

Online-Supplement

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

**Online-Supplement:
Materialien für ein Schülersimulationsexperiment
zur selektiven Wirkung der Räuber-Beute-Beziehung**

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

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*

Zitationshinweis:

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

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>

Inhalt

Material 1: Informationstext zum Birkenspanner

Material 2: Vorschlag zur Durchführung des Wahrnehmungsexperiments (Vorexperimente)

Material 3: Infoblatt zum Selektions-Simulations-Experiment

Material 4: Entscheidungstabelle

Industriemelanismus

In der Mitte des 19. Jh. konnte an zahlreichen Nachtfalterarten im Zuge einer zunehmenden Ruß-Luftverschmutzung durch Industrialisierung ein Wechsel in der Verbreitung von hellen zu dunklen Färbungen der Falter beobachtet werden. Dieses Phänomen wurde als „Industriemelanismus“ bezeichnet und beschreibt eine schnelle, genetisch bedingte Anpassung an veränderte Umweltbedingungen durch eine Veränderung der Körperpigmentierung. Durch die Luftverschmutzung kam es zu einem Rückgang des Flechtenbewuchses an den Bäumen, während Rußablagerungen zunahmen. Dieses führte dazu, dass helle Nachtfalter auf den mittlerweile durch Ruß geschwärzten Bäumen für ihre Fressfeinde nicht mehr so gut getarnt waren wie die dunkleren Varianten derselben Art. Die hellen Individuen hatten demnach einen Selektionsnachteil, und in den Folgegenerationen nahm der Anteil an hellen Individuen ab und der der dunkleren Individuen zu. Seit Mitte des 20. Jh. ist aufgrund der abnehmenden Ruß- und Schadstoffbelastung wieder eine Zunahme der helleren Varianten zu beobachten. Dieses Phänomen des Industriemelanismus gilt als klassisches Beispiel für „Evolution in Aktion“, bei dem die Merkmalsvielfalt und die Häufigkeitsverteilung verschiedener Merkmale in einer Population eine große Rolle spielen und so anschaulich verdeutlicht werden kann, wie sich die Häufigkeit zweier Farb-Varianten durch drastisch veränderte Umweltbedingungen ebenfalls drastisch ändern kann. Damit können zwei der wesentlich wirksamen Evolutionsprinzipien, die Bedeutung der Variation und die Wirkung der Selektion, an einem Beispiel verdeutlicht werden.

Konkret lässt sich der Industriemelanismus an den Untersuchungen am Birkenspanner (*Biston bitularia*) von Kettlewell Ende der 1950er-Jahre illustrieren. *Biston bitularia* kommt in zwei Farb-Varianten vor: in der hellen Variante *Biston bitularia typica* und in der dunklen als *Biston bitularia carbonaria* (vgl. Abb. 1).



Abbildung 1: (a) *Biston bitularia carbonaria* (b) *Biston bitularia typica*. © Norbert Grotjohann

Die Individuen sind nachtaktiv, und tagsüber findet man sie regungslos an Baumstämmen. Birkenspanner sind Nahrung für viele verschiedene Vogelarten. Im Jahr 1953 und 1955 setzte Kettlewell markierte Individuen beider Varianten in Wäldern in Industriegebieten in der Nähe von Birmingham und in einem ländlichen Gebiet bei Dorset aus und fing diese nach einer festgelegten Zeit wieder ein. Die Wiederfangquoten können dabei als Überlebensraten verstanden werden. Die Daten dazu sind in Tabelle 1 auf der folgenden Seite dargestellt.

Tabelle 1: Ergebnisse aus dem Experiment von Kettlewell, 1955

		<i>Biston bitularia typica</i>	<i>Biston bitularia carbonaria</i>	Insgesamt
Dorset 1955	ausgesetzt	496	473	969
	wiedergefangen	62	30	92
	% der wiedergefangenen Individuen	12,5	6,3	
Birmingham 1953	ausgesetzt	137	447	584
	wiedergefangen	18	123	141
	% der wiedergefangenen Individuen	13,1	27,5	
Birmingham 1955	ausgesetzt	64	154	218
	wiedergefangen	16	82	98
	% der wiedergefangenen Individuen	25,0	52,3	

Quelle:

Majerus, M.E.N. (1998). *Melanism. Evolution in action*. Oxford: Oxford Univ. Press., S. 108

Howlett und Majerus führten in den 1990er-Jahren eine ähnliche Untersuchung durch. Sie klebten je 100 Individuen von *Biston bitularia typica* und *Biston bitularia carbonaria* in Ruheposition auf Baumstämme in einem durch dort vorherrschende Industrie eher verschmutzten Waldstück (Stoke-on-Trent) und in einem weitgehend unverschmutzten Waldstück (New Forrest). Nach 72 Stunden zählten sie jeweils die Individuen, die noch an Ort und Stelle klebten. Die fehlenden Individuen waren von Vögeln gefressen worden (siehe Tab. 2).

Tabelle 2: Ergebnisse aus dem Experiment von Howlett & Majerus (1987)

	<i>Biston bitularia typica</i>		<i>Biston bitularia carbonaria</i>	
	gefressen	nicht gefressen	gefressen (gefressen)	Nicht gefressen
Verschmutzter Wald (Stoke-on-Trent)	54	46	34	66
Unverschmutzter Wald (New Forrest)	29	71	51	49

Quelle:

Majerus, M.E.N. (1998). *Melanism. Evolution in Action*. Oxford: Oxford Univ. Press, S. 131

Aufgaben:

- (1) Übertrage die Daten in ein angemessenes Diagramm. Was zeigen die Daten?
- (2) Wie lassen sich die Daten interpretieren? Welche Schlussfolgerungen lassen sich daraus ziehen?
- (3) Wie lassen sich die Experimente kritisieren?

Vorexperimente: Simulation der Tarnung von Schmetterlingen (Hinweise für Lehrende)

Als Material wird den Schüler*innen folgendes zur Verfügung gestellt: (a) in verschiedenen Graustufen variiertes Papier als Material für den Hintergrund (Umwelt) und für die Papier-Schmetterlinge (Beute), (b) Schmetterlings-Locher, (c) Klebeband zum Zusammenkleben der Hintergrund-DIN-A4-Blätter, (d) Scheren, (e) Messbänder (25 m), (f) Magneten, (g) Magnet-Tafeln (DIN-A3) und (h) Klebe-Etiketten. Die Durchführung dieses Experiments erfolgt zunächst als Demonstrationsexperiment mit der gesamten Kursgruppe, bei dem die Methodik eines Simulationsexperiments eingeführt wird. Ein 25-m-Band wird auf einem langen Flur ausgelegt. Dann wird den Schüler*innen das Ziel/der Sinn dieses Experiments erläutert, nämlich die Methode der Simulationsexperimente kennenzulernen und zu untersuchen, von welchen Faktoren die Fangquote der Beute abhängen kann etc. Zur Vorbereitung des Experiments wird ein Maßband auf den Boden gelegt und an Position 0 m die Magnet- oder Stellwand mit einem dunkelgrauen Hintergrund und vier oder fünf Faltern (Beute-Tiere) mit unterschiedlichem Aussehen, die mit Post-Its oder mit Magneten auf dem Hintergrund befestigt sind, aufgestellt. Der zuvor bestimmte Räuber (die erste Versuchsperson) startet an Position 25 m und bewegt sich langsam in Richtung Magnettafel. Die Versuchsperson wurde vor dem Loslaufen instruiert, dem Protokollanten/der Protokollantin mitzuteilen, sobald sie einen Falter erkennt (Aussehen, Position z.B. als Uhrzeit oder Himmelsrichtung). Ein*e Protokollant*in läuft neben der Versuchsperson und notiert die Informationen. Dann werden die Falter neu verteilt, wobei auch die Anzahl der Faltervarianten verändert wird, und ein neuer Räuber beginnt. Dieses Vorgehen wird so lange fortgeführt, bis alle Schüler*innen des Kurses als „Räuber“ tätig waren. Nachdem der Versuch mit mehreren Räufern durchgeführt wurde, werden die Daten ausgewertet. Dazu werden die Daten an der Tafel zusammengetragen, und die Schüler*innen erhalten die Aufgabe, diese auszuwerten und zu interpretieren. Die Schüler*innen berechnen selbstständig Mittelwerte, Standardabweichungen, stellen ihre Werte für die vier Faltertypen in einem Balkendiagramm dar und überlegen sich, wie diese Befunde interpretiert werden können. Sie gelangen dabei zu dem Schluss, dass Falter umso eher erkannt werden, je unähnlicher sie dem Hintergrund sind, je weniger also ihre Farbe vom Dunkelgrau abweicht.

Anschließend untersuchen die Schüler*innen in kleineren Gruppen mit derselben Methode mögliche weitere Einflussfaktoren, die sich auf den Fang Erfolg von Schmetterlingen auswirken könnten. Dazu legen sie zunächst mögliche Einflussfaktoren (z.B. Größe, Farbe und Form der Falter) fest und überlegen, wie diese untersucht werden können. Die weitere Planung und Durchführung des Experiments sowie die Auswertung und Interpretation der Daten erfolgen selbstständig in den einzelnen Schülergruppen. Die Ergebnisse der einzelnen Gruppen werden als Plakat oder Kurzvortrag vorgestellt und im Plenum diskutiert. Die Ergebnisse zeigen, dass die Größe und die Farbe der Falter einen Einfluss auf die Fangquote haben. Daraus kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass es relevante adaptive Merkmale und nicht relevante Merkmale gibt. Neben den fachlichen Inhalten bei der Interpretation steht allerdings auch das Simulationsexperiment als Methode im Vordergrund. Sollten von den Schüler*innen dahingehend keine Diskussionsansätze eingebracht werden, werden diese durch den/die Lehrende*n angeregt.

Durch diese beiden Vorexperimente werden die Schüler*innen zum einen für mögliche Fehlerquellen sensibilisiert, die bei Simulationsexperimenten generell und insbesondere bei solchen mit menschlichen Proband*innen als Räuber auftreten können. Außerdem erhalten sie so die Möglichkeit, ein grundlegendes Verständnis dafür zu entwickeln, wie Tarnung funktioniert und von welchen Merkmalen die Fangquote abhängig ist.

Wahrnehmungs-Simulations-Experiment: Einführung

Hintergrund:

Anschließend an die Erarbeitung der grundlegenden Grundprinzipien der Evolutionstheorie und des Phänomens „Industrie-Melanismus beim Birkenspanner“ soll in einem Simulationsexperiment die durch Selektion verursachte evolutive Entwicklung als Anpassung an eine sich verändernde Umwelt in einer Räuber-Beute-Beziehung nachgestellt und in einer Simulation experimentell überprüft werden.

Um zunächst in die praktische Durchführung von Simulationsexperimenten einzuführen, wird das folgende Wahrnehmungs-Simulations-Experiment durchgeführt.

Benötigtes Material:

- (a) Vielfältig variiertes Papier (verschiedene Graustufen, S/W-Muster, S/W-Schattierungen, S/W-Birkenrinden-Muster) als Material für den Hintergrund (Umwelt) und die Papier-Schmetterlinge (Beute)
- (b) Schmetterlings-Locher
- (c) Klebeband zum Zusammenkleben der Hintergrund-DIN-A4-Blätter
- (d) Scheren
- (e) Messbänder (25 m) aus der Sportabteilung
- (f) Magneten
- (g) Magnet-Tafeln (DIN-A3)
- (h) Post-It-Klebe-Etiketten

Durchführung:

- 1) Ein 25-m-Band wird auf einem langen Flur ausgelegt.
- 2) In Position 0 m wird die Magnetwand mit Hintergrund und vier oder fünf Faltern (Beute-Tiere) mit unterschiedlichem Aussehen aufgestellt oder von einer Person gehalten.
- 3) Der Hintergrund wird mit Magneten an der Magnettafel festgehalten.
- 4) Die verschiedenen Falter werden auch mit Magneten oder mit Post-It-Klebe-Etiketten, auf die sie aufgeklebt wurden, auf dem Hintergrund festgehalten.
- 5) An Position 25 m startet die erste Versuchsperson (Räuber) und bewegt sich langsam in Richtung Magnettafel.
- 6) Die Versuchsperson wird von einem Protokollanten/einer Protokollantin, der/die eine Dokumentationstabelle vorbereitet hat, begleitet.
- 7) Die Versuchsperson teilt mit, wenn sie/er einen Falter erkannt hat, teilt sein Aussehen und seine Position mit. Die Position kann als Uhrzeit (Klassische Uhr von 1–12 Uhr) oder Himmelsrichtung (klassischer Kompass (N-NO-O-SO-S-usw.) angegeben werden.
- 8) Die Entfernung für jede Farbvariante und jede Versuchsperson, in der er/sie die verschiedenen Varianten erkannt hat wird vom Protokollanten in der Tabelle notiert.
- 9) Jede*r Kursteilnehmer*in ist einmal Versuchsperson, d.h. Räuber-Organismus.
- 10) Nach jeder Versuchsperson wird die Position der verschiedenen Falter zufällig verändert, so dass kein Lerneffekt von einer Versuchsperson zur nächsten stattfinden kann.

Nach der Durchführung werden die Daten ausgewertet, auf ihre Aussagekraft hin geprüft und in einem Untersuchungsbericht dokumentiert.

Selektions-Simulations-Experiment

Hintergrund:

In einem Simulationsexperiment soll die durch Selektion verursachte evolutive Entwicklung als Anpassung an eine sich verändernde Umwelt in einer Räuber-Beute-Beziehung nachgestellt und in einer Simulation experimentell überprüft werden.

Aufgabe:

Entwickelt ein Experiment, mit dem sich eine Fragestellung zu möglichen Selektionsfaktoren untersuchen lässt.

Benötigtes Material:

- (a) Vielfältig variiertes Papier (verschiedene Graustufen, S/W-Muster, S/W-Schattierungen, S/W-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) Schülerinnen und Schüler, Freunde und Bekannte der Schülerinnen und Schüler als Räuber
- (f) Haftmittel für die „Räuber-Fang-Finger“, z.B. Vaseline, Fettsalbe, Wasser usw.
- (g) Stoppuhr zum Messen der Dauer der Fangperiode, z.B. Handy-Telefon
- (h) Klebeband zum Zusammenkleben der Hintergrund-DIN-A4-Blätter
- (i) Scheren

Regeln:

Es sollen bestimmte Regeln festgelegt werden, damit die Simulation funktionieren kann. Einerseits gibt es Faktoren die aufgrund des Materials variiert werden können; andererseits ist es eure Aufgabe, den Einfluss der Versuchsperson als Feind zu minimieren. Sie sollte also z.B. nicht genug Zeit haben, die am besten getarnten Falter bevorzugt zu entdecken.

1) Beute-Merkmale:

- a) Größe
- b) Form
- c) Farbe

2) Beute-Merkmale in der Population:

- a) Variabilität
- b) Ähnlichkeit mit dem Hintergrund
- c) quantitative Zusammensetzung der Ausgangspopulation
- d) Populationsdichte
- e) Populationswachstum (ja/nein, wie viele)

3) Hintergrund:

- a) Farbe
- b) Strukturen
- c) Irritation durch weitere Objekte

4) Räuber-Merkmale:

- a) Trainingseffekt
- b) Sehfähigkeit
- c) Suchdauer

5) Regeln für den Beutefang:

- a) Dauer
- b) Anzahl der Objekte etc.

Aufgaben im Einzelnen:

- (1) Überlegt euch eine Fragestellung, die ihr untersuchen wollt.
- (2) Erstellt dann eine Hypothese.
- (3) Entwickelt das Experiment.
- (4) Spielt das Experiment durch.
- (5) Falls es nicht richtig geklappt hat, versucht die Ursachen dafür zu finden, notiert sie und versucht sie zu beheben.
- (6) Spielt die Simulation erneut durch.

Entscheidungstabelle zum Simulationsexperiment: Selektion

(zusammengestellt und ergänzt nach Watson & Wood-Robinson, 1998, und Wellington & Ireson, 2008)

Exemplarisch für eine Fragestellung:

Entscheidung	Was muss entschieden werden?	Wer entscheidet? (L / L&S / S)
Fragestellung	Wie ändert sich die Anzahl verschiedener Farbvarianten über mehrere Generationen?	S
Hypothese	Je ähnlicher eine Farbvariante dem Untergrund ist, desto größer wird der Anteil an der Gesamtpopulation nach mehreren Generationen.	S
Untersuchungskonzept	Simulationsexperiment mit Menschen als Räuber	S
Konkrete Durchführung	Schmetterlinge werden auf dem Untergrund verteilt, und der „Räuber“ hat 15 s Zeit, so viele Schmetterlinge „zu fangen“, wie er schafft.	S
Anzahl der Wiederholungen	5	S
Unabhängige Variable	Falterfarbe	S
Untersuchungsspektrum	3 Farbvarianten: schwarz-weiß, grau, weiß	S
Anzahl der Intervalle	3 Kategorien	S
Abstand der Intervalle	kein Abstand, weil Falterfarbe als unabhängige Variable	S
Abhängige Variable	Anzahl der „nicht gefangenen“ Schmetterlinge	S
Messung der abh. Variable	durch Zählen	S
Weitere relevante Randbedingungen	Wissen des Räubers über die Hypothesen, Sehfähigkeit des Räubers, Lichtverhältnisse, ...	S
Analyse der Daten	Berechnung von Mittelwerten, Korrelation	S
Darstellung der Daten	Säulendiagramm	S
Signifikanzprüfung	Spearman-Korrelation	L&S
Prüfung der Hypothese(n)	bestätigt, denn je ähnlicher der Falter dem Untergrund, desto größer wird der Anteil an der Gesamtpopulation	S

Quellen:

Wellington, J., & Ireson, G. (2008). *Science Learning, Science Teaching*. London: Routledge.

Watson R., & Wood-Robinson V. (1998). Learning to Investigate. In M. Rattcliffe (Hrsg.). *ASE Guide to Secondary Science Education* (S. 84–91). Cheltenham, UK: Stanley Thornes Publ. LTD.