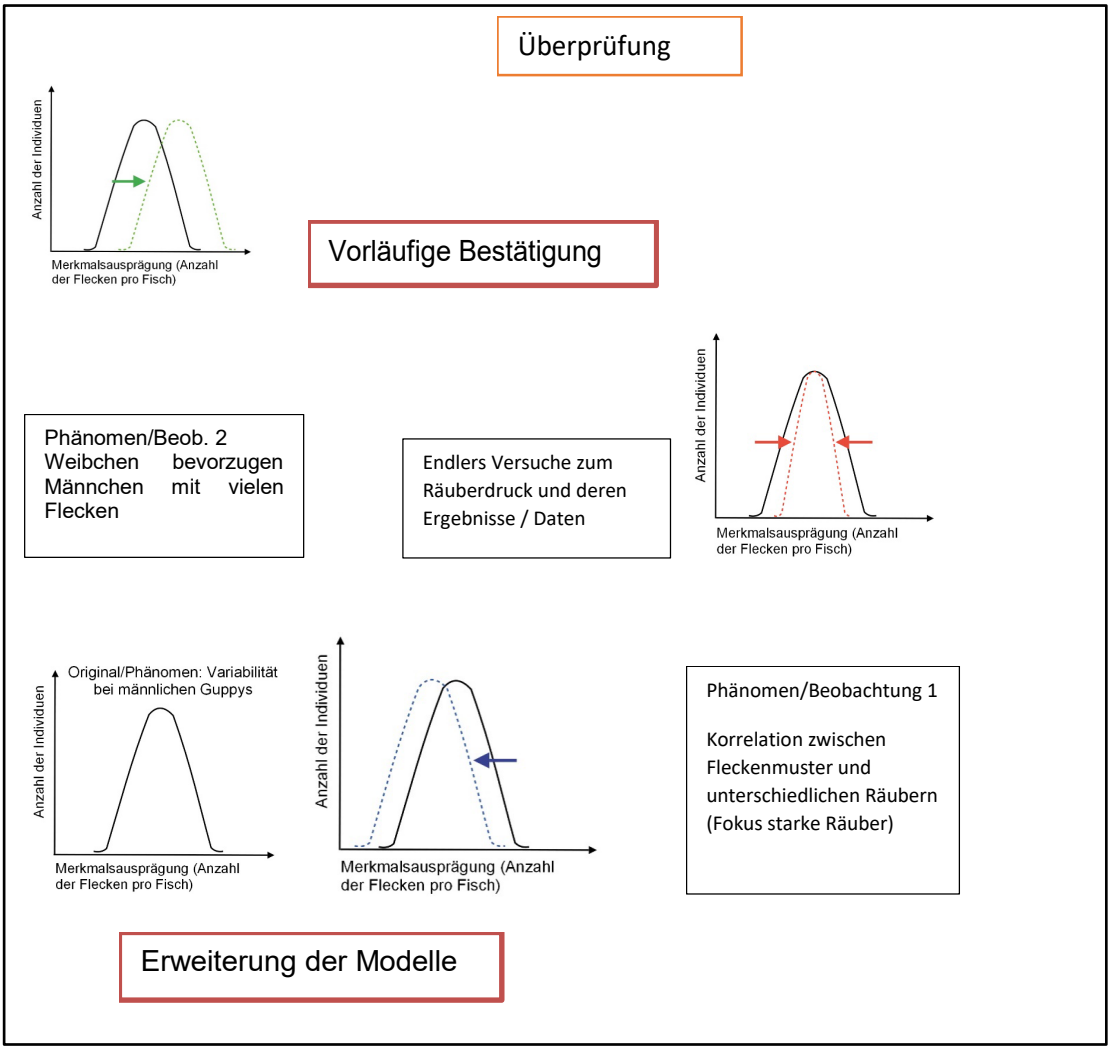
5.2 Leiten Sie aus dem in 5.1 entwickelten Modell Vorhersagen über die Veränderungen des Fleckenmusters bei gleichzeitiger Anwesenheit eines starken Räubers ab. Nutzen Sie dabei die Daten aus Material 2 und ändern Sie ihr Modell gegebenenfalls.

Info-Box 2:
Natürliche Selektion:

Unter natürlicher Selektion versteht man die Auslese von Lebewesen innerhalb einer Population aufgrund individueller Unterschiede in Bezug auf die Überlebenschance und den Fortpflanzungserfolg. Veränderungen der Umweltbedingungen führen zu einem Selektionsdruck. Lebewesen mit Selektionsvorteil haben einen größeren Fortpflanzungserfolg als Lebewesen ohne Selektionsvorteil. Ihre Allele werden innerhalb einer Population häufiger weitergegeben.

Teilaufgabe 6 (Material 5)

Analysieren Sie den in den Teilaufgaben 1-5 durchgeführten Modellierungsprozess zur natürlichen Selektion, indem Sie aus den Bausteinen ein Fließdiagramm erstellen, welches den Erkenntnisweg abbildet. Nutzen Sie, wenn nötig, die Tippkarte (Material 5).



3 Material für Lernende

Material 1

Farbenfrohes Trinidad – ein Modell der natürlichen Selektion

Material 1.1 Guppys – „Promis“ der Evolutionsforschung

Evolutionäre Entwicklungen brauchen im Allgemeinen lange Zeiträume, längere zumindest, als dass sie sich unter Laborbedingungen verfolgen ließen. Unter bestimmten Bedingungen und mit dem richtigen Forschungsobjekt, lassen sich jedoch Hinweise zu Evolutionsprozessen unter Laborbedingungen beobachten.

Der Guppy (*Poecilia reticulata*), ein kleiner Süßwasserfisch aus dem Nordosten Südamerikas, dient als Untersuchungsobjekt für eine klassische Serie von Evolutionsexperimenten. Der kanadische und heute in England lehrende Biologe John Endler hat bereits 1980 an einer Guppy-Art gezeigt, dass Evolutionsprozesse durchaus beobachtbar sind. Bis heute sind Guppys Modellorganismen der Evolutionsforschung.

Material 1.2 Guppys

Die verschiedenen Guppy-Arten sind Nachfahren eines Wildtyps, der ursprünglich aus dem Nordosten Südamerikas stammt. Vor wenigen tausend Jahren, als der Meeresspiegel tiefer lag, war die Karibikinsel Trinidad noch mit Südamerika verbunden. Guppys sind von Natur aus sehr variantenreich, und die Populationen unterscheiden sich stark in Farbe und Muster.

In Trinidad fließen viele Flüsse die Nordhänge herab. Dabei werden sie durch Wasserfälle unterteilt, die die Fischpopulationen oberhalb und unterhalb voneinander isolieren. In den tiefergelegenen Flussregionen leben Guppys zusammen mit Raubfischarten, die in den höher gelegenen Flussbereichen nicht vorkommen.

In den Populationen kann eine Korrelation zwischen den Farbmustern (Flecken pro Fisch) der männlichen Guppys und unterschiedlichen Räubern beobachtet werden.

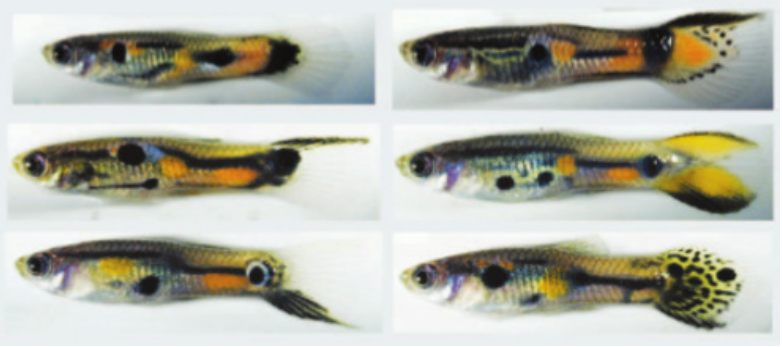


Abbildung 2: Farbmustervariationen bei männlichen Guppys, Hughes et al., 2013

Material 2

Endlers Versuche I

Endlers Versuche

Guppy-Populationen wurden in Teichen in einem Gewächshaus gehalten und unterschiedlich starkem Räuberdruck ausgesetzt.

Endler sammelte für seine Ausgangspopulation Guppys an unterschiedlichen Standorten, um für die folgenden Versuche eine hohe Variabilität in der Ausgangspopulation zu erzielen. Diese wurde zum Zeitpunkt 0 in die Teiche R, K und C aufgeteilt. Zum Zeitpunkt S wurde in den Teich R ein schwacher Räuber, ein Bachling (***R****ivulus hartii*) und in Teich C ein starker Räuber, ein Hechtbuntbarsch (***C****renicichla alta*), eingeführt. Teich ***K*** diente als Kontrolle und enthielt keine Räuber. Nach 20 Monaten erzielte Endler folgendes Ergebnis:

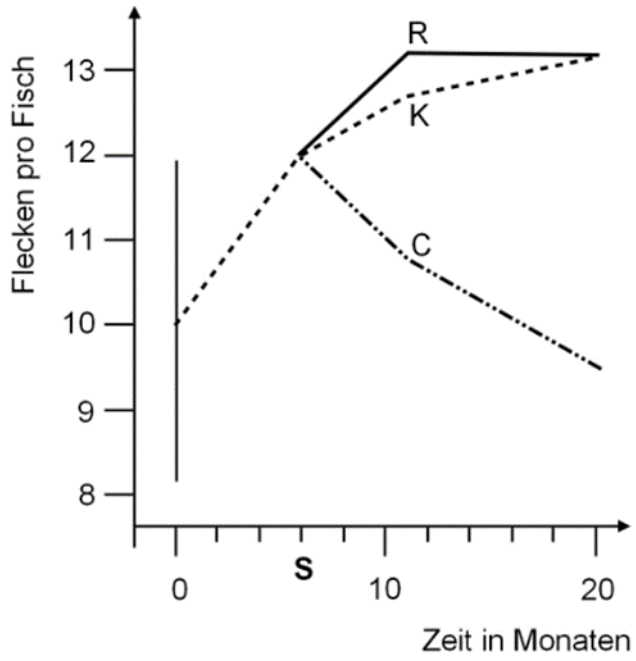


Abbildung 3: Veränderung der Populationszusammensetzung hinsichtlich der Fleckenzahl pro Fisch in Abhängigkeit vom Räuber, Begon et al., 2017.

Material 3

Endlers Versuche II

Endlers Versuche

Endler ergänzte seine Experimente durch Freilandversuche. Dazu wurde eine Population von Guppys aus einem Fluss mit starken Räubern (c) in einen anderen Fluss umgesetzt, in dem nur schwache Räuber (Bachlinge) vorkamen und bis zum Einsetzen der Tiere auch keine Guppys lebten (x). Als Kontrolle diente ein weiterer Fluss mit Guppys und Bachlingen (r). Zwei Jahre nach Aussetzen der Guppys in das Flusshabitat mit schwachen Räubern untersuchte man die Guppypopulation im Vergleich zu den beiden anderen Flusshabitaten. Hierbei wurden die Fläche, die Anzahl und die Farabvariationen der Flecken dokumentiert.

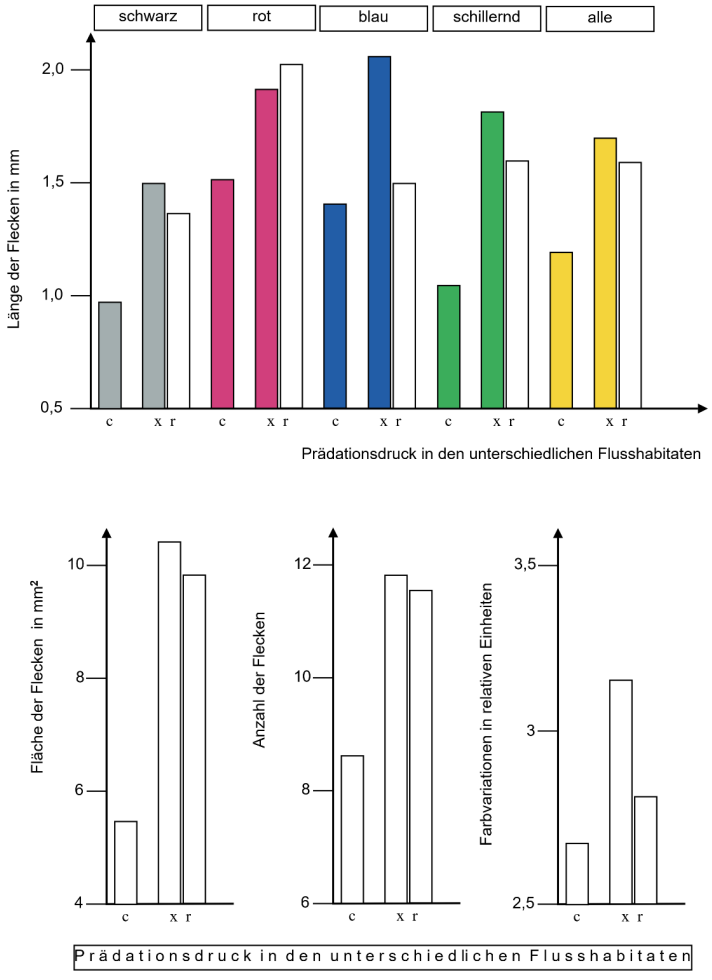


Abbildung 4: Endlers Versuche, Begon et al., 2017

Material 4

Bei jeder natürlichen Selektion werden Kompromisse eingegangen, da es zu jedem Selektionsdruck eine gegenläufig wirkende Kraft gibt.

M 4 Fortpflanzung bei Guppys

Guppys vermehren sich schnell. Im Gegensatz zu den meisten anderen Fischen erfolgt beim Guppy die Befruchtung im Körper des Weibchens. Die Eier entwickeln sich dort vollständig zu Jungtieren, d.h. Guppys sind lebendgebärende Süßwasserfische. Nach Erreichen der Geschlechtsreife bringen die Weibchen im Abstand von drei bis vier Wochen über das gesamte Jahr mehrere Generationen zur Welt. Darüber hinaus sind die Körperflecken der Männchen ein wichtiges sexuelles Erkennungssignal für die Weibchen. Die Anzahl, Größe und Form der Körperflecken sind genetisch festgelegt. Weibliche Guppys paaren sich bevorzugt mit den farbenprächtigsten Männchen.

Material 5 (Tipps für Teilaufgabe 6)

Modelle als Instrumente im Erkenntnisprozess

Modelle als Instrumente im Erkenntnisprozess

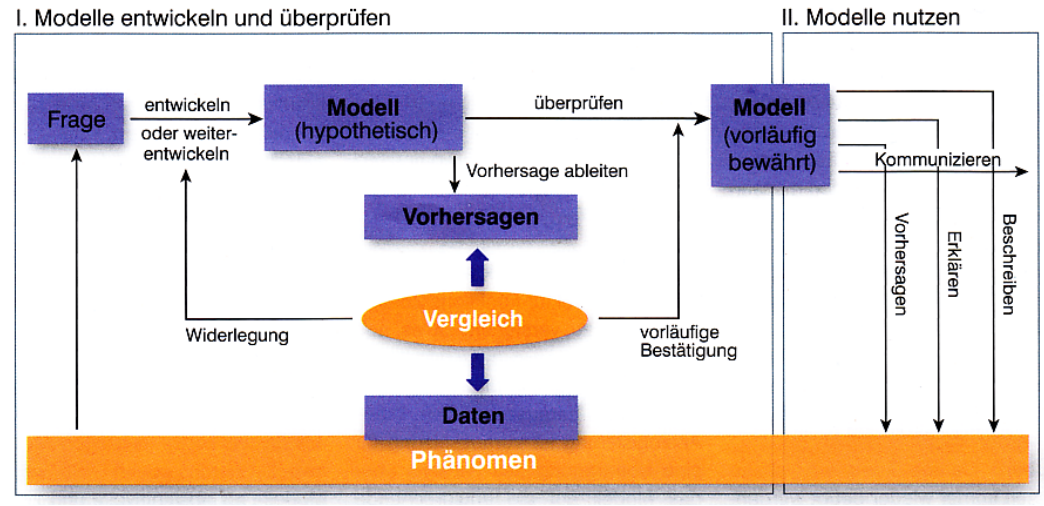


Abbildung 5: Modelle entwickeln und überprüfen, Weitzel, 2014

4 Weiterführendes Material

Differenzierung

Entscheidend für das Verständnis der natürlichen Selektion ist die Frage „Wie geht es weiter?“

In jeder Generation treten Guppys mit unterschiedlichen Fleckenmustern auf. Dieses Fleckenmuster variiert dabei ungerichtet. Daraus ist zu folgern, dass in der nächsten Generation auch Guppys auftreten, die mehr oder weniger Flecken haben, als in den zuvor angepassten Generationen.

Entwickeln Sie mit Hilfe des Modells der natürlichen Selektion ein Szenario, wie sich die Guppy-Population aufgrund verschiedener Selektionsfaktoren weiterentwickeln könnte. Stellen Sie dazu weitere Hypothesen auf.

5 Lösungshinweise und Bezug zu den Standards

Es werden folgende Abkürzungen verwandt:

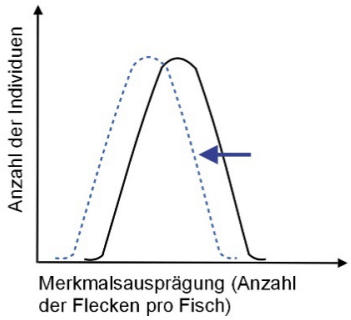
- S 1 – 8 Standards der Sachkompetenz (erste Spalte)
- E 1 – 17 Standards der Erkenntnisgewinnungskompetenz (zweite Spalte),
- K 1 – 14 Standards der Kommunikationskompetenz (dritte Spalte),
- B 1 – 12 Standards der Bewertungskompetenz (vierte Spalte).

1	Planen Sie ausgehend von der in M1 beschriebenen Korrelation zwischen den Farbmustern der männlichen Guppys und unterschiedlichen Räubern Experimente, welche eine Ursache-Wirkungs-Beziehung aufklären können.	S 4	E 4 5 6	K	B

- Guppy-Populationen müssen isoliert mit unterschiedlichen Prädatoren zusammengebracht werden.
- Nach einer definierten Zeitspanne muss die Population in Bezug auf die Merkmalsausprägung „Anzahl der Flecken pro Fisch“ untersucht werden.
- Darüber hinaus wird ein Kontrollansatz benötigt, um die Ergebnisse zu relativieren.
- Alle weiteren Parameter müssen gleich gehalten werden. Die unterschiedlichen Räuber müssen in starke und schwache Räuber eingeteilt werden.

2	Werten Sie das Experiment in Bezug auf die Änderung der Merkmalsausprägung „Flecken pro Fisch“ in Abhängigkeit von der Anwesenheit der Räuber aus. Nutzen Sie dazu das vorgegebene Schema und modellieren Sie den Räuberdruck durch einen Pfeil. Ergänzen Sie die sich daraus ergebende Veränderung der Merkmalsausprägung (Fleckenmuster) innerhalb der Population in einem weiteren Schema.	S 7	E 9	K	B

Starker Räuber



- hoher Räuberdruck führt dazu, dass sich die Anzahl der Individuen mit vielen Flecken pro Fisch zu einer geringen Zahl innerhalb der Population verschiebt
- geringer Räuberdruck hat keinen Einfluss und entspricht der Kontrolle

3	Stellen Sie ausgehend von den Ergebnissen und Ihrer Modellierung eine Hypothese über die weitere Entwicklung der betrachteten Merkmalsausprägung auf, wenn die Guppys, welche zunächst einem starken Räuber ausgesetzt werden, in einen Teich ohne Prädatoren umgesiedelt werden.	S 4	E 3 4 9	K	B

Hypothese:

Starke Prädatoren üben einen starken Selektionsdruck auf Individuen mit vielen auffälligen Flecken aus. Fällt dieser Selektionsdruck weg, so ist ebenso wie in der Kontrollgruppe eine Zunahme der Anzahl der Individuen mit vielen auffälligen Flecken zu erwarten. Es muss also weitere Faktoren geben, die einen Einfluss auf das Farbmuster haben.

4	Werten Sie die Ergebnisse aus Material M3 aus und überprüfen Sie die von Ihnen formulierten Hypothesen aus Aufgabe 3.	S 4	E 11	K	B

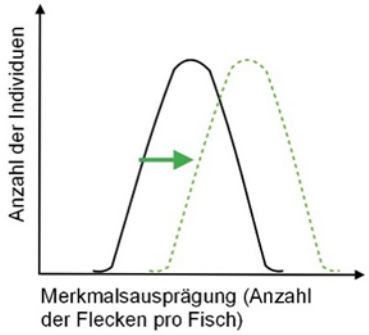
In Abwesenheit eines starken Räubers nimmt die Größe der Flecken und Farbvariationen innerhalb der Population zu. Die umgesiedelte Population verändert sich gegenüber der Ausgangspopulation mit starkem Räuber. Schon innerhalb von 24 Monaten weisen die Männchen mehr und größere Flecken sowie eine größere Farbvielfalt auf. Dies entspricht in etwa der Kontrolle.

Hinweis: Teilweise übertrifft die Farbvariation der umgesiedelten Population die der Kontrollgruppe. Die Ursachen hierfür könnten in einer weiterführenden Aufgabe unter verhaltensökologischen Aspekten untersucht werden.

5.1	Modellieren Sie die Auswirkungen des in M4 beschriebene Fortpflanzungsverhalten der weiblichen Guppys in Bezug auf die zu erwartenden Veränderungen des Fleckenmusters (Größe, Farbvariation) der Männchen innerhalb der Population.	S 7	E 9	K	B

Die Tatsache, dass die Weibchen die farbenprächtigeren Männchen wählen, wirkt sich entscheidend auf die Auffälligkeit und Häufigkeit der Zeichnungen unter den Nachkommen aus. Dies gilt aber nur solange der Selektionsdruck durch starke Prädatoren, der für eine Umkehr der Selektionsrichtung sorgen könnte, unterbleibt.

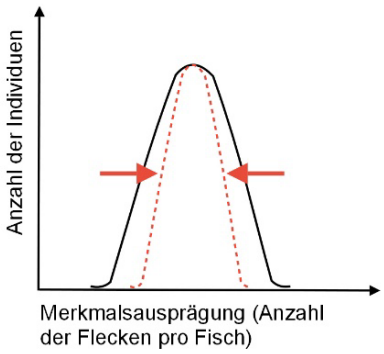
Hier kann der Begriff der sexuellen Selektion eingeführt werden.



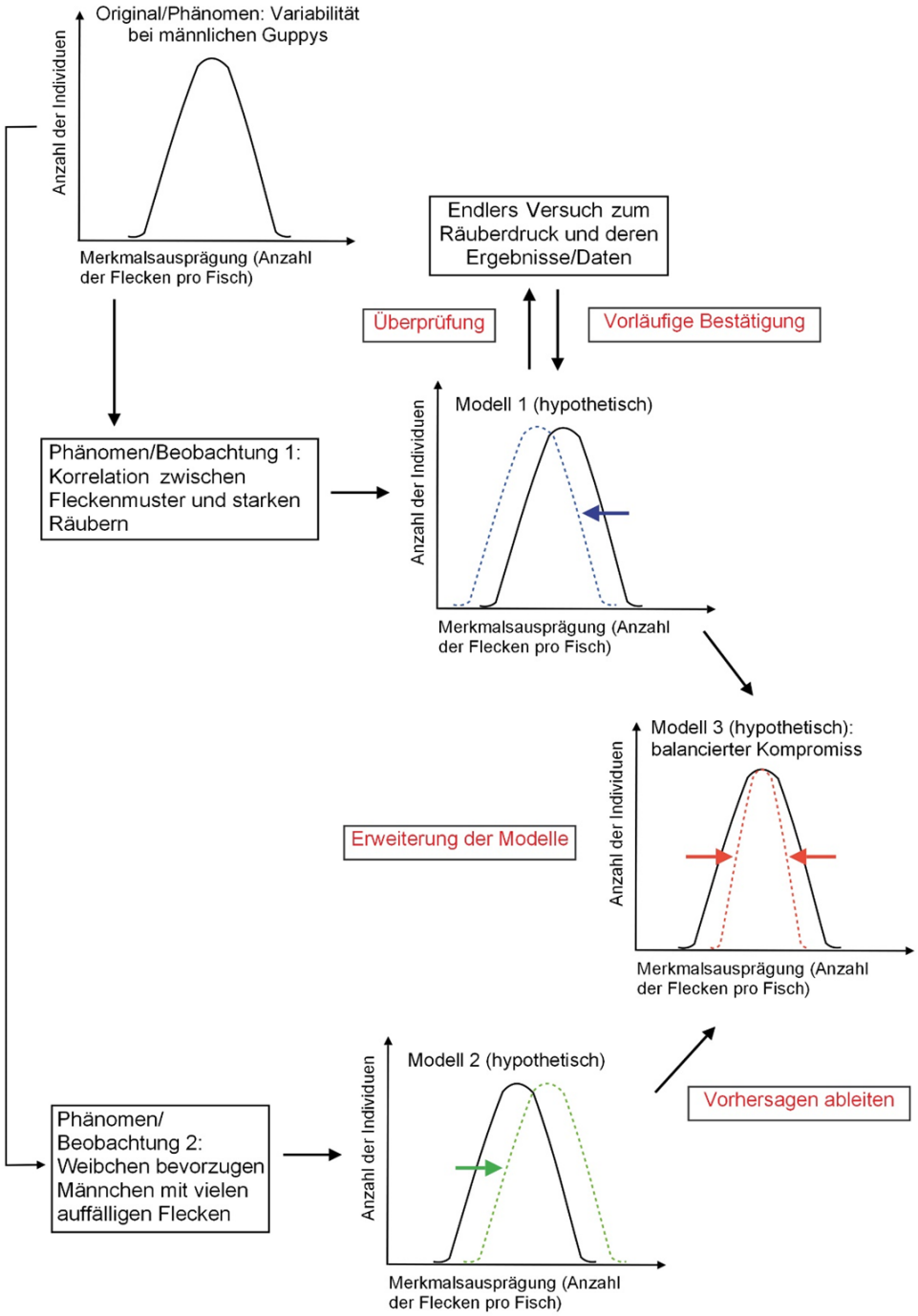
5.2	Leiten Sie aus dem in 5.1 entwickelten Modell Vorhersagen über die Veränderungen des Fleckenmusters bei gleichzeitiger Anwesenheit eines starken Räubers ab. Nutzen Sie dazu die Daten aus M2 und ändern Sie ihr Modell gegebenenfalls.	S 4	E 9	K	B

Bei gleichzeitiger Anwesenheit eines starken Räubers wirkt der Selektionsdruck in die entgegengesetzte Richtung. Betrachtet man beide Prozesse gleichzeitig ergibt sich ein Kompromiss. Die sexuelle Selektion wirkt dem Selektionsdruck durch einen starken Räuber entgegen, sodass sich eine Modelländerung ergibt:

Balancierter Kompromiss:



6	Analysieren Sie den in den Aufgaben 1-5 durchgeführten Modellierungsprozess zur natürlichen Selektion, indem Sie aus den Bausteinen ein Fließdiagramm erstellen, welches den Erkenntnisweg abbildet.	S	E 12 13	K	B



6 Quellenangaben

- Hinweise zur Durchführung, Zitate:
  Kattmann, U. (2015). *Schüler besser verstehen.* Halbergmoos: Aulis Verlag. S. 45 ff.
- Aufgabenstellung, Info-Box 1, Textquelle und Abbildung 1:
  Weitzel, H. (2014). Modelle im Biologieunterricht. *Unterricht Biologie 397/398.* Hannover: Friedrich Verlag. S. 2 ff.
- Aufgabe 1: Zitat; Material 1: M1.2, Textquelle; Material 2: Textquelle und Abbildung 3; Material 3: Textquelle und Abbildung 4 (Textquellen und Material 4: Sprechblase im Auftrag des IQB erstellt, in Anlehnung an):
  Begon, M., Howarth, R. W. & Townsend, C. R. (2017). Ökologie (3. Aufl.). Springer Spektrum, S.45 ff.
- Material 1, M1.1, Textquelle:
  Im Auftrag des IQB erstellt, in Anlehnung an: Losos, J. B. (2018). Glücksfall Mensch: Ist Evolution vorhersagbar? München: Carl Hanser Verlag GmbH&Co.KG, S.139 ff.
- Material 1, M1.2, Abbildung 2:
  Hughes, A. H. et al. (2013). Mating advantage for rare males in wild guppy populations. Research Letter. *Nature 503*, S. 108–110. Verfügbar unter: http://eko.uj.edu.pl/ekol-ewol/Hughes%20et%20al%202013-guppies%20-%20mating%20adavantage%20Nature.pdf (Zugriff am 08.10.18)
- Material 4, Textquelle:
  Im Auftrag des IQB erstellt, in Anlehnung an: Max-Planck-Gesellschaft (2014). Farbe ist Trumpf. Bunte Guppy-Männchen haben die besten Chancen bei der Fortpflanzung. Verfügbar unter: https://www.mpg.de/7788858/guppies (Zugriff am 25.09.2019)
- Material 5, Abbildung 5:
  Weitzel, H. (2014). Modelle im Biologieunterricht. Unterricht Biologie 397/398. Hannover: Friedrich Verlag, S. 8.
- Weitere Sekundärquelle, welche zur Erstellung des Materials herangezogen wurde:
  Fleige, J., Seegers, A., Upmeier zu Belzen, A. & Krüger, D. (2012). *Modellkompetenz im Biologieunterricht 7-10*. Augsburg: Auer Verlag.
- Alle weiteren Materialien und Abbildungen wurden im Auftrag des IQB erstellt.