

**Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor rerum naturalium (Dr. rer. nat)**

**Schülervorstellungen zur Evolutionstheorie,
Konzeption und Evaluation von Unterricht
zur Anpassung durch Selektion**

Anuschka Fenner

vorgelegt dem
Insitut für Biologiedidaktik
Fachbereich Biologie und Chemie
Justus-Liebig-Universität

Gutacher:

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

Gießen, März 2013

DANKSAGUNG

Bedanken möchte ich mich bei allen, die mich während der Promotion unterstützt und begleitet haben.

Die Möglichkeit an der Schnittstelle zwischen Unterrichtspraxis und Forschung zur Evolutionstheorie zu forschen verdanke ich Herrn Prof. Dr. Dittmar Graf. Ihm möchte ich an dieser Stelle für den fachlichen Rat, die Unterstützung, und den Raum für konstruktive Diskussionen danken.

Ebenfalls möchte ich auch Herrn Prof. Dr. Hans-Peter Ziemek für die Begutachtung meiner Arbeit danken.

Fachliche Gespräche, intensiver Austausch und konstruktive Kritik mit anderen Doktorandinnen und Doktoranden haben meine Forschung in dieser Zeit bereichert. Besonders danken möchte ich an dieser Stelle Frau Dr. Nicola Lammert, Christoph Lammers, Sabine Dreyer, Sandra Fischer, Nina Wolf und Vera Scholz, die immer eine Diskussion ermöglichten sowie Frau Dr. Patricia Jelemska, die mir den Zugang zur qualitativen Forschung eröffnet hat.

Vielen Dank an die gesamte Fachgruppe «Didaktik der Biologie» der TU Dortmund für die offene Arbeitsatmosphäre, die mich während meiner Forschungstätigkeit begleitet hat.

Die Bereitschaft von Lehrerinnen und Lehrern, aber auch Schülerinnen und Schülern, bildete die Grundlage für die Datengewinnung dieser Promotion. Dafür möchte ich an dieser Stelle den Beteiligten danken.

Mein besonderer Dank gilt meinem Partner und meiner Familie für die bedingungslose Unterstützung, verständnisvolle Rücksicht und Schaffung von Freiräumen über einen langen, von Höhen und Tiefen der Forschung geprägten Zeitraum.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Evolutionstheorie ist eine der bedeutendsten Theorien der Naturwissenschaften, sie kann die enorme Vielfalt des Lebens faszinierend überzeugend und dabei einfach erklären. Kenntnis und vor allem auch Verständnis der Evolutionstheorie sollten zur Allgemeinbildung gehören und deshalb auch in der Sekundarstufe I im schulischen Unterricht vermittelt werden. Allerdings wird diese meist erst am Ende der Sekundarstufe I vermittelt und Forschungsergebnisse zeigen neben einem nur unbefriedigenden Verständnis zahlreiche alternative Vorstellungen von Schülern, aber auch von Studenten und Erwachsenen auf.

In dieser Studie werden das Verständnis der Evolutionstheorie, die Akzeptanz der Evolution und die Vorstellungsentwicklung bei jüngeren Lernenden im Hinblick auf eine Conceptual Reconstruction im Zusammenhang mit einer Unterrichtsintervention zur Anpassung untersucht. Eine frühe und wiederholte Vermittlung der Evolutionstheorie kann dazu beitragen, ein verbessertes Verständnis durch kausale Erklärungen im Hinblick auf eine evolutionsbiologische Grundbildung zu erreichen, ist allerdings für diese Altersstufe in den Lehrplänen nicht vorgesehen. Die Daten dieser quasiexperimentellen Feldstudie im Prä-Posttest-Design wurden sowohl quantitativ mit Hilfe eines Fragebogens bei insgesamt 710 Schülern, als auch qualitativ anhand von Leitfadeninterviews bei 27 Schülern der 5. und 6. Klassenstufen an Gymnasien und Gesamtschulen erhoben.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Schüler eine positive Einstellung zur Evolution und ein moderates Verständnis der Evolution haben, die allerdings in keinem Zusammenhang stehen. Die Akzeptanz der Evolution ist bei muslimischen Schülern am geringsten ausgeprägt. Die Schüler zeigen in Fragebogen und Interview ein inkonsistentes, kontextabhängiges Antwortverhalten im Zusammenhang mit dem Anpassungsprozess. Divergierende Vorstellungen, Unsicherheiten und Instabilität der Erklärungen, deuten auf spontan generierte Erklärungen hin. Finalistische Vorstellungen treten vor allem bei Rekonstruktion gegebener Anpasstheiten als Anpassungsnotwendigkeit, Anpassungswille und Anpassungszwang auf und sind häufiger als lamarckistische Vorstellungen vertreten, welche zur Erklärung des Weges der Anpassung verwendet werden. Die Schüler haben keine Vorstellung von Variation, lehnen aber die Vererbung erworbener Merkmale ab.

Durch Unterricht zur Selektionstheorie entwickelte sich das Verständnis der Schüler in eine fachlich angemessene Richtung. Dieser Effekt ist im Vergleich zur Kontrollgruppe groß. In Interviews wurden Variation und selektive Konzepte, vor allem das Konzept des selektiven Überlebens, bei der Erklärung der Anpasstheit nach dem Unterricht berücksichtigt. Die Ergebnisse belegen eine Verringerung nicht nur lamarckistischer, sondern auch finalistischer Vorstellungen, wobei das Ausmaß kontextabhängig ist und Selektion noch kein für alle Schüler allgemeines Erklärungsprinzip darstellt. Vorstellungen von dichotomer Variation und einem variationslosen Anpassungsergebnis zeigen indirekte Zielvorstellungen und mögliche Verständnisgrenzen auf. Nach dem Unterricht tritt ein Zusammenhang zwischen dem Verstehen der Evolution und der Einstellung zur Evolution auf.

Aus den Ergebnissen lassen sich Folgerungen für den Unterricht von Evolution ableiten. Eine Unterrichtsstrategie ohne kognitiven Konflikt und Thematisierung lamarckistischer Erklärungen hat sich erfolgreich gezeigt. Simulationsspiele können einen Beitrag zur Verständnisentwicklung leisten. In Aufgaben erleichtern die Rekonstruktion realer Beispiele, die Angabe von konkreten Bedingungen und Material einen Zugang zur Formulierung von Erklärungen. Finalistische Vorstellung sind zu berücksichtigen und adressieren.

Es lässt sich ableiten, dass die frühe Thematisierung der Selektionstheorie eine Möglichkeit zur angemessenen Entwicklung von Schülervorstellungen bietet. Ein Verständnis dafür wie sich Arten verändern, kann sich positiv auf die Akzeptanz der Evolution auswirken.

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
2	THEORETISCHE GRUNDLAGEN	3
2.1	Begriffsklärung: Wissen, Einstellungen, und Vorstellungen . . .	3
2.2	Änderung von Vorstellungen: Conceptual Change	5
2.2.1	Conceptual Change Ansätze	5
2.2.2	Frameworks oder p-prims? - Empirische Belege	8
2.2.3	Folgerungen für den Unterricht: Strategien für die In- struktion	10
2.3	Vorstellungen zur Evolution und Evolutionstheorie	11
2.4	Evolution in den Lehrplänen - ein Vergleich	13
3	STUDIEN AKZEPTANZ EVOLUTION - VORSTELLUNGEN EVOLUTIONS- THEORIE	21
3.1	Studien zur Akzeptanz der Evolution	22
3.1.1	Akzeptanz der Evolution bei Schülern	22
3.1.2	Akzeptanz der Evolution bei Studenten und Lehrern .	23
3.1.3	Akzeptanz der Evolution in der allgemeinen Bevölke- rung	26
3.1.4	Zusammenfassung Ergebnisse zur Akzeptanz der Evo- lution	26
3.2	Studien Vorstellungen Evolutionstheorie	27
3.2.1	Vorstellungen zur Evolution und Evolutionstheorie bei Kindern und Grundschulern	28
3.2.2	Vorstellungen zur Evolution und Evolutionstheorie bei Schülern der Sekundarstufe I und II	29
3.2.3	Vorstellungen zur Evolution und Evolutionstheorie bei Studenten	32
3.2.4	Zusammenfassung der Ergebnisse zu Vorstellungen zur Evolution und Evolutionstheorie	33
3.3	Interventionsstudien zur Evolution	35
3.3.1	Interventionsstudien mit Unterricht zum Themenbereich Evolution bei Grundschulern	35
3.3.2	Interventionsstudien mit Unterricht zum Themenbereich Evolution bei Schülern der Sekundarstufe I und II . . .	35
3.3.3	Interventionsstudien mit Unterricht zum Themenbereich Evolution bei Studenten	40

3.3.4	Zusammenfassung der Ergebnisse zu Interventionsstudien zur Evolution	42
4	FRAGESTELLUNG UND DESIGN DER STUDIE	45
4.1	Forschungsfragen	46
4.2	Design der Interventionsstudie	47
5	KONZEPTION UNTERRICHTSREIHE „ANPASSUNG DURCH SELEKTION“	49
5.1	Fachdidaktische Konzeption der Unterrichtsreihe	49
5.2	Konzept Unterrichtseinheit „Anpassung durch Selektion“	55
5.3	Übersicht Unterrichtseinheit Einführung der Selektionstheorie	59
6	MATERIAL UND METHODEN	63
6.1	Untersuchungsdesign	63
6.2	Untersuchungszeitraum und Stichprobe	63
6.3	Quantitative Erhebung	63
6.3.1	Messinstrument Fragebogen	63
6.3.2	Datenanalyse	72
6.4	Qualitative Erhebung	76
6.4.1	Untersuchungsfeld: Auswahl der Schüler und Durchführung der Interviews	76
6.4.2	Interviewleitfaden	77
6.4.3	Aufbereitung der erhobenen Materials und Auswertung der Interviews	84
7	ERGEBNISSE – QUANTITATIVE ERHEBUNG	87
7.1	Stichprobe	87
7.2	Einstellungen zur Evolution	89
7.2.1	Einstellungen zur Evolution - Intervention	89
7.2.2	Einstellungen zur Evolution - Schulform, Klassenstufe, Geschlecht, Interesse an Biologie, Glaubensrichtung	93
7.3	Verstehen - Veränderung von Arten	99
7.3.1	Verständnis der Veränderung von Arten - Intervention	99
7.4	Verstehen - Ablehnung der Vererbung erworbener Eigenschaften	102
7.4.1	Verstehen - Ablehnung der Vererbung erworbener Eigenschaften - Intervention	102
7.4.2	Verstehen - Ablehnung der Vererbung erworbener Eigenschaften - Schulform, Klassenstufe, Geschlecht, Interesse an Biologie, Glaubensrichtung	105
7.5	Vorstellungen zum Artkonzept	107
7.5.1	Vorstellung zum Artkonzept - Intervention	107
7.5.2	Vorstellung zum Artkonzept - Schulform, Klassenstufe, Geschlecht, Interesse an Biologie, Glaubensrichtung	110

7.6	Verstehen - Vorstellungen Evolutionsmechanismen	111
7.6.1	Verstehen von Evolutionsmechanismen - Intervention	111
7.6.2	Vorstellungen zu Evolutionsmechanismen - Intervention	116
7.6.3	Verstehen von Evolutionsmechanismen - Schulform, Klassenstufe, Geschlecht, Interesse an Biologie, Glaubensrichtung	135
7.7	Zusammenfassung der Ergebnisse der untersuchten Subgruppen	138
7.8	Zusammenhänge „Einstellung zur Evolution“ - „Verstehen von Evolution“	140
8	ERGEBNISSE – QUALITATIVE ERHEBUNG	153
8.1	Einstellungen und Vorstellungen - einzelne Themengebiete des Leitfadens	153
8.1.1	Interviews vor dem Unterricht zur Anpassung durch Selektion	153
8.1.2	Interviews nach dem Unterricht zur Anpassung durch Selektion	178
8.2	Einzelfallanalysen: Schülervorstellungen zur Anpassung	203
8.2.1	Interview Sven	203
8.2.2	Interview Pia	213
8.2.3	Interview Lara	223
8.2.4	Interview Michael	236
8.2.5	Interview Nicola	252
8.2.6	Interview Paul	264
8.2.7	Strukturierung der Schülerkonzepte, Vergleich der Konzepte aus den Einzelfallanalysen	277
9	DISKUSSION DER ERGEBNISSE	285
9.1	Zusammenführung der Ergebnisse - Forschungsfragen	285
9.1.1	Einstellungen der Schüler zur Evolution	285
9.1.2	Verständnis der Schüler von Evolution und Vorstellungen zu Evolutionsmechanismen im Hinblick auf den Anpassungsprozess	287
9.1.3	Entwicklung des Verständnisses der Evolution bei Schülern zu Beginn der Sekundarstufe I durch Unterricht zur Selektionstheorie	290
9.2	Reflektion der Unterrichts - Konsequenzen für Unterricht	294
9.2.1	Kritischer Rückblick auf Erhebungsmethoden und Messinstrumente	294
9.2.2	Reflektion des Unterrichts sowie Konsequenzen und Leitlinien für Unterricht zur Selektionstheorie	295
	Literaturverzeichnis	298

I	ANHANG	317
A	ANHANG A UNTERRICHTSREIHE	319
B	ANHANG B FRAGEBÖGEN	383
	B.1 Fragebogen Vortest	383
	B.2 Fragebogen Nachtest	390
C	ANHANG C ITEMHÄUFIGKEITEN	397
D	ANHANG D BEGRIFFSHÄUFIGKEITEN	409

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1	Einstellungsmodell nach LAMMERT (2012)	4
Abbildung 2	Übersicht über Unterrichtsintervention und Studiendesign	47
Abbildung 3	Mittelwerte der einzelnen Items der Kategorie „Einstellung zur Evolution“ der Versuchs- bzw. Kontrollgruppe im Vor- und Nachtest	91
Abbildung 4	Häufigkeiten des Scores „Einstellung zur Evolution“ der Gesamtgruppe im Vortest	92
Abbildung 5	Häufigkeiten des Scores „Einstellung zur Evolution“ von Versuchs- und Kontrollgruppe im Nachtest	94
Abbildung 6	Profildiagramm der Veränderung des Scoremittelwertes der Gesamtgruppe „Einstellung zur Evolution“ zwischen Vor- und Nachtest in Abhängigkeit von der Glaubensrichtung	99
Abbildung 7	Mittelwerte der einzelnen Items der Kategorie „Veränderung von Arten“ der Versuchs- bzw. Kontrollgruppe im Vor- und Nachtest	101
Abbildung 8	Mittelwerte der einzelnen Items der Kategorie „Vererbung erworbener Merkmale“ der Versuchs- bzw. Kontrollgruppe im Vor- und Nachtest	103
Abbildung 9	Häufigkeiten des Scores „Ablehnung der Vererbung erworbener Merkmale“ der Gesamtgruppe im Vortest . . .	104
Abbildung 10	Häufigkeiten des Scores Ablehnung der „Vererbung erworbener Merkmale“ von Versuchs- und Kontrollgruppe im Nachtest	106
Abbildung 11	Mittelwerte der einzelnen Items der Kategorie „Vorstellungen zum Artkonzept“ der Versuchs- bzw. Kontrollgruppe im Vor- und Nachtest.	109
Abbildung 12	Häufigkeiten des Scores „Vorstellungen zum Artkonzept“ der Gesamtgruppe im Vortest	110
Abbildung 13	Häufigkeiten des Scores „Vorstellungen zum Artkonzept“ von Versuchs- und Kontrollgruppe im Nachtest.	111
Abbildung 14	Mittelwerte der einzelnen Items der Kategorie „Verstehen von Evolutionsmechanismen“ der Versuchs- bzw. Kontrollgruppe im Vor- und Nachtest	114

Abbildung 15	Häufigkeiten des Scores „Verstehen von Evolutionsmechanismen“ der Gesamtgruppe im Vortest	115
Abbildung 16	Häufigkeiten des Scores „Verstehen von Evolutionsmechanismen“ von Versuchs- und Kontrollgruppe im Nachtest	117
Abbildung 17	Prozentuale Verteilung der Vorstellungen zur Erklärungen der Angepasstheit einer Kategorie von vier Items bei Probanden der Versuchsgruppe und Kontrollgruppe im Nachtest	130
Abbildung 18	Mittelwerte der Scores von „Vorstellungen zu Evolutionsmechanismen“ der Versuchs- bzw. Kontrollgruppe im Vor- und Nachtest	131
Abbildung 19	Prozentuale Verteilung der Anzahl einheitlich darwinisch, finalistisch und lamarckistisch beantworteter Items der Versuchsgruppe im Vortest und Nachtest	132
Abbildung 20	Prozentuale Verteilung der kodierten Textstellen der offenen Frage des Vortests und Nachtests bei Versuchsgruppe und Kontrollgruppe, prozentuale Angaben beziehen sich auf einen Messzeitpunkt	133
Abbildung 21	Veränderung des Scoremittelwertes „Verstehen von Evolution“ zwischen Vor- und Nachtest in Abhängigkeit von der Glaubensrichtung	138
Abbildung 22	Modell der Zusammenhänge zwischen Konstrukten und unabhängigen Variablen der Gesamtgruppe im Vortest aufgrund von Korrelationen und multiplen Regressionen	146
Abbildung 23	Modell der Zusammenhänge zwischen Konstrukten und unabhängigen Variablen der Gesamtgruppe im Nachtest aufgrund von Korrelationen und multiplen Regressionen	148
Abbildung 24	Modell der Zusammenhänge zwischen Konstrukten und unabhängigen Variablen der gymnasialen Versuchsgruppe im Nachtest aufgrund von Korrelationen und multiplen Regressionen	150
Abbildung 25	Modell der Zusammenhänge zwischen Konstrukten und unabhängigen Variable der gymnasialen Kontrollgruppe im Nachtest aufgrund von Korrelationen und multiplen Regressionen	151
Abbildung 26	Häufigkeit der genannten Begriffszusammenhänge . . .	181
Abbildung 27	Beispiele von Legebildes der Gruppe 1 und Gruppe 2 zur Auswirkung der Umweltänderung beim Birkenspanner .	191

Abbildung 28	Beispiele von Legebildes der Gruppe 5 und Gruppe 6 zur Auswirkung der Umweltänderung beim Birkenspanner .	192
Abbildung 29	Legebild von Sven zur Veränderung der Birkenspanner	206
Abbildung 30	Legebild von Pia zur Veränderung der Birkenspanner .	216
Abbildung 31	Legebild von Lara zur Veränderung der Birkenspanner	227
Abbildung 32	Legebild von Michael zur Veränderung der Birkenspan- ner	241
Abbildung 33	Legebild von Nicola zur Veränderung der Birkenspanner	256
Abbildung 34	„Weg-Schema“ der Anpassung	280

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1	Übersicht über das Thema Evolution in den Lehrplänen der Sekundarstufe I der unterschiedlichen Bundesländer	18
Tabelle 3	Rotierte Mustermatrix des Vortests und Faktormatrix des Nachtests zur Erfassung der Dimensionalität des Kon- strukts »Einstellung zu Evolution«	67
Tabelle 4	Indikatoren und Reliabilität der Skala »Einstellung zu Evolution«	68
Tabelle 5	Faktormatrix des Vor- und Nachtests zur Erfassung der Dimensionalität des Konstrukts » Veränderung von Ar- ten «	69
Tabelle 6	Indikatoren und Reliabilität der Skala »Veränderung von Arten«	69
Tabelle 7	Faktormatrix des Vor- und Nachtests zur Erfassung der Dimensionalität des Konstrukts » Vererbung erworbener Merkmale «	70
Tabelle 8	Indikatoren und Reliabilität der Skala » <i>Vererbung erwor- bener Merkmale</i> «	71
Tabelle 9	Rotierte Mustermatrix des Vortests und Faktormatrix des Nachtests zur Erfassung der Dimensionalität des Kon- strukts »Artkonzept«	72
Tabelle 10	Indikatoren und Reliabilität der Skala »Artkonzept« . . .	72
Tabelle 11	Rotierte Mustermatrix des Vor- und Nachtests zur Erfas- sung der Dimensionalität des Konstrukts »Verstehen von Evolutionsmechanismen«	73

Tabelle 12	Subskala 1 Konstrukts »Verstehen von Evolutionsmechanismen«	74
Tabelle 13	Subskala 2 Konstrukts »Verstehen von Evolutionsmechanismen«	75
Tabelle 14	Klassifikation von Effektgrößen nach OSTEEN & BRIGHT (2010)	76
Tabelle 16	Kategorisierung der „Einstellung zur Evolution“	91
Tabelle 17	Ergebnisse eines t-Tests für unabhängige Stichproben für die „Einstellung zur Evolution“ in Abhängigkeit von dem Treatment zu beiden Messzeitpunkten	92
Tabelle 18	Ergebnisse eines t-Tests für abhängige Stichproben für die „Einstellung zur Evolution“ in Abhängigkeit von dem Messzeitpunkt	93
Tabelle 19	Deskriptive Statistik bzgl. „Einstellung zur Evolution“ der Gesamtstichprobe im Vortest in Abhängigkeit von Schulform und Klassenstufe	95
Tabelle 20	Deskriptive Statistik bzgl. „Einstellung zur Evolution“ der Versuchs- und Kontrollgruppe im Nachtest in Abhängigkeit von Schulform und Klassenstufe	95
Tabelle 21	Deskriptive Statistik bzgl. „Einstellungsänderungen zur Evolution“ als Mittelwertdifferenz der Versuchs- und Kontrollgruppe in Abhängigkeit von Schulform und Klassenstufe	95
Tabelle 22	Ergebnisse der t-Tests und Mann-Whitney-U-Tests für unabhängige Stichproben für die „Einstellungsänderungen zur Evolution“ der Versuchs- und Kontrollgruppe in Abhängigkeit von Schulform und Klassenstufe	96
Tabelle 23	Deskriptive Statistik bzgl. der „Einstellung zur Evolution“ der gesamten Stichprobe im Vortest in Abhängigkeit von Geschlecht, Interesse an Biologie und der Glaubensrichtung	96
Tabelle 24	Ergebnisse der Mann-Whitney-U-Tests für die „Einstellung zur Evolution“ im Vortest in Abhängigkeit von der Glaubensrichtung	97
Tabelle 25	Deskriptive Statistik bzgl. der „Einstellung zur Evolution“ der Versuchs- und Kontrollgruppe im Nachtest in Abhängigkeit von dem Geschlecht, Interesse an Biologie und der Glaubensrichtung	98

Tabelle 26	Deskriptive Statistik bzgl. der „Einstellungsänderungen zur Evolution“ der Versuchs- und Kontrollgruppe in Abhängigkeit von Geschlecht, Interesse an Biologie und der Glaubensrichtung	98
Tabelle 27	Kategorisierung Ablehnung „Vererbung erworbener Merkmale“	103
Tabelle 28	Ergebnisse eines t-Tests für unabhängige Stichproben für die Ablehnung der „Vererbung erworbener Merkmale“ in Abhängigkeit von dem Treatment zu beiden Messzeitpunkten	104
Tabelle 29	Ergebnisse eines t-Tests für abhängige Stichproben für die Ablehnung der „Vererbung erworbener Merkmale“ in Abhängigkeit dem Messzeitpunkt	105
Tabelle 30	Deskriptive Statistik bzgl. der Ablehnung „Vererbung erworbener Eigenschaften“ der gesamten Stichprobe im Vortest und der Versuchsgruppe im Nachtest in Abhängigkeit von Schulform und Klassenstufe	105
Tabelle 31	Deskriptive Statistik bzgl. der Ablehnung der „Vererbung erworbener Eigenschaften“ der Gesamtgruppe im Vortest und Versuchsgruppe im Nachtest in Abhängigkeit von dem Geschlecht, dem Interesse an Biologie und der Glaubensrichtung	107
Tabelle 32	Deskriptive Statistik bzgl. der Änderung der Ablehnung der „Vererbung erworbener Merkmale“ der Versuchsgruppe im Nachtest in Abhängigkeit von dem Geschlecht, dem Interesse an Biologie und der Glaubensrichtung	108
Tabelle 33	Ergebnisse eines t-Tests für unabhängige Stichproben für die „Vorstellungen zum Artkonzept“ in Abhängigkeit von dem Treatment zu beiden Messzeitpunkten	109
Tabelle 34	Ergebnisse eines t-Tests für abhängige Stichproben für die „Vorstellungen zum Artkonzept“ in Abhängigkeit dem Messzeitpunkt	110
Tabelle 35	Deskriptive Statistik der „Vorstellung zum Artkonzept“ der gesamten Stichprobe im Vortest in Abhängigkeit von Schulform und Klassenstufe	112
Tabelle 36	Deskriptive Statistik bzgl. der „Vorstellung zum Artkonzept“ der gesamten Stichprobe im Vortest in Abhängigkeit von dem Geschlecht, dem Interesse an Biologie und der Glaubensrichtung	112
Tabelle 37	Kategorisierung „Verstehen von Evolutionsmechanismen“	115

Tabelle 38	Ergebnisse eines t-Tests für unabhängige Stichproben zum „Verstehen von Evolutionsmechanismen“ in Abhängigkeit von dem Treatment zu beiden Messzeitpunkten . . .	115
Tabelle 39	Ergebnisse eines t-Tests für abhängige Stichproben für das „Verstehen von Evolutionsmechanismen“ in Abhängigkeit dem Messzeitpunkt	116
Tabelle 40	Prozentuale Häufigkeiten der Antwortalternativen von Schülern der Interventions- und Kontrollgruppe zu Vererbung von Variation (F24) zu beiden Messzeitpunkten .	116
Tabelle 41	Prozentuale Häufigkeiten der Antwortalternativen von Schülern der Interventions- und Kontrollgruppe zu Auswirkung von Mutationen (F26) zu beiden Messzeitpunkten	118
Tabelle 42	Prozentuale Häufigkeiten der Antwortalternativen von Schülern der Interventions- und Kontrollgruppe zu der direkten Vererbung erworbener Merkmale (F17) zu beiden Messzeitpunkten	119
Tabelle 43	Prozentuale Häufigkeiten der Antwortalternativen von Schülern der Interventions- und Kontrollgruppe zur Vererbung erworbener Merkmale (F18) zu beiden Messzeitpunkten	120
Tabelle 44	Prozentuale Häufigkeiten der Antwortalternativen von Schülern der Interventions- und Kontrollgruppe zu der Evolution des Elefantenrüssels bzw. Giraffenhalses (F19) zu beiden Messzeitpunkten	122
Tabelle 45	Prozentuale Häufigkeiten der Antwortalternativen von Schülern der Interventions- und Kontrollgruppe zu der Entwicklung des weißen Fells beim Fuchs bzw. Eisbären (F20) zu beiden Messzeitpunkten	123
Tabelle 46	Prozentuale Häufigkeiten der Antwortalternativen von Schülern der Interventions- und Kontrollgruppe zu der Entwicklung grünen bzw. schwarzen Körperfarbe von Heuschrecken bzw. Nachtfaltern (F25) zu beiden Messzeitpunkten	124
Tabelle 47	Prozentuale Häufigkeiten der Antwortalternativen von Schülern der Interventions- und Kontrollgruppe zu der Entwicklung der Laufgeschwindigkeit bzw. Sprungfähigkeit bei Geparden bzw. Kängurus (F22) zu beiden Messzeitpunkten	126

Tabelle 48	Prozentuale Häufigkeiten der Antwortalternativen von Schülern der Interventions- und Kontrollgruppe zu Artveränderung (F21) zu beiden Messzeitpunkten	127
Tabelle 49	Ergebnisse eines t-Tests für unabhängige Stichproben für den Vergleich der „Vorstellungen zu Evolutionsmechanismen“ von Versuchs- und Kontrollgruppe in Abhängigkeit von dem Treatment zu beiden Messzeitpunkten .	129
Tabelle 50	Ergebnisse eines t-Tests für abhängige Stichproben für die für „Vorstellung zu Evolutionsmechanismen“ in Abhängigkeit von dem Messzeitpunkt	129
Tabelle 51	Häufigkeit der Kodierungen verschiedener Kategorien der offenen Frage bei Versuchs- und Kontrollgruppe zu beiden Messzeitpunkten	132
Tabelle 52	Häufigkeit der Kategorien fachlich richtiger Erklärungsbestandteile der offenen Frage bei Versuchs- und Kontrollgruppe zu beiden Messzeitpunkten	134
Tabelle 53	Häufigkeit der Kategorien fachlich falscher Erklärungsbestandteile der offenen Frage bei Versuchs- und Kontrollgruppe zu beiden Messzeitpunkten	134
Tabelle 54	Häufigkeit der Kategorien neutraler Erklärungsbestandteile der offenen Frage bei Versuchs- und Kontrollgruppe zu beiden Messzeitpunkten	135
Tabelle 55	Häufigkeit verschiedener Konzepte in einer Erklärung .	136
Tabelle 56	Deskriptive Statistik bzgl. des „Verstehens von Evolutionsmechanismen“ der Gesamtgruppe im Vortest und der Versuchsgruppe im Nachtest in Abhängigkeit von Schulform und Klassenstufe	136
Tabelle 57	Deskriptive Statistik bzgl. der Änderung des „Verstehens von Evolution“ der Versuchsgruppe in Abhängigkeit von Schulform und Klassenstufe	136
Tabelle 58	Deskriptive Statistik bzgl. des „Verstehens von Evolutionsmechanismen“ der Gesamtgruppe im Vortest und der Versuchsgruppe im Nachtest in Abhängigkeit von dem Geschlecht und dem Interesse an Biologie	137
Tabelle 59	Deskriptive Statistik bzgl. der Änderung des „Verstehens von Evolution“ der Versuchsgruppe in Abhängigkeit von dem Geschlecht und dem Interesse an Biologie	137
Tabelle 60	Mittelwerte der erhobenen Konstrukte der Versuchs- bzw. Kontrollgruppe im Vor- bzw. Nachtest	139

Tabelle 61	Übersicht über die Ergebnisse der Mittelwertvergleiche einzelner Konstrukte in Abhängigkeit von Schulform und Klassenstufe, Geschlecht, Interesse an Biologie und der Glaubensrichtung	141
Tabelle 62	Korrelationen zwischen dem „Verstehen von Evolution“ und der „Einstellung zur Evolution“, der „Ablehnung der Vererbung erworbener Merkmale“ und „Vorstellungen zum Artkonzept“ bei der Gesamtgruppe, sowie gymnasialer Versuchsgruppe und Kontrollgruppe im Vergleich beider Testzeitpunkte	142
Tabelle 63	Korrelationen zwischen der „Einstellung zur Evolution“ und dem „Verstehen von Evolution“ bei verschiedenen Subgruppen der Versuchsgruppe im Vergleich beider Testzeitpunkte	143
Tabelle 64	Korrelationen zwischen dem „Verstehen von Evolution“ und der „Ablehnung der Vererbung erworbener Merkmale“ bei verschiedenen Subgruppen der Versuchsgruppe im Vergleich beider Testzeitpunkte	144
Tabelle 65	Korrelationen zwischen „Vorstellungen zum Artkonzept“ und dem „Verstehen von Evolution“ bei verschiedenen Subgruppen der Versuchsgruppe im Vergleich beider Testzeitpunkte	144
Tabelle 66	Multiple Regression des „Verstehens der Evolution“ der Gesamtgruppe im Vortest	146
Tabelle 67	Multiple Regression der „Einstellung zur Evolution“ der Gesamtgruppe im Vortest	147
Tabelle 68	Multiple Regression des „Verstehens der Evolution“ der Gesamtgruppe im Nachtest	147
Tabelle 69	Multiple Regression der „Einstellung zur Evolution“ der Gesamtgruppe im Nachtest	149
Tabelle 70	Durchschnittliche Position der Lebewesen bezogen auf mögliche Positionen der Zeitlinie.	156
Tabelle 71	Prozentuale Zustimmung bzw. Ablehnung der Möglichkeit von Nachkommen aus inter- und intra-spezifischen Kreuzungen	176
Tabelle 72	Häufigkeit der Nennung von Begriffen und Anzahl versch. Begriffsverbindungen	180
Tabelle 73	Häufigkeiten von gruppierten Erklärungen der Schüler in Bezug auf eine Veränderung von Braunbären zu beiden Interviewzeitpunkten	190

Tabelle 74	Prozentuale Zustimmung bzw. Ablehnung der Möglichkeit von Nachkommen aus inter- und intra-spezifischen Kreuzungen	200
Tabelle 75	Häufigkeiten der Begründungen zur Verwandtschaft / Systematik.	201
Tabelle 76	Häufigkeiten der Begründungen zu Ähnlichkeiten und Unterschieden.	201
Tabelle 77	Häufigkeiten nicht fachlicher Begründungen	201
Tabelle 78	Gegenüberstellung der von Sven zur Erklärung verwendeten Konzepte	214
Tabelle 79	Gegenüberstellung der von Pia zur Erklärung verwendeten Konzepte	224
Tabelle 80	Gegenüberstellung der von Lara zur Erklärung verwendeten Konzepte 1	237
Tabelle 81	Gegenüberstellung der von Lara verwendeten Konzepte 2	238
Tabelle 82	Gegenüberstellung der von Michael zur Erklärung verwendeten Konzepte 1	251
Tabelle 83	Gegenüberstellung der von Michael zur Erklärung verwendeten Konzepte 2	252
Tabelle 84	Gegenüberstellung der von Nicola zur Erklärung verwendeten Konzepte 1	265
Tabelle 85	Gegenüberstellung der von Nicola zur Erklärung verwendeten Konzepte 2	266
Tabelle 86	Gegenüberstellung der von Paul zur Erklärung verwendeten Konzepte	276
Tabelle 87	Strukturierung der Schülerkonzepte zu Artveränderung und Anpassung 1	277
Tabelle 88	Strukturierung der Schülerkonzepte zu Artveränderung und Anpassung 2	278
Tabelle 89	Strukturierung der Schülerkonzepte zu Artveränderung und Anpassung 3	279
Tabelle 90	Strukturierung der Schülerkonzepte zu Art und Artbegriff 1	281
Tabelle 91	Strukturierung der Schülerkonzepte zu Art und Artbegriff 2	282
Tabelle 92	Strukturierung der Schülerkonzepte zu Variation 1	283
Tabelle 93	Strukturierung der Schülerkonzepte zu Variation 2	284

EINLEITUNG

„Ich möchte den Leser inspirieren, unsere eigene Existenz als Geheimnis zu verstehen, das auf den ersten Blick atemberaubend ist; gleichzeitig möchte ich ihm das aufregende an der Tatsache vermitteln, dass für dieses Geheimnis eine unserem Verständnis zugängliche, elegante Lösung gefunden wurde. Mehr noch ich möchte den Leser davon überzeugen, dass die Darwinische Weltsicht nicht nur zufällig richtig ist, sondern dass sie die einzig bekannte Theorie ist, die das Geheimnis unserer Existenz überhaupt lösen konnte.“ (Dawkins 2008, S.8)

Die Überraschung sowohl über die fehlende Kenntnis der Evolutionstheorie als auch über das fehlende Bewusstsein sowohl über die Ursprünge der eigenen Existenz und als auch über die Erklärung der ungeheuren Komplexität der Organismen veranlasste Dawkins sein Buch „Der blinde Uhrmacher“ zu schreiben, um die Grundlagen der Evolutionstheorie in einfacher Form zu vermitteln (vgl. DAWKINS 2008). In Analogie bildete das fehlende Verständnis und vor allem das Ausmaß alternativer Vorstellungen bei Schülern¹, Studenten und Erwachsenen, welches in vielen Studien aufgezeigt wurde, den Ausgangspunkt der hier vorgelegten Arbeit.

Die Faszination der Evolutionstheorie besteht darin, die enorme Vielfalt des Lebens mit wenigen Kernaussagen überzeugend zu erklären, wobei „im Gegensatz zu anderen [...] Ideen in der Wissenschaftsgeschichte [...] die Vorstellung der natürlichen Selektion tatsächlich bemerkenswert einfach“ (GOULD 1999, S. 169-170) ist. Allerdings erschließt sich diese Einfachheit nach Graf und Hamdorf erst nach einem Verständnis der zentralen Konzepte (2011). Die Evolutionstheorie ist einer der bedeutendsten, aussagekräftigsten Theorien der Naturwissenschaften, und gibt den Teilgebieten der Biologie einen gemeinsamen kausalen Rahmen (vgl. LAMMERT 2012). Sie hat enorme Bedeutung für das Selbstverständnis des Menschen, aber auch ebenfalls in der Anwendung in anderen Wissenschaften, wie zum Beispiel der Evolutionsmedizin oder als Evolutionäre Algorithmen in der Informatik.

Aufgrund dieser besonderen Bedeutung gehören Kenntnis und Verständnis der Evolutionstheorie zur Allgemeinbildung und sollten deshalb entsprechend auch in der Sekundarstufe I im schulischen Unterricht vermittelt werden. In den meisten Bundesländern wird das Thema tatsächlich in der Sekundarstufe I

¹ Im ganzen Text wird aufgrund der besseren Lesbarkeit nur die maskuline Form gewählt. Dies impliziert keine Benachteiligung des anderen Geschlechts.

aufgegriffen, Forschungsergebnisse dokumentieren allerdings ein nur unbefriedigendes Verständnis und zahlreiche Fehlvorstellungen. Viele Forscher plädieren für eine frühe und – nach dem Spiralprinzip - aufbauende Vermittlung der Evolutionstheorie, damit Schüler eine fachlich angemessene Vorstellung entwickeln können. Dieser Ansatz wird in einem neuen Curriculum in Großbritannien bereits umgesetzt, wo Evolution unter dem Aspekt Anpassung und Vererbung als Thema in der vierten Klasse vorgesehen ist (NATIONAL CENTER FOR SCIENCE EDUCATION, 2012). Allerdings liegen gerade für jüngere Lernende in diesem Zusammenhang keine empirischen Ergebnisse aus Interventionsstudien vor. Diese Feldstudie untersucht das Verständnis der Evolutionstheorie und die Vorstellungsentwicklung bei jüngeren Lernenden im Zusammenhang mit einer Unterrichtsintervention zur Anpassung durch natürliche Selektion in realen Unterrichtssituationen, um Möglichkeiten als auch Grenzen des Unterrichtens dieses Themas bei jüngeren Schülern auszuloten.

THEORETISCHE GRUNDLAGEN

2.1 BEGRIFFSKLÄRUNG: WISSEN, EINSTELLUNGEN, UND VORSTELLUNGEN

In den Studien, in denen Einstellungen oder Vorstellungen zur Evolutionstheorie erforscht wurden, werden die jeweiligen Konstrukte von den Autoren nicht nur uneinheitlich als Einstellungen, Überzeugungen, Akzeptanz oder Vorstellungen benannt, sondern auch mit unterschiedlichen Instrumenten erhoben. Häufig fehlt, wie KONNEMANN ET AL. (2012) bemängeln, eine fundierte Definition der Konstrukte sowie verschiedene Konstrukte wie „Einstellungen“ und „Wissen“ werden durch dieselben Items in unterschiedlichen Forschungsarbeiten erhoben. Die Autoren argumentieren, „dass es sich bei der Akzeptanz der Evolutionstheorie nicht um ein rein kognitives Konstrukt handelt, sondern um eine subjektiv-bewertende Einstellung mit kognitiven, affektiven und verhaltensbezogenen Komponenten.“ (KONNEMANN ET AL. 2012, S. 55). Grundlage ihrer Argumentation sind in der Psychologie übliche Definitionen der Konstrukte und das Dreikomponentenmodell der Einstellung von EAGLY & CHAIKEN (1993).

Die Termini „Wissen“ und „Überzeugungen“ werden allerdings keineswegs einheitlich definiert wie SOUTHERLAND ET AL. (2001b) am Beispiel der Philosophie und Pädagogik ausführlich darlegen. Nach Platon ist Wissen begründete wahre Akzeptanz. Popper sieht Überzeugung als einen kognitiven Status an, welcher wahr oder falsch sein kann. In den Erziehungswissenschaften hingegen werden Wissen und Überzeugungen als Konstrukte mit überlappenden Dimensionen angesehen. Wissen kann unvollständig oder fehlerhaft sein, da es sich darauf bezieht, wovon eine Person überzeugt ist, dass es wahr ist. So wird Wissen als sachliche oder objektive Information, die als Ergebnis formalen Lernens entsteht und Überzeugungen als subjektiv persönlich angesehen. In der fachdidaktischen Lehr-/Lernforschung wird Wissen als evidenzbasiertes dynamisches Konstrukt angesehen; dies trifft auf Überzeugungen nicht zu, weil diese keine empirische Basis haben und fester strukturiert sowie statischer sind. Ebenso werden die Termini „Überzeugungen“ (beliefs) und „Akzeptanz“ von Wissenschaftlern unterschiedlich verwendet. Radikale Konstruktivisten sind der Ansicht, dass Wissen und Überzeugung so eng miteinander verbunden sind, dass sie nicht eindeutig getrennt werden können.

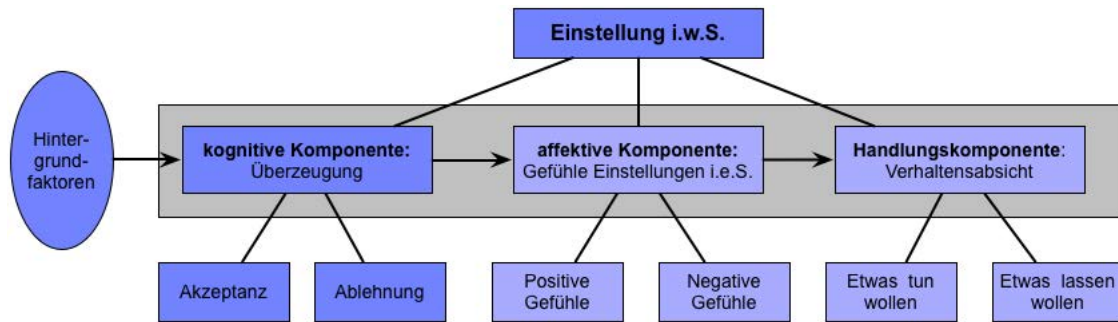


Abbildung 1: Einstellungsmodell nach LAMMERT (2012)

Unterscheidungen zwischen Termini, die auf der theoretischen Ebene komplex und konfus sind, verschwimmen auf der empirischen Ebene hoffnungslos. Erziehungswissenschaftler haben bis jetzt nicht überzeugend belegen können, dass diese Konstrukte klar getrennt werden können. Southerland et al. folgern, dass eine klare Trennung der Konstrukte „Wissen“ und „Überzeugung“ in der empirischen Forschung schwierig ist, da sie verbundene Effekte auf Messungen des Verständnisses und Lernens haben (vgl. SOUTHERLAND ET AL., 2001b).

LAMMERT (2012) weist ebenso auf das Fehlen einer einheitlichen Definition von Einstellung in der Literatur hin und definiert Einstellungen, Überzeugungen und Akzeptanz deshalb selbst: „Eine Einstellung ist die summarische Gesamtbewertung eines Einstellungsobjektes. Einstellungsobjekte können dabei Dinge, Situationen, Personen, Orte, eine Tätigkeit oder ähnliches sein, wobei die Bewertung der Einstellungsobjekte sowohl kognitiv (z.B. wahr, unwahr) als auch affektiv (z.B. gut, schlecht) erfolgen, bzw. in bestimmten Situationen handlungsleitend sein kann. Überzeugungen stellen dabei kognitive, subjektive Bewertungen eines Einstellungsobjektes dar, die durch Hintergrundfaktoren wie z.B. Geschlecht, Religion, Erfahrung, Wissen u.a. beeinflusst werden. Handelt es sich um eine positive Überzeugung, sprechen wir [...] von Akzeptanz, handelt es sich um eine negative Überzeugung, ist dies gleichzusetzen mit Ablehnung.“ (LAMMERT 2012, S. 38-39)

In dieser Studie wird auf ein Einstellungsmodell als Kombination von EAGLY & CHAIKEN (1993) und AJZEN (2005), welches von LAMMERT (2012) vorgeschlagen wurde, zurückgegriffen (siehe Abb. 1). Es wird in der Untersuchung die Akzeptanz der Evolution als positive Überzeugung gemessen, welche die kognitive Komponente der Einstellung im weiteren Sinne darstellt und durch Hintergrundfaktoren beeinflusst wird. Diese umfassen u.a. das Wissen, welches messtechnisch nicht als getrenntes Konstrukt erfasst werden kann. Die anderen Komponenten treten aufgrund des Themenbereiches und des Alters der Probanden in den Hintergrund.

Außerdem werden Vorstellungen als selbst konstruierte, subjektive Verständnisse aufgefasst (vgl. KRÜGER 2007), die von einem reinen reproduktiven Faktenwissen abzugrenzen sind und keinen bewertenden Aspekt haben.

Die Bedeutung von Vorstellungen in dieser Studie entspricht der folgenden Definition von LAMMERT (2012): "Eine Vorstellung ist eine sich im Arbeitsgedächtnis manifestierende Auffassung über einen Ausschnitt der Welt, die in der Regel subjektiv als wahr (mit der Realität übereinstimmend) oder sinnvoll angesehen wird. Eine Vorstellung kann bildhaft oder begrifflich sein. Sie wird aus den im Gedächtnis verankerten Wissensbeständen generiert und durch äußere Kontexte (Außenreize) sowie Einstellungen moduliert. Das Wissen weist in der Regel objektive (wissenschaftliches Wissen) und subjektive Bestandteile (episodisches Wissen, Erfahrungswissen) auf. Es sollte Ziel des Unterrichts sein, wissenschaftliches Wissen zu fördern." (LAMMERT 2012, S. 21)

Aus diesem Grunde erfolgt die Erhebung der Akzeptanz mit Hilfe von bewertenden Tatsachenaussagen, die Erhebung des Verständnisses bzw. der Vorstellungen mit Hilfe von kontextbasierten Items bzw. Aufgabenstellungen.

2.2 ÄNDERUNG VON VORSTELLUNGEN: CONCEPTUAL CHANGE

2.2.1 *Conceptual Change Ansätze*

Die kognitive Entwicklung kann durch Konzeptwechselforgänge charakterisiert werden. SINATRA ET AL. (2008) bezeichnen die Veränderung von vorhergehenden, etablierten Modellen über die Welt und das Erstellen neuer Sichtweisen als Conceptual Change. STARK (2002) verwendet diese Bezeichnung für die Ablösung von anfänglichen Fehlkzepten durch wissenschaftlich akzeptierte Konzepte.

Die beiden Erklärungen zeigen, dass unter den Forschern Einigkeit über die Tatsache eines Conceptual Change bei Entwicklung und Lernen besteht, allerdings sich Forscher noch uneinig sind, wie dieser Prozess genau abläuft (VOSNIADOU ET AL., 2008). Diese Uneinigkeit beruht auf unterschiedlichen Ansichten über die Manifestation und Organisation von Wissen. Aus diesem Grund gibt es nicht nur eine Conceptual Change Theorie, sondern unterschiedliche Ansätze mit uneinheitlichen Bezeichnungen wie z.B. conceptual growth, conceptual reorganisation oder conceptual reconstruction (vgl. KRÜGER 2007). Der Terminus „Conceptual Change“ wird in der Literatur sowohl für den Prozess, als auch für das Ergebnis verwendet. Im Folgenden werden zuerst verschiedene kognitive Ansätze unter dem Aspekt der Wissensorganisation dargestellt und anschließend Folgerungen, empirische Bezüge sowie unterrichtliche Umsetzungsmöglichkeiten angegeben.

Klassischer Ansatz des Konzeptwechsels von Posner und Strike

Der klassische Ansatz von Posner und Strike (POSNER ET AL., 1982) steht in Analogie zu der Entwicklung von Theorien in naturwissenschaftlichen Disziplinen nach KUHN (1976) und geht davon aus, dass das Lernen von Wissenschaften das Ersetzen von hartnäckigen, theorieartigen Fehlvorstellungen erfordert. Fehlvorstellungen werden als Konzepte von Lernenden angesehen, die systematische Fehlvorstellungen produzieren. Sie treten entweder als vorunterrichtliche Präkonzepte oder als Ergebnis einer Instruktion auf. Diese sind kohärent, fest verwurzelt und resistent gegenüber einem radikalen Wechsel. Akkomodation, bei der eine Modifizierung bestehender Wissensstrukturen nach PIAGET (1952) stattfindet, ist zentral für den Mechanismus des Conceptual Change. Nach Posner und Strike müssen für einen möglichen Konzeptwechsel vier Bedingungen erfüllt sein. Unzufriedenheit mit existierenden Vorstellungen (1.). Die neue Vorstellung muss nicht nur verständlich und rational begründbar sein (2.), sondern auch subjektiv plausibel sein und Probleme lösen können, an denen die ursprüngliche Vorstellung scheitert (3.). Außerdem sollte die Vorstellung sich fruchtbar erweisen und auf andere Bereiche übertragbar sein (4.).

DiSessas Sichtweise von Wissen in Teilen

DiSessa (1988, 1993) betrachtet das Wissenssystem von Novizen als unstrukturierte Kollektion vieler simpler Wissens Elemente, die er als phänomenologische Primitive (p-prims), bezeichnet. Diese atomistischen p-prims sind selbsterklärend und entstehen durch erfahrene Realität. Sie sind zu konzeptuellen Netzwerken organisiert. Lernen ist nach dieser Sichtweise ein Sammeln und Systematisieren von Wissensstücken in ein größeres Ganzes, wobei die p-prims nicht mehr isolierte, selbsterklärende Entitäten darstellen, sondern Teile eines größeren Systems, einer komplexeren Wissensstruktur werden (diSessa 1988, 1993). Nach diesem Ansatz können Wissen bzw. Schülervorstellungen bruchstückhaft und widersprüchlich sein und folglich geringe Kohärenz aufweisen (vgl. KRÜGER 2007).

Der Rahmentheorieansatz von Vosniadou

Konzepte sind bei Vosniadou in umfassende theoretische Strukturen eingebettet. Intuitive Konzepte bilden Rahmentheorien (Frameworks), die aufgrund eines Prozesses des spontanen Wissensgewinns auf der Basis kontextueller Alltagserfahrung gebildet werden (VOSNIADOU ET AL., 2008). Diese Rahmentheorien stellen kohärente Erklärungssysteme dar, die sich als initiale Konzepte früh in der Kindheit entwickeln, hochgradig vernetzt sind und sich über Jahre bewährt haben (vgl. STARK 2002). Vosniadou unterscheidet in Bezug auf ihre

Framework-Theorie vier Domänen des Denkens, die Physik, die Psychologie, die Mathematik und die Sprache. Jede Domäne hat eigene Prinzipien und Regeln und besteht nicht aus unverbundenen Wissensbestandteilen, sondern stellt ein kohärentes auf Prinzipien basierendes System dar. Wurde ein Objekt in eine Domäne kategorisiert, erbt es alle Merkmale und Eigenschaften der Entitäten, die zu dieser Domäne gehören. Fehlvorstellungen werden nach diesem Ansatz als synthetische Modelle angesehen, die durch Assimilation der wissenschaftlichen Information in ein vorhandenes, aber inkompatibles Wissen beim Lernen entstehen. Durch den Erwerb von neuem inkonsistenten Wissen entstehen Konflikte, wobei die Auflösung der internen Inkonsistenz zu allmählichem Fortschritt führt. Diese synthetischen Modelle sind nicht stabil, sondern dynamisch und ändern sich bei der Wissensentwicklung von Kindern konstant, wobei die Lernenden versuchen, ein kohärentes mentales Modell zu bilden (VOSNIADOU ET AL., 2008).

Der Kategorisierungsansatz von Chi

Einen anderen Erklärungsansatz wählt CHI (1992). Ihrer Auffassung nach ist Kategorisierung ein wichtiger Prozess beim Lernen. Sie unterscheidet drei ontologische Kategorien Dinge, Prozesse und Zustände. Diese weisen exklusive Eigenschaften auf und werden in weitere Unterkategorien ausdifferenziert. Fehlvorstellungen sind nach diesem Ansatz ontologische Kategorisierungsfehler und naives, fachlich falsches Wissen wird nicht den korrekten Kategorien zugeordnet. Fehler entstehen, wenn ein neues Konzept oder Phänomen keiner Kategorie zugeordnet werden kann und als Folge in eine höhere oder laterale Kategorie eingeordnet wird. Ein Conceptual Change erfordert nach diesem Ansatz das Wahrnehmen falsch kategorisierter Konzepte und „Reparatur“ des mentalen Modells durch Erstellen neuer Kategorien oder eine andere Einordnung der Konzepte.

Ein Vergleich der Conceptual Change Ansätze

Alle dargestellten Ansätze entstammen der kognitiven bzw. konstruktivistischen Tradition, wobei durch den Prozess des Konzeptwechsels kohärentes und nützliches Wissen vom Lernenden durch einen graduellen Prozess konstruiert wird. Unterschiede der Ansätze lassen sich in der Organisation und Rolle des Vorwissens ausmachen. So stellt das Vorwissen nach den Rahmentheorieansatz und Kategorisierungsansatz ein kohärentes mentales Modell dar, besteht hingegen nach dem Ansatz der p-prims aus bruchstückhaftem und widersprüchlichem Alltagswissen. Das Vorwissen wird in dem Ansatz von Chi nur negativ bewertet, da es ihrer Ansicht nach ein Lern-Hindernis darstellt. Vosniadou schreibt diesem eine ambivalente Rolle zu und betrachtet es als Hin-

dernis und Medium. diSessa hat im Gegensatz dazu eine positive Sichtweise des naiven Schülerwissens, für ihn bildet es die Basis für einen möglichen Conceptual Change.

Zwischen diesen drei Ansätzen existieren allerdings Übergänge. Die Kategorisierung kann als ein Spezialfall des Rahmentheorieansatzes betrachtet werden, wobei beide Ansätze explizit defizitorientiert sind (vgl. STARK 2002). Der Rahmentheorieansatz von VOSNIADOU ET AL. (2008) ist aber prinzipiell nicht inkonsistent mit diSessas Ansicht vom p-prims als Element des Wissenssystems. Ihrer Meinung nach entstehen p-prims durch Erfahrungen bei der Beobachtung und Interaktion mit Objekten. Es wird von Vosniadou die Ansicht vertreten, diese p-prims werden früher als diSessa es annimmt zu Wissensstrukturen organisiert, wodurch eine Reorganisation als langsamer, gradueller Prozess bei der Bildung eines wissenschaftlichen Konzepts erforderlich wird. Die zentrale Kontroverse der unterschiedlichen Ansätze besteht in Bezug auf Struktur und Kohärenz beim Conceptual Change. Sind die auf Alltagserfahrung basierenden Vorstellungen der Lernenden kohärent und theorieähnlich oder bestehen sie aus quasi unabhängigen Elementen? Beim Vergleich der Ansätze bleibt die Frage offen, ob die Ansätze unterschiedlich sind oder unterschiedliche Ausprägung eines Kontinuums und ob eine empirische Untersuchung bzw. Trennung überhaupt möglich ist.

Es gibt allerdings auch Kritik an diesen rein kognitivistischen Ansätzen, da nicht nur intellektuelle Hindernisse, sondern auch Emotionen und Motivationen für einen Konzeptwechsel determinierend sind und diesen Ansätzen die affektive Komponente fehle (SINATRA ET AL., 2008). Außerdem entstehen Vorstellungen und Konzepte in sozialen, gesellschaftlichen und historischen Kontexten und sind somit immer situiert. Diese Kritik führte zur Entwicklung komplexer Modelle wie z.B. das Cognitive Reconstruction of Knowledge Model nach DOLE & SINATRA (1998).

2.2.2 Frameworks oder p-prims? - Empirische Belege

Im Hinblick auf die Frage, ob das Vorwissen ein kohärentes Rahmengerüst darstellt oder aus einzelnen Fragmenten besteht, werden von verschiedenen Autoren empirische Belege aus unterschiedlichen Studien angeführt. Von diesen werden nachfolgend einige wichtige Ergebnisse, vor allem im Zusammenhang mit dem Thema „Evolution“ dargestellt.

In einer US-amerikanischen Interviewstudie von SOUTHERLAND ET AL. (2001a) mit 96 Schülern aus vier Altersstufen wurden Schülererklärungen im Zusammenhang mit Naturphänomenen charakterisiert mit dem Ziel, die Basis der biologischen Wissensstrukturen von Schülern im Hinblick auf die Existenz konzept-

tueller Rahmentheorien (conceptual frameworks) oder fundamentaler Wissens-elemente (p-prims) zu untersuchen. Als Kategorien traten anthropomorphe, teleologisch proximat mechanistische, ultimat mechanistische, vorbestimmte, vermischte Erklärungen oder die Angabe von Nichtwissen auf. Die Schüler einer Altersstufe benutzten ähnliche Kategorien. Vorherrschend in jeder Altersstufe waren teleologische Erklärungen, wobei die älteste Altersstufe weniger teleologische und mehr ultimat mechanistische Erklärungen verwendete. Interessant im Hinblick auf das Untersuchungsziel war die Instabilität kausaler Erklärungen. Die Erklärungen veränderten sich im Laufe des Interviews in Auseinandersetzung mit Aussagen und Fragen. Wechselnde Erklärungen traten zwar bei allen Probanden relativ häufig auf, die Tendenz, Erklärungen zu ändern, war aber bei älteren Schülern größer als bei jüngeren.

Die Autoren folgerten aus den Ergebnissen, dass die Fähigkeit, wissenschaftlich zu begründen, mit steigendem Alter zunimmt und die Entwicklung biologischer Erklärungen unabhängig von Lehrer und Unterrichtsmethode ist. Ihrer Meinung nach stützen die Ergebnisse nicht die Verwendung konzeptueller Netzwerke, wonach man mit zunehmendem Unterricht die Entwicklung kohärenter Netzwerke als Basis für Begründungsmuster erwarten würde. Hingegen lassen sich Unsicherheit und Wechselhaftigkeit der Erklärungen aufgrund spontan gebildeter Erklärungen gut verstehen. Diese Ergebnisse können im Zusammenhang mit dem Ansatz von p-prims interpretiert werden, wonach die Erklärungen fließend sind, da sie als direkte Antwort in einer konkreten Situation konstruiert werden.

Empirische Belege für den Kategorisierungsansatz wurden in einer qualitativen Studie mit College-Studenten von FERRARI & CHI (1998) gefunden. Nach Meinung der Autoren beruhen Fehlkonzepte in der Biologie auf einer Fehlkategorisierung von Prozessen als Ereignisse. Sie untersuchten einfache fundamentale Prozesse wie die Evolution, die aus wenigen Komponenten besteht, eine Makro- und Mikroebene aufweisen, sowie belegte Schwierigkeiten beim Verständnis bestehen. Als Ergebnis fanden sie positive Korrelationen zwischen darwinischen Erklärungen und Verwendung von Gleichgewichts-Attributen ebenso wie zwischen nicht-darwinischen Erklärungen und Ereignis-Attributen. Eine weitere Studie von CHI ET AL. (2010) belegt, dass die Lernenden die Vorgänge auf Mikroebene bei Diffusion und Evolutionstheorie als kausales Ereignis ansehen.

Interessant sind aufgrund der Widersprüchlichkeit die Ergebnisse verschiedener Interviewstudien zur Bedeutung der physikalischen Größe „Kraft“. So konnten IOANNIDES & VOSNIADOU (2002) in ihrer Studie die Interpretationen von Kraft von 105 Schülern vier verschiedener Altersstufen in Griechenland konsistent zu 88,6% in sieben Kategorien einordnen. Aus diesem Ergebnis fol-

gerten die Autoren, dass die Schüler unabhängig vom Kontext die gleiche Erklärung anwenden. Im Gegensatz dazu kamen DISSA ET AL. (2004) aufgrund ihrer Ergebnisse bei einer Replikation der Studie mit 30 Schülern in den USA zu dem Ergebnis, dass die Schüler eine fragmentierte Wissensstruktur haben. Hier konnten nur 17% der Erklärungen konsistent in die gleiche Kategorie eingeordnet werden. ÖZDEMİR & CLARK (2009) nahmen diese widersprüchlichen Ergebnisse trotz gleichem Kontext zum Anlass, eine Replikation der Studie in der Türkei durchzuführen. Nach ihren Ergebnissen sind die Unterschiede nicht in unterschiedlichen Kodierschemata begründet. In ihrer Studie traten eher fragmentierte, kontextabhängige Erklärungen auf, aber zusätzlich auch andere Fehlvorstellungen. Es besteht daher die Möglichkeit, dass es substantielle Unterschiede in Bedeutung und Wissensstruktur bei verschiedenen Schülerpopulationen gibt. Dieses könnte ebenso für andere Kontexte als die Evolutionstheorie zutreffen.

2.2.3 *Folgerungen für den Unterricht: Strategien für die Instruktion*

Sprache ist in der Regel zwingende Voraussetzung zum Verständnisaufbau, kann aber auch Verständnis behindern. Aus diesem Grund sollen beim Thema „Evolution“ vor allem intentionale und anthropomorphe Formulierungen vermieden werden (SINATRA ET AL., 2008). Die Lernenden sollten auf Konflikte zwischen ihren eigenen und wissenschaftlichen Erklärungen aufmerksam gemacht werden und es sollten als Beispiele Themen gewählt werden, bei denen biologische Evolution mit persönlicher Alltagserfahrung verbunden wird, um Relevanz und Motivation zu erreichen (DOLE & SINATRA, 1998). Es sollte die Möglichkeit gegeben werden, dass die Lernenden selbst Erfahrung mit dem Phänomen machen (Sinatra et al. 2008).

Nach dem Kategorisierungsansatz ist es wichtig, eine Unterscheidung zwischen kausalen und emergenten Prozessen zu unterrichten sowie die Kategorisierungsfehler bewusst zu machen (CHI ET AL., 2010). In Bezug auf die Evolutionstheorie ist hier vor allem die Einordnung als dynamischer Gleichgewichtsprozess wichtig.

Nach dem Rahmentheorieansatz sollten nicht einfachere Konzepte zuerst und komplexere Konzepte später im Unterricht behandelt werden. Da einfachere Konzepte näher am intuitiven Verständnis sind, können hierdurch initiale Theorien bestärkt werden, wodurch die Lücke zwischen beiden Rahmentheorien verbreitert wird und kognitive Inflexibilität entstehen kann. VOSNIADOU ET AL. (2008) plädieren dafür, komplexere Inhalte, wozu sie auch die Evolutionstheorie rechnen, früher zu unterrichten, um den Conceptual Change weni-

ger intensiv werden zu lassen. Dies ist vor allem auch bei der Sequenzierung der Inhalte in Curricula zu berücksichtigen.

Nach dem Ansatz der p-prims benötigt tiefgründiges Lernen Zeit, viele Kontexte und die Anknüpfung an vorhandene Vorstellungen. Ein kognitiver Konflikt ist hiernach unnötig (diSessa 2008). Wichtig für den Unterricht sind das Aufzeigen der zentralen Elemente und die Anwendung in Kontexten (ÖZDEMİR & CLARK, 2007).

Die dargelegten Ansätze zeigen, dass ein Konzeptwechsel kein ausschließlich rationaler Prozess ist, der in einer kurzen Zeitperiode erfolgen kann, sondern einen kontinuierlichen, graduellen Prozess darstellt, der Zeit benötigt. Es stellt sich auch die Frage, ob ein kognitiver Konflikt - wie von Posner und Strike gefordert wird - für einen Konzeptwechsel nötig ist, vor allem da Forschungsergebnisse dessen Effektivität nicht bestätigen (MASON, 2001).

2.3 VORSTELLUNGEN ZUR EVOLUTION UND EVOLUTIONSTHEORIE

Die Vorstellungen von Schülern zu biologischen Konzepten interessieren besonders im Zusammenhang mit einem Konzeptwechsels und wurden in zahlreichen wissenschaftlichen Studien erhoben und untersucht (DUIT, 2009). Zur Evolution und Evolutionstheorie sind viele Fehlvorstellungen und Verständnisschwierigkeiten belegt, Hamdorf und Graf führen 80 in der Literatur angegebene verschiedene Fehlvorstellungen an (GRAF & HAMDORF, 2011). Im Folgenden werden die prominentesten alternativen Vorstellungen zur Evolutionstheorie in Bezug auf die Anpassung durch Selektion dargestellt und definiert, da sie im Zentrum dieser Studie stehen und sowohl zur Kategorisierung als auch dem Verständnis nachfolgender Ergebnisse dienen.

Finalistische Vorstellungen

Finalistische Vorstellungen sind end- oder zielgerichtet, wobei eine biologische Struktur oder Funktion selbst ein ausreichender Grund für deren Existenz ist. In diese Kategorie gehören auch teleologische Vorstellungen, die implizieren, dass eine Änderung durch einen äußeren Agenten, einen übernatürlichen Schöpfer oder einer personifizierten Natur, gesteuert wird. Ziele resultieren meistens aus einem inneren Bedürfnis der Lebewesen oder aus Umweltänderungen resultierenden Zwängen. Finalistische Vorstellungen entsprechen einem „Start-Ziel-Schema“ mit einem statischen Endzustand. Sie negieren Variation, Zufall bei der Anpassung und den dynamischen Charakter der Angepasstheit (vgl. STOVER & MABRY 2007, LAMMERT 2012).

Lamarckistische Vorstellungen

Als lamarckistische Vorstellungen werden in der vorliegenden Studie Erklärungen bezeichnet, welche sich auf die Vererbung erworbener Eigenschaften beziehen. Hierbei kann die Veränderung sprunghaft in einer oder graduell in mehreren bis vielen Generation vonstattengehen. Auch wenn KAMPOURAKIS & ZOGZA (2005) einwenden, die Erklärungen der Schüler unterschieden sich essentiell von denen Lamarcks und die Bezeichnung lamarckistisch würde in Studien für finalistische Vorstellungen verwendet, wird an dieser Stelle die Bezeichnung lamarckistisch im oben angegebenen Sinne verwendet. Lamarckistische Vorstellungen können ein angemessenes genetisches Verständnis behindern, implizieren die Vorstellung individueller evolutiver Veränderungen und können in Kombination mit bedürfnisorientierten finalistischen Vorstellungen auftreten.

Anthropomorphe Vorstellungen

Anthropomorphe Erklärungen verwenden menschliche Attribute als kausalen Akteur für die Änderung in nichtmenschlichen Organismen (vgl. SOUTHERLAND ET AL. 2001a). Den Lebewesen wird ein Bewusstsein zugeschrieben, das die Erkenntnis vorhandener Unangepasstheit ermöglicht, wodurch ein selbstgesteuerter Prozess der Anpassung gefolgert wird. Nach LAMMERT (2012) behindern anthropomorphe Vorstellungen ein richtiges Verständnis der natürlichen Selektion.

Typologische Vorstellungen

Typologischen Vorstellungen legen die Annahme bestimmter Wesensformen bzw. idealer Typen zugrunde, wobei diese Kategorien auf Gemeinsamkeiten beruhen. Individuum und Population werden als Verkörperung des Typus angesehen. Typologische Vorstellungen ignorieren individuelle Unterschiede und behindern ein Verständnis von Variation (vgl. GRAF & HAMDORF 2011). Da sich nach typologischen Vorstellungen die Population uniform verändert, wird ein angemessenes Verständnis des Selektionsprozesses verhindert (vgl. LAMMERT 2012). Außerdem fördert die Ansicht individueller Unterschiede als negative Abweichung vom Ideal eine ausschließlich negative Betrachtungsweise von Mutationen.

2.4 EVOLUTION IN DEN LEHRPLÄNEN - EIN VERGLEICH

Die Lehrpläne werden in Bezug auf das Thema Evolution vergleichend analysiert. Die Auswahl wurde beschränkt auf die Lehrpläne für die Sekundarstufe I und die Schulform Gymnasium, da die Probanden der empirischen Studie überwiegend dieser Schulform entstammen und sich die einzelnen Bundesländer deutlich unterscheiden. Unterschiede finden sich in den Strukturen der Fächer, Biologie oder Naturwissenschaften in der Orientierungsstufe, den Schulformen, verschiedene Schulformen in unterschiedlichen Klassenstufen, den Jahrgangsstufen, Zuordnung der 10. Jahrgangsstufe in den Bereich der Sekundarstufe I oder der Einführungsphase der Sekundarstufe II sowie dem Einführungsdatum neuer Lehrpläne.

Grundlage für die Implementierung revidierter Lehrpläne bildeten die im Jahre 2004 durch die Kultusministerkonferenz vereinbarten Bildungsstandards (KMK KULTUSMINISTERKONFERENZ, 2005) für den mittleren Schulabschluss, in welchen die Kompetenzbereiche Fachwissen, Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung angegeben werden sowie die inhaltliche Orientierung an Basiskonzepten, für die Biologie die drei Basiskonzepte „System“, „Struktur und Funktion“ und „Entwicklung“. Bezüge zur Evolution finden sich im Basiskonzept System, da Systeme sich verändern und die Möglichkeit einer evolutionären Entwicklung bieten, und besonders im Basiskonzept Entwicklung, da Anpasstheit an die Umwelt als Ergebnis einer evolutionären Entwicklungen aufgrund von Mutation und Selektion als Ursache gesehen wird. Aus den fachlichen Inhalten abgeleitet, werden Kompetenzen zum Fachwissen angegeben. Im Zusammenhang mit dem Basiskonzept Struktur und Funktion soll Anpasstheit an die Umwelt beschrieben und erklärt werden. Beschreibung und Erklärung von stammesgeschichtlicher Verwandtschaft der Organismen sowie Verlauf und Ursachen der Evolution sind dem Entwicklungskonzept zugeordnet. Außerdem soll die Variabilität der Lebewesen von den Schülern erklärbar sein (KMK KULTUSMINISTERKONFERENZ, 2005).

Die angegebenen Inhalte und Kompetenzen verbleiben nicht auf der deskriptiven Ebene, sondern verlangen durch darüber hinaus Erklärungen. Die Selektionstheorie bildet die Grundlage zur Erklärung von Anpasstheit und den Ursachen von Evolution und ermöglicht ein Verständnis der Bedeutung der Variation und Wirkungsweise der Selektion. Demnach soll ein Grundverständnis der Evolutionstheorie gelegt werden. Beschreibung und Erklärung des Evolutionsverlaufes fordern Belege und Verwandtschaftsanalysen ein. Die stammesgeschichtliche Verwandtschaft der Organismen bezieht den Menschen mit ein und impliziert auch die unterrichtliche Behandlung von Humanevolution.

Leitende Aspekte für einen Lehrplanvergleich zum Thema Evolution sind: Die Jahrgangsstufe, in der das Thema Evolution in der Sekundarstufe I vorgesehen ist. Art und Umfang der Inhalte für den Themenbereich Evolution. Es sollte nicht nur Evolution als Tatsache in Bezug auf die Erdgeschichte und Evolutionsbelege, sondern auch Evolutionstheorie Bestandteil der inhaltlichen Vorgaben der Lehrpläne sein. Hierdurch wird ein kausales Verständnis von Evolution als allgemeines Bildungsgut am Ende der Sekundarstufe I zu ermöglichen. Außerdem sollte der Bereich der Humanevolution nicht ausgeschlossen sein.

Art und Umfang der thematischen Aspekte Anpassung und Zucht im Bereich der Orientierungsstufe. Evolution findet sich vermutlich nicht als eigenes Thema in den Vorgaben für die Jahrgangsstufe 5/6, aber Anpassungen und Domestikation bzw. Zucht werden angegeben und können Ansatzpunkte für ein evolutionäres Grundverständnis sein.

Nachfolgend werden zunächst detaillierte Angaben zu den Lehrplänen der einzelnen Bundesländer dargestellt.

Baden-Württemberg: Angepasstheit, Variabilität Verwandtschaft und Entwicklungsgeschichte der Lebewesen werden in der Klassenstufe 6, in der Angepasstheit laut Bildungsplan eine leitende Thematik bildet, berücksichtigt. Allerdings findet sich das Thema Evolution nicht konkret in den anderen Jahrgangsstufen wieder, sondern wird nur als Bezug in Kompetenzen bei der Behandlung der Genetik und Ökologie angegeben. Nicht ersichtlich wird, wodurch die Schüler diese Kompetenzen erlangen können. So sollen z.B. Mutation und Selektion als Evolutionsfaktoren erläutert werden können, die Evolutionstheorie wird aber anscheinend nicht unterrichtet (KM MINISTERIUM FÜR KULTUS, JUGEND UND SPORT BADEN-WÜRTTEMBERG, 2004).

Bayern: Hier finden sich relativ detaillierte Angaben im Lehrplan. In den Jahrgangsstufen 5 und 6 werden nicht nur Angepasstheit und Zucht thematisiert, sondern auch Abstammung, Verwandtschaft und stammesgeschichtliche Entwicklung. Explizit ist das Thema Evolution für die 8. Klassenstufe angegeben, wo Entstehung des Lebens, Belege für die Evolution, die Evolutionstheorie nach Darwin und die Evolution des Menschen als zu behandelnde Inhalte für den Unterricht vorgegeben werden. Erwähnenswert ist hierbei, dass die Evolutionstheorie in Bayern vor dem Thema Genetik, welches erst für Jahrgangsstufe 9 vorgesehen ist, behandelt wird (STMUK BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UNTERRICHT UND KULTUS, 2009).

Berlin / Brandenburg: Das Thema Evolution ist erst für das Ende der Sekundarstufe I vorgesehen. Hierbei werden nicht nur Belege und Geschichte der Evolution, sondern explizit auch Humanevolution und Evolutionstheorie thematisiert. Ebenso ist Evolution auch für den Wahlbereich vorgesehen. In den Klassen 5 und 6 werden die Schüler in Berlin in dem Fach Naturwissenschaft-

ten an der bis zur 6. Klasse andauernden Grundschule unterrichtet. Hier ist im Lehrplan das Basiskonzept Variabilität und Angepasstheit angegeben, wobei die Schüler erste Vorstellungen zur Entstehung von Angepasstheit gewinnen sollen. Angepasstheit sowie Wild- und Nutzform werden dem Themenfeld Pflanzen - Tiere - Lebensräume zugeordnet, aber nicht näher mit Inhalt angegeben. (SENBJS SENATSVERWALTUNG FÜR BILDUNG, JUGEND UND SPORT BERLIN 2004, 2006; MBJS MINISTERIUM FÜR BILDUNG, JUGEND UND SPORT DES LANDES BRANDENBURG 2004, 2008)

Bremen: Evolution ist nicht als eigenes Thema vorgesehen. Sowohl die Geschichte der Lebewesen als auch Evolutionstheorie werden nicht thematisiert. Im Lehrplan Naturwissenschaften der Jahrgangsstufe 5/6 sollen die Schüler die Kompetenz erwerben, Angepasstheit zu beschreiben und zu erklären (SENATOR FÜR BILDUNG UND WISSENSCHAFT BREMEN, 2006).

Hamburg: Evolution wird den angegebenen Kompetenzen nach relativ ausführlich, auch in Bezug auf den Bereich Evolutionstheorie, am Ende der Sek I unterrichtet. Da nur Kompetenzen aufgeführt sind, lässt sich der Umfang oder der Inhalt nicht konkret erschließen. In der Orientierungsstufe werden Angepasstheiten im Fach Naturwissenschaft / Technik beschrieben und Haustiere thematisiert (BSB FREIE UND HANSESTADT HAMBURG BEHÖRDE FÜR SCHULE UND BERUFSBILDUNG, 2011).

Hessen: Evolution wird nur in der 6. Klasse thematisiert und ist beschränkt auf einen sehr geringen Ausschnitt der Stammesgeschichte, auf die Evolution der Wirbeltierklassen. Im Lehrplan geht es um einen Vergleich der Klassen und nur der Wasser-Land-Übergang bei den Wirbeltierklassen wird als verbindlich vorgegeben. Die Domestikation der Haustiere wird nur als fakultativer Inhalt vorgeschlagen. Im weiteren Verlauf der Sek I findet sich kein Bezug zur Evolution, die Evolutionstheorie wird nicht unterrichtet (HKM HESSISCHES KULTUS-MINISTERIUM, 2010).

Mecklenburg-Vorpommern: Das Thema Evolution wird ausführlich behandelt, wobei die Thematik breit über die Bereiche der Evolution angelegt und inhaltlich konkret vorgegeben ist. Im Bereich Evolutionstheorien werden z. B. Lamarck und Darwin benannt. In der Orientierungsstufe wird zwar ebenfalls Angepasstheit nicht erklärt, sondern nur beschrieben, aber es wird eine Höherentwicklung und Übergang Wasser-Land-Leben thematisiert (BM MECKLENBURG-VORPOMMERN MINISTERIUM FÜR BILDUNG, WISSENSCHAFT UND KULTUR MECKLENBURG – VORPOMMERN 2005, 2010).

Niedersachsen: Die Evolution bildet einen Schwerpunkt des Lehrplans in Niedersachsen und zieht sich als roter Faden durch die Sekundarstufe I. Die Bedeutung der Evolution wird übergeordnet beschrieben und in Abbildungen dargestellt. Evolution findet sich in den zwei Bereichen des Fachwissens „Va-

riabilität und Anpasstheit“ sowie „Geschichte und Verwandtschaft“. Es wird als Thema in Ansätzen schon unter den Aspekten Variationen und Züchtungsprozesse in der Jahrgangsstufe 5/6 thematisiert, wobei die angegebenen Kompetenzen hier nicht nur beschreibend sind. Kompetenzen zu Selektionsprozessen werden für alle Jahrgangsstufen formuliert. Ausgehend von der künstlichen Züchtung wird in Jahrgangsstufe 8 die natürliche Selektion erläutert und in der Klasse 10 auf der Grundlage genetischen Wissens vertieft erklärt. Die Verwandtschaft von Lebewesen wird schon ab der Orientierungsstufe behandelt und weiter in ein hierarchisches System erweitert. „Selektion“ wird hier im Gegensatz zu anderen Bundesländern schon in der Klasse 5 erarbeitet. Allerdings wird das Thema Evolution nicht als konkreter Themenaspekt für die Jahrgangsstufe 10 aufgeführt, obwohl hierzu Kompetenzen angegeben sind und Humanevolution nicht explizit angegeben wird (NIEDERSÄCHSISCHES KULTUSMINISTERIUM, 2007).

Nordrhein-Westfalen: Das Thema Evolution ist nicht nur in Bezug auf einen historischen, sondern auch einen mechanistischen Aspekt laut Vorgaben im Lehrplan in Nordrhein-Westfalen zu unterrichten und kann entweder recht früh in Klasse 7 oder gegen Ende der Sek I in Jg. 9 unterrichtet werden. Nennenswert ist die Angabe von Selektionstheorie und Humanevolution, wobei allerdings die Verwandtschaft und Abstammung des Menschen nur beschreibend und nicht erklärend in der Kompetenzbeschreibung angeführt werden. Grundlagen für Anpasstheit und Zucht werden in den Jahrgangsstufen 5/6 gefordert, allerdings nicht dem Themenbereich Evolution zugeordnet. Es sind zwar fachliche Kontexte vorgegeben, die Kompetenzen aber nicht zugeordnet, konkrete Inhalte sind nicht aufgeführt, ebenso wenig ist ein zeitlicher Rahmen vorgegeben (MSW MINISTERIUM FÜR SCHULE UND WEITERBILDUNG DES LANDES NRW, 2008).

Rheinland-Pfalz: Der Lehrplan ist eher klassisch angelegt, nicht kompetenzorientiert und das Thema Evolution, unter Einbeziehung von Mechanismen, ist für die 10. Klasse vorgesehen. Zu bemerken ist allerdings, dass der knappe vorgesehen Zeitrahmen von 8 Unterrichtsstunden eine Auswahl aus den vorgegebenen Inhalten bedingt. Für die Orientierungsstufe existiert ein neuer kompetenzorientierter Rahmenlehrplan, in dem Anpasstheit und Zuchtwahl und Züchtung, aber nicht natürliche Selektion oder Stammesgeschichte vorgesehen sind (MINISTERIUM FÜR BILDUNG, WISSENSCHAFT, JUGEND UND KULTUR RHEINLAND-PFALZ, 1998).

Saarland: Anpasstheit, Haustiere und Wirbeltierklassen sind als Themen der Jahrgangsstufen 5 bzw. 6 vorgegeben. Evolution als Thema für die 9. Klasse ist in einem Umfang von sechs Unterrichtsstunden vorgesehen. Allerdings wird nicht die Breite des Themas Evolution unterrichtlich behandelt, vielmehr

ist das Thema auf die Stammesgeschichte der Menschen beschränkt, wobei hierunter auch die Erklärungen von Lamarck und Darwin vorgesehen sind. In einer neuen Version des Lehrplans wird das Thema in die Klasse 7 verlagert, konkret wird nun die Theorie von Darwin für diese Klassenstufe vorgesehen (SAARLAND MINISTERIUM FÜR BILDUNG, KULTUR UND WISSENSCHAFT 2004, 2010, 2011).

Sachsen: Der Lehrplan gibt sehr detailliert, mit insgesamt 25 Unterrichtsstunden auch zeitlich umfangreich, das Thema Evolution für die Klasse 10 in zwei Lernbereichen, Entstehung der Artenvielfalt und Stammesgeschichte des Menschen, vor. Konkrete Inhalte werden benannt und lediglich das Thema „Entstehung des Lebens“ in den Wahlpflichtbereich verlagert. In der Klassenstufe 5 bzw. 6 werden Wirbeltierklassen in Bezug auf Anpasstheit an den Lebensraum aufgeführt, aber isoliert in den einzelnen Wirbeltierklassen und nicht in übergeordnetem stammesgeschichtlichen Zusammenhang behandelt. Züchtung und Abstammung der Haustiere ist im Unterricht über Säugetiere vorgesehen (SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR KULTUS UND SPORT, 2011).

Sachsen-Anhalt: Anpasstheit und Haustiere werden im Unterricht der Orientierungsstufe thematisiert. Anpasstheit wird sowohl im Bereich der einzelnen Wirbeltierklassen ebenfalls aber auch im Überblick zusammen mit Verwandtschaft und Höherentwicklung behandelt. Das Thema Evolution ist allerdings explizit erst für die Jahrgangsstufe 10, die zur Einführungsphase und somit zur Sekundarstufe II gehört, vorgesehen. Die angegebenen Inhalte umfassen viele Aspekte der Evolution, sind aber in einem zeitlich vorgegebenen Umfang von 16 Unterrichtsstunden schwer umsetzbar (KULTUSMINISTERIUM DES LANDES SACHSEN-ANHALT, 2003).

Schleswig-Holstein: Hier ist Evolution im Unterricht auf den Aspekt der Humanevolution beschränkt und wird erst in Klassenstufe 10 unterrichtet. Somit werden nicht alle Bereiche der Evolution in verbindliche Inhalte umgesetzt. Die im Lehrplan zu vermittelnde Fachkompetenz „Erwerb einer naturwissenschaftlich begründeten Evolutionstheorie“ sowie die „Einsicht in deren Bedeutung und Grenzen“ werden nicht in verbindliche Inhalte umgesetzt. In der Orientierungsstufe finden sich Angaben zur unterrichtlichen Behandlung von Anpasstheit und Züchtung (MINISTERIUM FÜR BILDUNG, WISSENSCHAFT, FORSCHUNG UND KULTUR DES LANDES SCHLESWIG-HOLSTEIN, 1997).

Thüringen: Evolution findet sich nicht als Thema in der Sekundarstufe I, sondern erst in der schon der Sekundarstufe II zugeordneten 10. Jahrgangsstufe. In der Orientierungsstufe werden Anpasstheit und Nutzung von Pflanzen und Tieren im Fach Mensch-Natur-Technik vorgegeben (THÜRINGER MINISTERIUM FÜR BILDUNG, WISSENSCHAFT UND KULTUR, 2011).

Tabelle 1: Übersicht über die für das Thema Evolution vorgegebene Jahrgangsstufe in den Lehrplänen der Sekundarstufe I der unterschiedlichen Bundesländer. (n.v. = nicht vorgesehen)

Bundesland	Jahrgangsstufe	Bundesland	Jahrgangsstufe
Baden-Württemberg	n.v.	Niedersachsen	(6) 8
Bayern	8	Nordrhein-Westfalen	7/9
Berlin	9/10	Rheinland-Pfalz	10
Brandenburg	9/10	Saarland	7/9
Bremen	n.v.	Sachsen	10
Hamburg	9/10	Sachsen-Anhalt	(10, Sek II)
Hessen	n.v.	Schleswig-Holstein	10
Mecklenburg-Vorpommern	9/10	Thüringen	(10, Sek II)

Ein direkter Vergleich der Lehrpläne ist durch die unterschiedliche Struktur der Lehrpläne, teilweise fehlende Zeitvorgabe und die im Zuge der Kontextorientierung nicht mehr konkret angegebenen Inhalte kaum möglich.

Evolution findet sich als eigenständiges Thema nicht in allen aktuellen Lehrplänen der Sekundarstufe I. In den Bundesländern Baden-Württemberg, Bremen und Hessen sucht man vergebens nach einem Thema Evolution und in Sachsen-Anhalt und Thüringen wird das Thema zwar für die 10. Jahrgangsstufe aufgeführt, diese wurde aber im Zuge des verkürzten gymnasialen Bildungsgangs der Sekundarstufe II zugeordnet. Hervorzuheben ist, dass in insgesamt 5 Bundesländern und somit 31% der Bundesländer Evolution im Biologieunterricht der Sekundarstufe I nicht unterrichtet wird. Zum Teil ist auch nicht die gesamte Bandbreite der Evolution vorgesehen, sondern das Thema auf bestimmte Bereiche eingeschränkt. Das ist z.B. in Schleswig-Holstein der Fall, wo in der Sekundarstufe I nur die Humanevolution vorgesehen ist. In 56% der Bundesländer ist die Behandlung des Themas für die 9. bzw. 10. Klasse und damit erst für das Ende der Sekundarstufe I angesetzt. Nur in vier Bundesländern ist das Unterrichten von Evolution für jüngere Jahrgangsstufen vorgesehen. Hier ist insbesondere Bayern zu nennen, wo Evolution in großem Umfang und detailliert schon für die Jahrgangsstufe 8 vorgesehen ist. Eine frühe Einführung der Selektionstheorie im Unterricht ist im Saarland für die siebte sowie in Bayern und Niedersachsen für die achte Jahrgangsstufe vorgesehen. Im Bereich der Orientierungsstufe finden sich in den meisten Lehrplänen Vorgaben zur Anpassbarkeit, zur Variabilität und zu den Nutztieren.

Der Vergleich der Biologie-Lehrpläne zeigt, dass einzelne Themen, wie hier für die Evolution dargestellt, sehr unterschiedlich umgesetzt und vorgegeben

werden. Ein grundlegendes Verständnis der Evolutionstheorie am Ende der Sekundarstufe I wird nicht überall angestrebt und die Vorgabe der Bildungsstandards nicht umgesetzt. Der niedersächsische Biologielehrplan zeigt als Ausnahme, dass Evolution einen Schwerpunkt im Lehrplan bilden kann und Bezüge zu Selektionsprozessen in allen Jahrgangsstufen gebildet werden können. Züchtung wird hier schon in der Orientierungsstufe als Verfahren erläutert und die Angepasstheit von Merkmalen nicht nur beschrieben, sondern auch erklärt. Die Erklärung von Anpassung durch Selektion ist darauf aufbauend für die Jahrgangsstufe 8 vorgesehen. „Variation kann als Phänomen schon anhand von Alltagserfahrungen in den Schuljahrgängen 5-8 eingeführt werden. An einfachen Beispielen kann erarbeitet werden, dass durch Selektion die Varianz von Populationen verändert wird. Damit wird die Annahme einer zielgerichteten Veränderung von Arten überflüssig.“ (Niedersächsisches Kultusministerium 2007 S.88) Dieser Ansatz wird auch bei der Planung und Umsetzung der hier vorgestellten Interventionsstudie verfolgt.

STAND DER FORSCHUNG: ERGEBNISSE EMPIRISCHER STUDIEN ZUR AKZEPTANZ VON EVOLUTION UND VORSTELLUNGEN ZUR EVOLUTION UND EVOLUTIONSTHEORIE

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse empirischer Studien zur Akzeptanz von Evolution und Vorstellungen zur Evolution und Evolutionstheorie dargestellt. Hierbei werden diejenigen Untersuchungen ausgewählt, die in direktem thematischen Zusammenhang mit der Unterrichtsintervention bzw. der Erhebung stehen. Von besonderem Interesse sind aus diesem Grund Interventionsstudien und Studien mit Schülern als Probanden. Im Bereich der Evolutionstheorie sind aufgrund des im vorherigen Kapitel dargestellten theoretischen Hintergrundes Ergebnisse über die Vorstellungen und die Veränderung von Vorstellungen relevant.

Die Autoren der Studien verwenden unterschiedliche Termini, die u.a. die Vergleichbarkeit der Ergebnisse erschweren. Diese Termini werden folgend zuerst im Zusammenhang dargestellt. Die sich anschließende Übersicht über die Ergebnisse ausgewählter quantitativer und qualitativer Studien erfolgt getrennt nach Akzeptanz und Vorstellungen, jeweils strukturiert nach der Altersgruppe der Probanden. Den Abschluss bildet die Darstellung von Interventionsstudien.

Als „Fehlvorstellungen“ (misconceptions) werden fachlich nicht angemessene Vorstellungen bezeichnet. Dieser Terminus ist in der englischsprachigen Fachliteratur üblich. Im Bereich der deutschen qualitativen Forschung wird dieser Ausdruck, da Präkonzepte erfahrungsbasiert und für die Lernenden daher nicht falsch sind, abgelehnt und dafür der Terminus „alternative Vorstellung“ verwendet, der häufig als vorunterrichtliche Schülervorstellung einer naiven, lebensweltlichen Vorstellung entspricht. Im Gegensatz dazu stellen „wissenschaftliche Vorstellungen“ fachlich angemessene Vorstellungen dar, welche sich aus einzelnen Schlüsselkonzepten zusammensetzen.

Vorstellungen, die sich sowohl aus Schlüsselkonzepten, als auch aus alternativen Konzepten zusammensetzen werden als „gemischte Vorstellungen“ oder „synthetische Vorstellungen“ bezeichnet. Diese können allerdings konsistent auftreten und ein Hinweis auf das Vorhandensein von „kohärenten konzeptuellen Rahmengerüsten“ geben. Im Gegensatz dazu sind inkonsistente Erklärungen, sowohl die Verwendung von wissenschaftlichen und alternativen Vorstellungen, als auch die Verwendung unterschiedlicher alternativer Vorstellun-

gen zur Erklärung in Abhängigkeit vom Kontext, ein Indiz für das Vorhandensein von sogenannten „p-prims“ (phenomenological primitives) als einzelner Wissensselemente.

3.1 STUDIEN ZUR AKZEPTANZ DER EVOLUTION

Im Folgenden werden zuerst qualitative und quantitative Studien vorgestellt, in denen Einstellungen und Wissen zur Evolution und Evolutionstheorie erhoben sowie beeinflussende Faktoren bei verschiedenen Gesellschaftsgruppen analysiert werden.

3.1.1 *Akzeptanz der Evolution bei Schülern*

PRINOUE ET AL. (2008) erhoben in einer Fragebogenstudie die Einstellungen und Konzepte von 411 griechischen Schülern der 10. Klasse nach Unterricht zur Evolution. Hierbei zeigten sich positive Einstellungen der Schüler gegenüber der Evolution, der Humanevolution, sowie eine Akzeptanz des gemeinsamen Ursprungs der Lebewesen. Trotzdem traten ebenfalls Fehlvorstellungen auf, wie die verbreitete Koexistenz von Dinosauriern und Menschen sowie die Vorstellung, Evolution erkläre die Entstehung des Lebens.

In einer quantitativen Studie von EDER ET AL. (2011) akzeptierten etwas mehr als die Hälfte (51%) von 2129 befragten österreichischen Schülern verschiedener Klassenstufen der weiterführenden Schule die Evolution. Die Zustimmung zu kreationistischen Einstellungen (28%) und zum Intelligent Design (34%) war bei diesen Probanden relativ hoch und stand in einem signifikanten Zusammenhang zu dem ebenfalls erhobenen Glauben an Paranormales. Im Gegensatz zu den paranormalen Einstellungen, welche mit steigendem Schuljahrgang abnahmen, konnte kein Unterschied in der Zustimmung zur Evolution über die acht untersuchten Schuljahre festgestellt werden. An dieser Studie ist allerdings die Messung der Akzeptanz der Evolution, sowie die Messung einer Zustimmung zu Kreationismus oder Intelligent Design mit einem einzigen Item methodisch zu kritisieren.

RETZLAFF-FÜRST & URAHNE (2009) erhoben bei 83 deutschen Schülern mit Hilfe eines Fragebogens am Ende der Sekundarstufe I Einstellung und Wissen zur Evolutionstheorie sowie kreationistische Neigungen. Hierbei wurden Fragen zur Evolutionstheorie überwiegend korrekt beantwortet und die Mehrheit zeigte keine Tendenz zu kreationistischen Auffassungen. Es ergab sich ein enger Zusammenhang zwischen Religiosität und kreationistischem Denken, aber nicht zwischen Religiosität und Einstellungen zur Evolutionstheorie.

Die Akzeptanz von Evolution bei deutschen Schülern am Ende der Sekundarstufe I (9. bis 10. Klasse) und den Einfluss der Faktoren Gläubigkeit, Einstellung zur Wissenschaft und Verständnis der Evolution untersuchte LAMMERT (2012) anhand einer umfangreichen Stichprobe ($n=3969$). Die Akzeptanzmessung mit Hilfe des von RUTLEDGE & WARDEN (1999) entwickelten Instruments MATE zeigte eine moderate Akzeptanz der Evolution der Schüler. Es ergab sich ein höchst signifikanter Einfluss der Gläubigkeit auf die Akzeptanz, wobei Schüler muslimischen Glaubens nur eine niedrige Akzeptanz aufwiesen. Die Akzeptanz der Evolution stand in einem Zusammenhang mit der Schulform, Gymnasiasten zeigten als einzige Subgruppe eine hohe Akzeptanz, die dabei auftretenden Unterschiede waren eher gering. Insgesamt konnte durch die erhobenen exogenen Variablen 58% der Varianz der Akzeptanz der Evolution mit Hilfe eines Strukturgleichungsmodells erklärt werden. Hierbei übte die Akzeptanz der Wissenschaft den größten Einfluss aus. Die Gläubigkeit wies einen bedeutsamen negativen Einfluss auf, wobei die Gläubigkeit stark von der Konfession der Probanden abhing. Hingegen war ein positiver Einfluss des Verstehens der Evolution zwar signifikant, im Vergleich aber gering.

Den Einfluss religiöser Vorstellungen auf evolutionsbiologische Vorstellungen erhob ILLNER (2000) in einer qualitativen Interviewstudie mit zehn Probanden der Sekundarstufe II in Deutschland. Im Unterschied zu den Schülern christlichen Glaubens wurde der Umgang mit Naturwissenschaften und speziell der Evolutionstheorie bei türkischen Schülern muslimischen Glaubens durch ihren Glauben beeinflusst. Diese hängen häufig einem Schöpfungskonzept an und gehen von einer gottgelenkten Entwicklung aus. Das Verhältnis von Religion und Wissenschaft wird von türkischen Schülern durch die Strategien „Ablehnung der Evolutionstheorie“, „Abwandlung biologischer Inhalte“, „Gleichsetzung oder Kompartimentalisierung der Bereiche Wissenschaft und Religion“ und dem „Verschleiern von Begriffen“ harmonisiert.

3.1.2 *Akzeptanz der Evolution bei Studenten und Lehrern*

MOORE ET AL. (2011) zeigten, dass amerikanische Collegestudenten ($n=179$) ein geringes Wissen über Evolution haben, obwohl Evolution Teil des Curriculums ist und das Wissen über Evolution in einem signifikanten negativen Zusammenhang mit der religiösen Sicht der Probanden steht.

SOUTHERLAND & SINATRA (2005) stellten in Fragebogenstudien mit Studenten unterschiedlicher Fachrichtung in den USA fest, dass das Verstehen von Evolution sich erst ab einem kritischen Level auf die Akzeptanz der Evolution auswirkt. Bei begrenztem Wissen und kontroversen Inhalt wie die Hu-

manevolution scheinen hingegen affektive Konstrukte bei der Determination der Akzeptanz eine wichtigere Rolle zu spielen.

Bei kanadischen Studenten, welche zu 70% die Evolution akzeptierten und im Vergleich zu Studenten anderer Länder ein besseres Verständnis zeigten, trat eine positive Korrelation zwischen der Akzeptanz und dem Verständnis von Evolution auf (GREGORY & ELLIS, 2009). Die Autoren folgerten hieraus ebenfalls, dass mit dem Anstieg des Bildungsgrades das Verständnis der Evolution für die Akzeptanz relevant wird.

Ein Einfluss der epistemologischen Überzeugungen und der kognitiven Denkkonzeption auf die Akzeptanz der Evolutionstheorie trat ebenfalls in einer quantitativen Erhebung bei zukünftigen Lehrern in den USA auf (DENIZ & DONNELLY, 2011), bei der diese beiden Faktoren 45% der Varianz erklärten. Hiernach akzeptieren Personen mit höherer kognitiver Flexibilität und Offenheit eher die Evolutionstheorie. Ein statistisch signifikanter Zusammenhang mit dem Verstehen der Evolutionstheorie konnte nicht gefunden werden.

Eine indirekte Verbindung zwischen Akzeptanz und Wissen zur Evolution konnten HA ET AL. (2012) bei koreanischen Lehramtsstudenten nachweisen, wobei das Gefühl der Gewissheit der Probanden zwischen beiden Konstrukten eine modulierende Rolle spielte. In einer Pfadanalyse wurden ein großer positiver Einfluss des Gefühls der Gewissheit und ein negativer Einfluss der Religiosität auf die Akzeptanz der Evolution festgestellt. Dabei wirkte sich der Bildungsgrad auf das Wissen zur Evolution aus, welches wiederum einen starken Einfluss auf das Gefühl der Gewissheit hat.

Die Befunde bei türkischen Lehramtsstudenten über die Relation zwischen Akzeptanz und Verstehen der Evolution sind z.T. widersprüchlich. Signifikante Zusammenhänge zwischen der Akzeptanz und dem Verstehen von Evolution, den Denkkonzeptionen und dem Bildungsniveau, welche 10,5% der Varianz der Akzeptanz der Evolution erklärten, stellten DENIZ ET AL. (2008) fest, wobei der Beitrag des Verstehens von Evolution allerdings gering ist. Ein moderater Zusammenhang zwischen der Akzeptanz und dem Verstehen der Evolutionstheorie war das Ergebnis einer Studie von PEKER ET AL. (2010). Im Unterschied dazu konnten AKYOL ET AL. (2010) keinen signifikanten Beitrag des Verstehens der Evolutionstheorie, sondern lediglich des Verstehens der Wissenschaften bei der Varianzerklärung feststellen. Das Verständnis der Evolutionstheorie der türkischen Lehramtsanwärter war gering, die Akzeptanz der Evolution und das Verstehen der Naturwissenschaften waren moderat ausgeprägt.

Eine vergleichende Studie von GRAF & SORAN (2011) untersuchte das Ausmaß und die Beziehungen der Konstrukte „Überzeugungen zur Evolution“, „Verstehen von Evolutionsmechanismen“, „Glaubensüberzeugungen“ und „Vertrauen in die Wissenschaft“ und „Verstehen der Wissenschaften“ bei Lehramts-

studierenden in Deutschland und der Türkei. Im Falle der deutschen Probanden konnte durch die vier Konstrukte 40,2% der Varianz der Überzeugungen zu Evolution erklärt werden. Es wurde zwar ein signifikanter Beitrag des Verstehens festgestellt, allerdings stellte das Vertrauen in die Wissenschaft den bedeutsamsten Faktor dar. Im Unterschied dazu konnte bei den türkischen Probanden nur 19,7% der Varianz durch die beiden Faktoren „Glaubensüberzeugung“ und „Vertrauen in die Wissenschaft“ erklärt werden.

Ein starker Gendereffekt, aber kein Einfluss der Religion, trat sowohl bei der Akzeptanz der Evolution als auch dem Wissen zur Evolution bei 84 koreanischen Lehramtsstudenten auf (KIM & NEHM, 2011). Weibliche Probanden wiesen nur eine geringe, männliche Probanden eine moderate Akzeptanz der Evolution auf. Das Verständnis der Wissenschaften stand in einem signifikanten Zusammenhang mit der Akzeptanz der Evolution sowie dem Wissen zu Evolution und unterschied sich in Abhängigkeit von der Religion.

Südafrikanische Lehramtsstudenten wiesen eine relativ geringe Akzeptanz auf, nur 40% der Befragten akzeptierten die Evolution, 87% gingen von einer göttlichen Schöpfung der Lebewesen aus und die Hälfte führte einen Konflikt zwischen Glauben und Evolutionstheorie an. Es wurde ein stark negativer Zusammenhang zwischen der Akzeptanz der Evolutionstheorie und der Einstellung „Evolution zu unterrichten“ festgestellt (ABRIE, 2010).

Biologielehrer in den USA wiesen sowohl eine moderate Akzeptanz der Evolutionstheorie als auch ein moderates Verständnis der Evolutionstheorie und der Natur der Wissenschaften auf, wobei für beide Konstrukte jeweils ein starker, signifikanter, positiver Zusammenhang mit der Akzeptanz der Evolutionstheorie aufgezeigt werden konnte (RUTLEDGE & WARDEN, 2000). RUTLEDGE & MITCHELL (2002) fanden bei Biologielehrern außerdem einen starken Zusammenhang zwischen der Akzeptanz der Evolutionstheorie und der aufgewendeten Unterrichtszeit für das Thema Evolution. Anhand von Concept maps stellten die Autoren einen Zusammenhang zwischen der Akzeptanz der Evolution und der Anzahl an wissenschaftlichen Konzepten und Relationen zur Evolution fest. Die starke Relation zwischen Akzeptanz und Verstehen der Evolutionstheorie bei amerikanischen Biologielehrern konnte durch eine Fragebogenstudie von TRANI (2004) bestätigt werden, wobei bei diesen Probanden Akzeptanz und Verständnis in hohem Maße ausgeprägt waren. Lehrer mit starken religiösen Überzeugungen zeigten eine geringere Akzeptanz der Evolutionstheorie, wobei Lehrer mit einer geringeren Akzeptanz die Evolutionstheorie auch seltener unterrichteten.

Signifikante, allerdings im Vergleich nicht so starke Zusammenhänge zwischen der Akzeptanz und dem Verstehen traten auch bei griechischen und serbischen Lehrern auf, welche eine moderate bis hohe Akzeptanz, aber nur ein

geringes Verständnis der Evolutionstheorie aufwiesen (PAPADOPOULOU ET AL., 2011).

Ein Zusammenhang zwischen Akzeptanz und Verständnis der Evolution konnte auch für Probanden, die als Akademiker in der Bildungsforschung tätig sind, bei einer hohen bis sehr hohen Akzeptanz nachgewiesen werden, wobei sich auch der akademische Grad und die Erfahrung auswirkten. In einem Strukturmodell konnte gezeigt werden, dass die Akzeptanz der Evolution sowohl durch Wissen über als auch durch den akademischen Erfahrungshintergrund beeinflusst wird (NADELSON & SINATRA, 2009).

3.1.3 *Akzeptanz der Evolution in der allgemeinen Bevölkerung*

Die "Forschungsgruppe Weltanschauungen in Deutschland" (FOWID) erhob 2005 in einer nationalen Umfrage die Auffassung der deutschen Bevölkerung, wie das Leben auf der Welt entstand bzw. sich entwickelt hat. Hierbei stimmten über die Hälfte (61%) einer evolutionären Sichtweise zu, wobei die Zustimmung der Konfessionslosen deutlich höher war. Ein Viertel (25%) wiesen eine Zustimmung zum intelligenten Design und 13% eine kreationistische Einstellung auf.

In einer Metaanalyse internationaler Studien über die Akzeptanz der Evolution von MILLER ET AL. (2006) steht Deutschland an zehnter Stelle der Akzeptanz. Die geringste Akzeptanz wiesen Bewohner der Türkei, gefolgt von den US-Amerikanern auf, von denen nur 40% einer Entwicklung des Menschen aus tierischen Vorfahren zustimmten. Die Ergebnisse dieser Studien sind allerdings nur mit Vorsicht zu vergleichen, da sie aus dem Vergleich weniger, nicht inhaltsgleicher Aussagen resultieren.

3.1.4 *Zusammenfassung Ergebnisse zur Akzeptanz der Evolution*

Die oben vorgestellten Studien zeigen, dass europäische Schüler der Evolution gegenüber durchaus positiv eingestellt sind und die Akzeptanz der Evolution deutscher Schüler am Ende der Sekundarstufe I moderat ist (EDER ET AL. 2011, LAMMERT 2012, PRINOU ET AL. 2008, RETZLAFF-FÜRST & URAHNE 2009). Die Akzeptanz bei Schülern verschiedener Altersstufen unterscheidet sich nicht deutlich.

Die Akzeptanz der Evolution steht in einem negativen Zusammenhang mit religiösen oder paranormalen Glaubenseinstellungen (EDER ET AL. 2011, HA ET AL. 2012, MOORE ET AL. 2011). Muslimische Schüler hängen häufig einem Schöpfungskonzept an und stehen der Evolutionstheorie ablehnend gegenüber (ILLNER, 2000). Die Akzeptanz der Evolution steht in einem starken positiven

Zusammenhang mit der Akzeptanz der Wissenschaft und kognitiven Denkpotionen, sie wird sowohl durch Wissen als auch Vertrautheit mit der Evolution beeinflusst (DENIZ & DONNELLY 2011, KIM & NEHM 2011, NADELSON & SINATRA 2009).

Die Messungen der Akzeptanz erfolgten allerdings in den verschiedenen Studien uneinheitlich, nur bei Studenten wird häufig das MATE-Instrument eingesetzt, und z.T. auch nur mit wenigen Probanden. Kritisch sind Akzeptanzmessungen mit nur einem Item, wie sie häufig in Bevölkerungsumfragen (FOWID 2005, MILLER ET AL. 2006) angewendet werden. Es liegen keine quantitativen Ergebnisse für jüngere Schüler vor.

In Bezug auf die Existenz eines Zusammenhanges zwischen Akzeptanz und Verstehen der Evolution sind die Forschungsergebnisse zum Teil widersprüchlich. Ein signifikanter, wenn auch häufig geringer Zusammenhang zwischen Akzeptanz und dem Verstehen der Evolution bzw. dem Wissen über Evolution ist für Lehramtsstudenten bzw. Lehrern in unterschiedlichen Ländern belegt (DENIZ ET AL. 2008, GRAF & SORAN 2011, NADELSON & SINATRA 2009, PAPADOPOULOU ET AL. 2011, RUTLEDGE & WARDEN 2000, TRANI 2004). Es wird angenommen, dass sich das Verstehen der Evolution erst ab einem bestimmten Grad auf die Akzeptanz auswirkt (GREGORY & ELLIS 2009, SOUTHERLAND & SINATRA 2005) und Akzeptanz und Wissen indirekt über das Gefühl der Gewissheit in Verbindung stehen (HA ET AL., 2012). Bei geringem Wissen spielen affektive Konstrukte eine determinierende Rolle. Den obigen Ausführungen widersprechende Ergebnisse, die vor allem bei türkischen (Akyol et al. 2010) und amerikanischen Probanden (DENIZ & DONNELLY, 2011) auftreten, sind möglicherweise hierauf begründet.

Eine geringe Akzeptanz der Evolution wirkt sich negativ auf die Einstellung, Evolution zu unterrichten (ABRIE, 2010), bzw. auf die hierfür aufgewendete Unterrichtszeit (RUTLEDGE & MITCHELL, 2002) aus. Aus diesem Grunde ist vor allem bei Lehrern der Akzeptanz der Evolution eine sehr große Bedeutung beizumessen.

3.2 STUDIEN ZU VORSTELLUNGEN ZUR EVOLUTION UND EVOLUTIONSTHEORIE

Nachfolgend werden Forschungsergebnisse zum Verständnis der Evolutionstheorie und häufigen Vorstellungen zu Evolutionsmechanismen vorgestellt, wobei der Schwerpunkt auf der Darstellung von Schülervorstellungen liegt.

3.2.1 *Vorstellungen zur Evolution und Evolutionstheorie bei Kindern und Grundschülern*

Die Vorstellungen jüngerer Kinder und Grundschüler zur Entstehung und Entwicklung von Arten wurde in Zusammenhang mit der Frage nach zugrundeliegenden theorieähnlichen konzeptuelle Rahmengerüsten (Frameworks) in den Niederlanden (SAMARAPUNGAVAN & WIERS, 1997), USA (EVANS 2000, 2001), Italien (BERTI ET AL., 2010) und Deutschland (TEETZ, 2011) untersucht.

In der Studie von SAMARAPUNGAVAN & WIERS (1997) hatten 80% der 35 interviewten niederländischen Kinder der dritten und fünften Klasse konsistente erklärende Rahmengerüste, wobei sich keine signifikant unterschiedliche Verteilung der fünf beschriebenen verschiedenen Frameworks in Abhängigkeit vom Alter ergab. Aus diesem Grund folgerten die Autoren, dass Novizenwissen zwar auf wissenschaftlich nicht richtigen, aber intern konsistenten Repräsentationen der natürlichen Welt beruht. Es wurden die nicht-evolutionären Frameworks „reiner Essentialismus“ (32%), „Kreationismus“ (11%) und „spontane Entstehung“ (18%), das mikro-evolutionäre Framework „Dinosaurier-Essentialismus“ (29%), sowie das makro-evolutionäre Framework „Lamarckismus“ (11%) identifiziert. Alle Frameworks beachten nicht die innerartliche Variation.

Im Gegensatz dazu stellten BERTI ET AL. (2010) zwischen italienischen Grundschülern der zweiten und dritten Klasse signifikante Unterschiede fest. Schüler der zweiten Klasse zeigten am häufigsten (52%) kreationistische Rahmengerüste, die älteren Schüler hingegen am häufigsten „gemischte Rahmengerüste“, die als Vorstellung einer theistischen Evolution (Evolution unter Gottes Aufsicht) bezeichnet wurden. Der auftretende Unterschied zwischen den Altersstufen wurde auf formale Instruktion zurückgeführt, da in italienischen Grundschulen das Thema Evolution im dritten Schuljahr relativ ausführlich unterrichtet wird.

EVANS (2000) stellte altersbedingte Unterschiede in den Erklärungen der drei von ihr untersuchten Altersgruppen bei Kindern fest. Am häufigsten (53%) treten bei jüngeren Kindern (5-8 Jahre) Vorstellungen eines „spontanen Erscheinens von Lebewesen“, gefolgt von einer kreationistischen Vorstellung (40%) auf. Kreationistische Vorstellungen nehmen in der Entwicklung zuerst zu und treten bei über der Hälfte der acht- bis zehnjährigen Schüler auf. Hingegen ist die häufigste Vorstellung älterer Schüler (10-12 Jahre) eine evolutionäre. Diese Muster konnten in einer zweiten Studie repliziert werden, die jüngeren Kinder hatten hier am häufigsten (68%) gemischte Erklärungen, die anderen Altersstufen exklusiv kreationistische oder evolutionäre Vorstellungen, wobei die Vorstellungen der älteren Schüler denen amerikanischer Erwachsener entsprechen.

Außerdem trat ein positiver Zusammenhang zwischen evolutionären Vorstellungen und Wissen über Naturgeschichte auf.

Im Unterschied dazu fand TEETZ (2011) bei 106 deutschen Grundschulern (8-11 Jahre) keine konsistenten Erklärungsmuster. Die Entstehung des Lebens wurde von 81% als Schöpfungsprozess angesehen, hingegen gingen 65% von einer evolutionäre Entstehung des Menschen aus. Die Entstehung von Merkmalen wurde überwiegend finalistisch (48-58%) erklärt. Geringer, mit ähnlicher Häufigkeit, traten kreationistische (21-29%) und lamarckistische (13-25%) Erklärungen auf. Darwinische Erklärungen wurden nur vereinzelt (0-9%) gefunden.

3.2.2 *Vorstellungen zur Evolution und Evolutionstheorie bei Schülern der Sekundarstufe I und II*

DEADMAN & KELLY erhoben schon 1978 bei 52 Jungen zwischen 11 und 14 Jahren in Großbritannien vorunterrichtliche Vorstellungen zur Evolution mit Hilfe von Interviews. Sie zeigten, dass viele zwar eine Vorstellung von Evolution als Phänomen hatten, aber finalistische (Veränderung aufgrund von Bedürfnissen, Wünschen oder Umgebungsänderungen) und lamarckistische Erklärungen über den Anpassungsprozess. Diese und das nicht adäquate Verständnis von Wahrscheinlichkeit und Genetik stellten sie als Hauptschwierigkeiten heraus. In den Erklärungen der Schüler war Anpassung zentral. Die Schülervorstellungen wurden mit einer intuitiven Biologie erklärt, die aufgrund einer anthropozentrischen Sichtweise bei jungen Personen entsteht.

Britische Schüler im Alter von 12 bis 16 Jahren zeigten in einer Studie von ENGEL CLOUGH & WOOD-ROBINSON (1985) ebenfalls viele Fehlvorstellungen beim Verständnis biologischer Anpassung, was die Schwierigkeit des Themas für die Schüler belegt. Allerdings war ein Anstieg wissenschaftlicher Erklärungen im Alter von 16 Jahren feststellbar. Die Kontextabhängigkeit der Erklärungen zeigte, dass die Schüler nicht das gleiche Phänomen erkannten, wobei teleologische und anthropomorphe Ausdrücke von den Autoren auch auf mögliche sprachliche Schwierigkeiten zurückgeführt wurden.

Die fehlende konsistente Trennung zwischen wissenschaftlichem und alltagssprachlichem Verständnis von Anpassung folgte auch PALMER (1996) bei britischen Schülern im Alter von 15 bis 16 Jahren im Rahmen einer Untersuchung der Anwendung des Anpassungskonzeptes in Abhängigkeit von Kontextfaktoren. Nur 47% der Probanden zeigten ein Grundverständnis von Anpassung, wobei strukturelle Anpassungen bei der Bandbreite an Anpassungen mit 84% am häufigsten angeführt wurden.

Die Kontextabhängigkeit von Anpassungserklärungen wurde intensiv von KAMPOURAKIS & ZOGZA (2008) anhand von Interviews und offenen schriftlichen

Fragen bei griechischen Schülern untersucht. Schüler der neunten Klasse erklärten dasselbe Phänomen in Abhängigkeit vom Kontext unterschiedlich. Dieses Ergebnis wurde von den Autoren als Fehlen eines theorieähnlichen konzeptuellen Rahmengerüsts interpretiert. Es trat ein Zusammenhang zwischen dem Anteil an Information in der Aufgabe und teleologischen Erklärungen auf, was zeigt, dass Schüler ohne adäquate Information zu einer Suche nach dem Sinn oder dem Zweck tendieren und finale Erklärungen formulieren. Hingegen war bei Angaben über Anfangs- und Endzustand der Anteil proximaler Erklärungen höher. Außerdem scheint das Merkmal Körperfarbe für Schüler einfacher teleologisch erklärbar zu sein, als eine Änderung der Körperform (KAMPOURAKIS & ZOGZA 2008, KAMPOURAKIS ET AL. 2012).

Die zeitliche Stabilität alternativer Rahmengerüste wurde in einer qualitativen Langzeitstudie über zwei Jahren bei Schülern der siebten und neunten Klasse in Schweden gezeigt. Die zu 81% stabilen vorherrschenden teleologischen Erklärungen weisen auf eine Assimilation biologischer Konzepte in bestehende Rahmengerüste hin (PEDERSEN & HALLDEN, 1994).

Das Vorherrschen teleologischer Schülererklärungen in verschiedenen Altersstufen von der zweiten bis zur zwölften Klasse war auch das Ergebnis einer Interviewstudie in den USA (SOUTHERLAND ET AL., 2001a). Hierbei wurden die Muster von Schülererklärungen untersucht, um die Basis der biologischen Wissensstrukturen zu klären. Die Erklärungskategorien anthropomorph, proximat und ultimat traten häufig mit teleologischen Erklärungen vermischt und, mit Ausnahme der Schüler der zwölften Klasse, bei allen Altersstufen gleich häufig auf. Außerdem traten Unsicherheiten und Instabilitäten der Erklärungen auf, Schüler wechselten Erklärungen im Verlauf des Interviews. Dieses Ergebnis inkonsistenter Erklärungen lässt sich durch spontan gebildete Erklärungen interpretieren und unterstützt das Konzept der p-prims (phenomenological primitives; DISSA, 1993).

Bei der Entwicklung eines standardisierten Fragebogens zur Erhebung von Evolutionskonzepten in einer umfangreichen Stichprobe von 9419 Probanden in den USA von FLANAGAN & ROSEMAN (2011) gaben Schüler der Oberstufe statistisch signifikant fachlich korrektere Antworten (48%) als Mittelstufenschüler (39%). Die Fehlvorstellung Organismen verändern vererbte Merkmale aufgrund eines Bedürfnisses war am populärsten und trat häufig in Koexistenz mit der richtigen Vorstellung auf. Viele Lernende haben folglich gemischte Modelle aus einer Kombination richtiger und falscher Vorstellung.

JOHANNSEN & KRÜGER (2005) erhoben mittels Fragebögen in geschlossenen Aufgaben die Vorstellungen 306 älterer deutscher Schüler. Bei Schülern der 10. bis 12. Klasse traten bei drei Vierteln (71-81%) finalistische Vorstellungen auf. Anthropomorphe Vorstellungen traten in geringerem Umfang auf (17-31%) und

nahmen mit steigender Klassenstufe ab. Die Vorstellung einer Evolution aufgrund persönlicher Notwendigkeit war ebenfalls häufig vertreten (25-33%). JOHANNSEN & KRÜGER (2005) führten aus, dass die Schüler die Zufälligkeit von Mutationen nicht berücksichtigten, inkonsistente Erklärungen gaben und Unterricht im Hinblick auf den Abbau vor allem finalistischer Vorstellungen nicht erfolgreich war.

Schüler in Deutschland haben am Ende der Sekundarstufe I ein mittleres Verständnis der Evolution, sie beantworteten in einer Studie von LAMMERT (2012) im Durchschnitt 3,6 der elf Items mit grundsätzlichen Verständnisfragen aus fachlicher Sicht korrekt. Schüler, die Unterricht zum Thema Evolution erhalten hatten, zeigten zwar ein geringfügig besseres Verständnis, allerdings beschränkte sich die Verbesserung auf eine Reduktion lamarckistischer Vorstellungen. Hingegen traten finalistische Vorstellungen in gleichem Umfang wie bei Schülern ohne Evolutionsunterricht auf. Die Schüler hatten im Zusammenhang mit Evolutionsmechanismen inkonsistente Vorstellungen, es handelt sich folglich bei den Fehlvorstellungen nicht um robuste und beständige Konzepte.

Die Natur alternativer Vorstellungen deutscher Oberstufenschüler wurde anhand von qualitativen Studien nach dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion untersucht. Hierbei wurden aus Konzepten bestehende Denkfiguren beschrieben. BAALMANN ET AL. (2004) identifizierten in problemzentrierten Interviews die drei Denkfiguren „gezieltes und adaptives Handeln von Individuen“, „adaptive körperliche Umstellung“, sowie „absichtsvolle genetische Transmutation“ zur Anpassung. Diese Denkfiguren zur Anpassung wurden von WEITZEL & GROPENGIESSER (2009) aufgegriffen, erweitert und der wissenschaftsorientierten Denkfigur „Anpassung aufgrund von Unterschiedlichkeit und Auslese“ gegenübergestellt. Schülervorstellungen stimmen nach Weitzel und Gropengießer mit einer lebensweltlichen Vorstellungen von Anpassungen, die er als Denkfigur „gezielte Gegenstandsanpassung“ zusammenfasst, überein und der die Erfahrungen des Zueinanderpassens von Gegenständen, der Intentionalität von Handlungen und des handwerklichen Zurichtens von Dingen zugrunde liegen. Die Bereichsspezifität der Denkfiguren zeigten BAALMANN ET AL. (2005) in einer Interviewstudie. Im Zusammenhang mit Evolution steht die Denkfigur „absichtsvolle Transmutation“ der Denkfigur „Überdauern von Merkmalen in Genen“ im Bereich Genetik gegenüber. Lernende konstruieren sich folglich ihre persönliche Genetik (BAALMANN ET AL., 2004). Vor allem im Bereich der Humanevolution sehen ältere Schülern (15-19 Jahre) nach GROSS & GROPENGIESSER (2008) die Evolution als eine gerichtete Höherentwicklung in Form eines Treppenschemas an, wobei die Menschen nach dem „Oben-unten-Schema“ übergeordnet angesehen werden und Evolution nach dem „Start-Ziel-Schema“ als Reisen verstanden wird.

3.2.3 *Vorstellungen zur Evolution und Evolutionstheorie bei Studenten*

Ältere Studien von Brumby (1979, 1981, 1984), die das Verständnis der natürlichen Selektion von Studienanfängern untersuchte, zeigten bei etwa zwei Drittel der Probanden ebenfalls ein geringes Verständnis, prominente finalistische und lamarckistische Fehlvorstellungen, kein Verständnis von Variation, die Vorstellung umweltinduzierter Mutation, die Extrapolation individueller Veränderungen, kein Populationskonzept, eine Sichtweise von Anpassung als Ergebnis anstelle eines Prozesses und damit Probleme mit der aktiven und passiven Form des Verbs „anpassen“. Sie geht von konsistenten Fehlvorstellungen aus und führt diese auf intuitive Theorien zurück, die wie eine Rekapitulation der Geschichte der Wissenschaft erscheinen.

Die Verwendung von darwinischen Erklärungsbestandteilen im Zusammenhang mit Ereignis- und Gleichgewichtsattributen untersuchten FERRARI & CHI (1998) bei 40 College-Studenten durch offene Aufgaben. Als häufigstes darwinisches Konzept wurde ein Überlebensvorteil angeführt, allerdings enthielt die überwiegende Anzahl der Erklärungen (63%) nicht-darwinische Elemente. Es wurde eine signifikante positive Korrelation zwischen darwinischen Erklärungen und Verwendungen von Gleichgewichtsattributen sowie zwischen nicht-darwinischen Erklärungen und der Verwendung von Ereignisattributen herausgestellt. Fehlvorstellungen führen Ferrarri und Chi auf Klassifizierungsfehler zurück, die meisten Schüler betrachten natürliche Selektion als Ereignis und nicht als Gleichgewichtsprozess. Als Folgerung bereiten den Schülern vor allem die Konzepte innerartliche Variation und Akkumulation von Änderungen Verständnisschwierigkeiten, da sie sich auf Zufälligkeit und Unabhängigkeit beziehen. Im Gegensatz dazu sind die Konzepte Vererbbarkeit, Überlebens- und Reproduktionsvorteil einfacher zu verstehen.

SHTULMAN (2006) untersuchte ebenfalls das Verständnis von Evolution bei 45 amerikanischen Studenten, differenzierte hierbei aber in „transformationale“ und „variationale“ Vorstellungen. Die „transformationalen“ Vorstellungen berücksichtigen nicht die innerartliche Variation, sondern gehen von einer graduellen, gleichförmigen Anpassung aller Individuen aus. Die Mehrzahl der Probanden zeigte transformationale, intern konsistente Vorstellungen (47%), die nicht vereinbar mit „natürlicher Selektion“ sind, nur 22% wiesen variationale Konzepte auf. Zusätzlich wurde ein „prä-variationales Rahmengerüst“ synthetischer Natur identifiziert, bei welchem die Konzepte „Überleben des Angepassten“ und „erworbene Merkmale werden nicht vererbt“ in die Vorstellungen von Vererbung und Variation assimiliert waren.

Die Verwendung sowohl von Schlüsselkonzepten als auch alternativen Konzepten bei Erklärungen der natürlichen Selektion zeigten NEHM & SCHONFELD

(2008) bei der Erprobung eines Testinstrumentes (ORI) aus fünf offenen Fragen. Als Schlüsselkonzepte werden hierbei einzelne Elemente fachlich angemessener Vorstellung verstanden. Die Studenten gaben im Mittel vier Schlüsselkonzepte, aber ebenfalls zwei alternative Konzepte an. Die Schlüsselkonzepte traten unterschiedlich häufig auf, am häufigsten wurde das Konzept „einige Phänotypen überleben besser und haben mehr Nachwuchs“, am wenigsten wurde „Überproduktion an Nachkommen und die Konkurrenz“ angegeben. Als häufigste alternative Vorstellungen wurden „Gebrauch und Nichtgebrauch“, „Vererbung erworbener Merkmale“ und „Intention / Bedürfnis“ angeführt.

Die Erklärungen von Studenten zur natürlichen Selektion sind ebenfalls kontextabhängig, wie die Untersuchung von NEHM & HA (2011) mit offenen Aufgaben zur natürlichen Selektion, die in Taxon, Merkmal und Änderungsmuster (Entstehung oder Verlust eines Merkmals) differierten, zeigten. Ausgangspunkt war die Kritik an der Verschiedenheit der in Untersuchungen eingesetzten Messinstrumente im Hinblick auf den Aufgabenkontext. Erklärungen des Verlustes eines Merkmals weisen eine höhere Anzahl an alternativen Vorstellungen auf als zur Entstehung eines Merkmals. Die Verwendung von alternativen Vorstellungen war in allen Kontexten variabler als die Verwendung von Schlüsselkonzepten, es ergaben sich kaum konsistente Muster. Es traten allerdings auch aus alternativen und wissenschaftlichen Vorstellungen gemischte Antworten auf.

3.2.4 *Zusammenfassung der Ergebnisse zu Vorstellungen zur Evolution und Evolutionstheorie*

Die Studien zeigen, dass das Verständnis von Anpassung bei deutschen Schüler am Ende der Sekundarstufe I mittelmäßig ist und ein Grundverständnis häufig fehlt (JOHANNSEN & KRÜGER 2005, LAMMERT, 2012).

Über die Hälfte der Kinder hat zu Beginn der Grundschule kreationistische oder gemischte Vorstellungen als Kombination aus Schlüsselkonzepten und alternativen Konzepten (BERTI ET AL., 2010), die auch bei vielen älteren Lernenden auftreten (FLANAGAN & ROSEMAN 2011, NEHM & HA 2011, SHTULMAN 2006). Die Unvereinbarkeit von Vorstellungen wird nicht wahrgenommen, sondern als Teil der gleichen Erklärung erachtet.

Finalistische Erklärungen zur Entstehung evolutionärer Anpasstheit sind prominent bei Schülern unabhängig vom Alter vertreten (DEADMAN & KELLY 1978, JOHANNSEN & KRÜGER 2005, PEDERSEN & HALLDEN 1994, SOUTHERLAND ET AL. 2001a, TEETZ 2011) und deuten darauf hin, dass sowohl Unterricht beim Abbau dieser Vorstellungen nicht erfolgreich ist (JOHANNSEN & KRÜGER 2005, LAMMERT 2012), als auch das Unterricht bei jüngeren Schülern ohne expliziten

Bezug zu den Prozessen Mutation und Selektion die finalistischen Vorstellungen der Lerner bestätigt. Schüler tendieren vor allem ohne weitere Information zu einer Begründung durch Sinn oder Zweck (KAMPOURAKIS & ZOGZA, 2008).

Alternative Vorstellungen lassen sich auf lebensweltliche Erfahrungen einer gezielten Gegenstandsanpassung zurückführen (WEITZEL & GROPENGIESSER, 2009). Schüler haben häufig eine anthropozentrische Sicht (DEADMAN & KELLY, 1978), die im Gegensatz zu finalistischen Vorstellungen mit zunehmendem Alter abnimmt (JOHANNSEN & KRÜGER, 2005). Alternative Vorstellungen beachten nicht die intraspezifische Variation, gehen von umweltinduzierten Mutationen und individueller Veränderung aus (BRUMBY, 1984). Zentrale Hindernisse sind das Verständnis von Wahrscheinlichkeiten und Genetik (DEADMAN & KELLY, 1978), wobei die Denkstrukturen von Schülern bereichsspezifisch sind (BAALMANN ET AL., 2005). Anpassung wird als Ergebnis und nicht als Prozess verstanden, wobei die Ursache eine falsche Kategorisierung sein kann (FERRARI & CHI, 1998). Als Lernhürden für die Entwicklung eines Verständnisses der Selektionstheorie wurden die reine Beschreibung, individuelle Evolution, kausale alltagsnahe teleologische Erklärungen und typologisches Denken identifiziert.

Ergebnisse zur Natur alternativer Vorstellungen zur Evolution sind unterschiedlich. Es wird sowohl belegt, dass die Natur vorunterrichtlicher Vorstellungen bei Kindern intern konsistent und unabhängig vom Alter ist (SAMARAPUNGAN & WIERS, 1997), als auch, dass eine entwicklungsabhängige Vorstellungsänderung eintritt (EVANS, 2000) oder keine konsistente Erklärungsmuster bei Schülern existieren (LAMMERT 2012, TEETZ 2011). Inkonsistente Vorstellungen werden auf die in mehreren Studien belegte Kontextabhängigkeit der Erklärungen zurückgeführt (ENGEL CLOUGH & WOOD-ROBINSON 1985, KAMPOURAKIS & ZOGZA 2008). Erklärungen evolutionärer Anpasstheit hängen von Informationsgehalt der Aufgabe, dem Merkmal sowie der Organismengruppe ab (NEHM & HA, 2011). Unsicherheit und Instabilität entstehen aufgrund spontan gebildeter Erklärungen, wonach Alternativvorstellungen keine robusten Konzepte darstellen (SOUTHERLAND ET AL., 2001a).

In den Studien sind allerdings die Erhebungsmethoden nicht vergleichbar und die wenigen Studien haben aufgrund verschiedener Nationalitäten der Probanden einen nicht immer vergleichbaren kulturellen Hintergrund.

3.3 INTERVENTIONSSTUDIEN ZUR EVOLUTION

3.3.1 *Interventionsstudien mit Unterricht zum Themenbereich Evolution bei Grundschülern*

Die einzig bekannte Interventionsstudie mit jüngeren Schülern im Alter von neun bis zehn Jahren (3.Klasse bzw. 3. bis 5. Klasse) ist eine qualitative Studie aus Dänemark mit Interviews in zwei Versuchs- (n=19 bzw 20) und einer Kontrollgruppe nach erfolgreichem Unterricht zur Evolution von HEDEGAARD (1996). Der Unterricht umfasste in einem Umfang von 30 Unterrichtsstunden die Themen Evolution der Arten, Entstehung des Menschen und historische gesellschaftliche Änderungen. Kinder der Kontrollgruppe hatten zwar ein Verständnis für die Evolution der Tiere, allerdings zeigten sich qualitative Unterschiede in den Erklärungen der Versuchsgruppe, welche auf einen Anstieg an evolutionären Erklärungen schließen ließ und laut der Autorin vergleichbar mit den Ergebnissen bei älteren Schülern waren. Viele Kinder der Versuchsklassen konnten die Entstehung des Menschen biologisch durch einen Transfer der Evolution von Arten erklären.

3.3.2 *Interventionsstudien mit Unterricht zum Themenbereich Evolution bei Schülern der Sekundarstufe I und II*

Bei 180 schwedischen Schülern der Sekundarstufe I (11 bis 16 Jahre) führte Unterricht zum Themenbereich Evolution bei zwei Versuchsgruppen unterschiedlichen Alters (5. bis 7. Klasse und 9. Klasse) zu einer Zunahme der Verwendung des Konzeptes der natürlichen Selektion im Vergleich zu einer nationalen Vergleichsgruppe der neunten Klasse (n=335). Die Zunahme an Erklärungen war mit einer Abnahme an reinen Beschreibungen verbunden, wie Olander (2008, 2009) anhand von offenen Fragen und Interviews zur Evolution eines neuen Merkmals zeigen konnte. Hierbei verwendete der Autor unterschiedliche Tierarten im Aufgabenkontext von Vor- und Nacherhebung. Er begründete dies anhand des Fehlens kontextabhängiger Unterschiede in seiner Pilotstudie. In den vorunterrichtlichen Aussagen, in denen teleologische Erklärungen vorherrschten, traten keine Altersunterschiede auf. Allerdings war der Anstieg an wissenschaftlichen Erklärungen durch die Intervention bei älteren Schülern größer als bei jüngeren. Im Gegensatz zu einer Verringerung teleologischer Erklärungen von 46% auf 25% bei den älteren Schülern, stiegen diese bei den jüngeren Probanden leicht von 38% auf 45% an. Die Entwicklung eines neuen Merkmals erklärte im Mittel die Hälfte der Befragten der Versuchsgruppe korrekt anhand einer zufälligen Genänderung.

In einer Feldstudie mit 107 deutschen Schülern der siebten Klassenstufe erhoben ZABEL & GROPENGIESSER (2010) die Lernfortschritte nach einer Intervention von zehn Unterrichtsstunden nach Strategie eines kognitiven Konfliktes. Sie analysierten die Lernendentexte zur Walevolution vor und nach dem Unterricht und visualisierten Lernfortschritte mit Hilfe einer konzeptuellen Landkarte. Dabei ermittelten sie folgende neun Erklärungskategorien: „Beschreibung des Wandels“, „Umwelt bewirkt Evolution“, „Notwendigkeit“, „gezielte individuelle Anpassung“, „gezielte Anpassung über Generationen“, „Organgebrauch“, „Evolution durch Kreuzung“, „Abweichung und Auslese“ sowie „Variation und Auslese“. Vor der Unterrichtsintervention traten überwiegend eine Beschreibung des Wandels (43%) sowie eine gezielte individuelle Anpassung (27%) in den Schülererklärungen auf. Hingegen war nach dem Unterricht das häufigste Konzept, welches von 33% der Probanden verwendet wurde, Abweichung und Auslese. Allerdings wurde nach dem Unterricht von einem gestiegenen Anteil der Schüler (21%) Organgebrauch zur Erklärung des evolutionären Wandels verwendet, was auf die Verwendung eines kognitiven Konfliktes zurückgeführt wurde. Im Gegensatz dazu konnten Vorstellungen einer gezielten individuellen Anpassung durch die Intervention um die Hälfte verringert werden, wobei die eingesetzte Schreibaufgabe zur Erstellung der Texte typologisches Denken gefördert haben könnte. Aus den Ergebnissen folgerten die Autoren folgende Lernhürden bei der Erklärung der Evolution durch natürliche Selektion: Beschreibung statt Erklärung, individuelle Evolution statt Evolution über Generationen, alltagsnahe teleologische Erklärung statt kausalem Mechanismus, andere Mechanismen anstelle der natürlichen Auslese und typologisches Denken anstelle Variation in Populationen.

LAWSON & THOMPSON (1988) untersuchten den Zusammenhang zwischen Fehlvorstellungen zur natürlichen Selektion und der mentalen Fähigkeit zu begründen bei amerikanischen Schülern im Alter von 13 Jahren nach erfolgreichem Unterricht. Auch nach dem Unterricht enthielten die Antworten der offenen Fragen im Mittel eine Fehlvorstellung. Es konnte gezeigt werden, dass die Fähigkeit abstrakt zu begründen, sowie eine große mentale Fähigkeit mit einer geringen Anzahl an Fehlvorstellungen zur natürlichen Selektion korrespondiert.

In einer quasiexperimentellen Prä-Posttest-Studie mit Versuchs- und Kontrollgruppe untersuchte JIMENEZ-ALEXANDRE (1992) bei 69 spanischen Schülern im Alter von 14 Jahren, ob sie lamarckistische und darwinische Erklärungen der Entstehung von Anpassung unterscheiden können, da das Wissen um die Existenz zweier unterschiedlicher, nicht kompatibler Sichtweisen als essentiell für ein Verständnis der Anpassungsprozesses angesehen wird. Für die Schüler waren lamarckistische und darwinische Erklärungen nicht unvereinbare Vorstellungen, da sie diese als Teil derselben Erklärung erachteten. Die

Schüler der Versuchsgruppe, die im Vergleich zur Kontrollgruppe über die eigenen Vorstellungen diskutierten, antworteten häufiger darwinisch. Die Ergebnisse eines Nachfolgetests nach einem Jahr ließen auf zeitlich stabile Veränderungen schließen. Einzelne Personen zeigten unterschiedliche Vorstellungen in verschiedenen Kontexten, was auf individuelle Inkonsistenzen und fehlendes Erkennen des gleichen Phänomens schließen ließ.

Das Verständnis älterer Schüler der Evolution und Genetik untersuchte HALLDEN (1988) in Schweden in einer qualitativen Studie mit schriftlichen Essays bei 27 Schülern der 11. Klasse (17 Jahre) nach längerem Unterricht zu Evolution und Genetik. Es trat zwar ein Anstieg darwinischer Erklärungen ein, allerdings waren diese meistens mit anderen Erklärungen kombiniert. Anpassung war für die Schüler eine allumfassende Erklärung eines graduellen Prozesses und wurde teilweise intentional angesehen, wobei häufig funktionale Erklärungen formuliert wurden. Mutation und Selektion wurden nicht getrennt betrachtet. Nach dem Unterricht hatten die Schüler zwar Faktenwissen, aber Schwierigkeiten, dieses mit konsistenten Erklärungen zu verknüpfen.

Ebenfalls ein signifikanter, allerdings geringer Anstieg darwinischer Erklärungen (auf 70%) sowie eine Kombination von darwinischen und lamarckistischen Erklärungen waren das Ergebnis einer Prä-Postteststudie von BANET & AYUSO (2003) mit 90 spanischen Schülern am Ende der Sekundarstufe I (15 bis 16 Jahre) nach 60 Stunden Unterricht zu Genetik und Evolution. Problematisch ist in dieser Erhebung allerdings die Kategorisierung in zwei Gruppen. Die Bezeichnung „lamarckistisch“ umfasst hier alternative Vorstellungen, die nicht in diese Kategorie gehören. Im Gegensatz zu anderen Studien fällt der Anteil darwinischer Erklärungen in einem Nachfolgetest ab. Drei Viertel der Schüler führten vor dem Unterricht Mutationen auf einen Überlebenszwang der Lebewesen zurück. Im Gegensatz dazu haben nach dem Unterricht etwa zwei Drittel der Schüler die Vorstellung des zufälligen Auftretens von Mutationen.

Die Verwendung historischer Argumente in der Unterrichtsstrategie und der Einsatz eines Selektionsspiels führte in der Interventionsstudie von BEARDSLEY (2004) bei Schülern der achten Klasse (n=86) in Amerika zu einem Anstieg des Verständnisses des Selektionsbegriffs. Zeigten im Vortest nur 21% ein mittleres und 79% ein geringes Verständnis, so war das Verständnis von 58% der Probanden im Nachtest gut oder mittel. Die Schüler verstanden zwar die Konzepte evolutionärer Veränderungen, wendeten diese aber nicht konsistent in verschiedenen Kontexten an.

Große Unterschiede zwischen vor- und nachunterrichtlichen Konzepten nach einer zweistündigen Intervention waren das Ergebnis einer Interventionsstudie (GERAEDTS & BOERSMA, 2006) in den Niederlanden mit 109 Schülern am Ende der Sekundarstufe I (10. Klasse). Aus dem mit 72% großen Anteil von Schü-

lern mit darwinischen Erklärungen folgerten die Autoren die Effektivität ihrer Unterrichtsstrategie, die sie als „Guided Reinvention“ bezeichnen. Die vorunterrichtlichen Vorstellungen waren nicht konsistent, wobei lamarckistische Vorstellungen eher selten auftraten und kein konzeptuelles, sondern ein sprachliches Problem darstellten. Einen wichtigen Beitrag zum Verständnis des Mechanismus der Evolution lieferte ein im Unterricht eingesetztes Simulationsspiel, wobei Interviewergebnisse zeigten, dass den Schülern der Bezug zwischen simulierter und natürlicher Selektion deutlich war.

Eine Zunahme an evolutionären Erklärungen tritt ebenfalls in einer Studie von KAMPOURAKIS & ZOGZA (2009) mit griechischen Schülern der 9. Klasse (n=98) auf. Viele Schüler verwendeten allerdings auch nach dem Unterricht noch teleologische bzw. nicht konsistente Erklärungen.

In einer Interventionsstudie von BAUMGARTNER & DUNCAN (2009) auf Hawaii traten nach einer Unterrichtssequenz bei jüngeren Schülern der 9. Klasse größere Vorstellungsänderungen als bei älteren Schülern der 12. Klasse auf. Die jüngeren Schüler zeigten in größerem Ausmaß vor dem Unterricht Fehlvorstellungen als die älteren Schüler. Eine Folgerung der Autoren ist, die Selektionstheorie so früh wie möglich zu unterrichten, um ein grundlegendes Verständnis zu entwickeln und die Verfestigung von Fehlvorstellungen zu vermeiden. An der Erhebung lässt sich allerdings die relativ kleine Stichprobe von 52 bzw. 39 Schülern, die fehlende Kontrollgruppe und ein Fragebogen mit nur wenigen Items bemängeln.

Einen Anstieg des Verständnisses der natürlichen Selektion nach einer dreiwöchigen Unterrichtseinheit zur Evolution stellten LINNENBRINK-GARCIA ET AL. (2012) bei Schülern der 9. und 10. Klasse in den USA fest. Die Schüler hatten vor dem Unterricht ein geringes Verständnis des Konzeptes der natürlichen Selektion, 80% zeigten deutliche Fehlvorstellungen. Dieser Anteil konnte durch den Unterricht um die Hälfte reduziert werden. 35% der Schüler wiesen fachlich angemessene und 25% eine gemischte Vorstellung auf. Das Wissen zur Evolution und das Verstehen der natürlichen Selektion standen vor dem Unterricht in keinem erkennbaren Zusammenhang. Auch nach dem Unterricht waren, wie die Ergebnisse einer Regressionsanalyse aufzeigten, weder das Vorwissen, noch die Motivation oder das Geschlecht signifikante Prädiktoren für das Konzeptverständnis im Posttest.

Ebenfalls ein signifikanter Anstieg an fachlich angemessenen Antworten nach dem Unterrichten der Evolutionsbiologie fand sich als Ergebnis einer Interventionsstudie von WALLIN (2004) mit 94 schwedischen Schülern der Sekundarstufe II. Dieser Unterrichtserfolg wird auf das Herausstellen und Trennen der beiden Prozesse Entstehen von Variation und Selektion zurückgeführt und Mutation

als Schlüsselkonzept für wissenschaftliche Vorstellungen von Evolution identifiziert.

Den Einfluss von Schüleraktivität beim Einsatz eines Simulationsspiels untersucht eine Interventionsstudie von SPINDLER & DOHERTY (2009) mit Hilfe eines Fragebogens. Hierbei war der Anteil richtiger Antworten der Multiple-Choice-Items pro Schüler sowohl im Vortest mit 0,66 als auch im Nachtest mit 0,63 im Mittel eher gering, obwohl die Lehrer und Autoren nach der Aktivität das Gefühl eines besseren Verständnisses der Schüler aufgrund ihrer Beobachtungen angaben. Das Ausbleiben eines Wissenszuwachses wird auf die Schwierigkeiten bei dem Transfer des Wissens vom Kontext der Simulation auf reale Kontexte und die Erweiterung in Bezug auf andere Merkmale zurückgeführt, da die verwendeten Items keinen reproduktiven Charakter hatten.

Die Akzeptanz der Evolution untersuchten WILES & ALTERS (2011) bei 37 begabten Schülern im Alter von 16 bis 17 Jahren mit Hilfe eines Fragebogens (MATE), wobei sie einen Anstieg der Akzeptanz der Evolution zwischen erstem und zweitem Messzeitpunkt feststellten. Die zunächst moderate Akzeptanz der Evolution stieg durch den Unterricht signifikant auf ein hohes Niveau an, wobei die größte Änderung bei Probanden auftrat, die der Evolution vor dem Unterricht eher ablehnend gegenüber standen. Die Ergebnisse des Nachfolgetests zeigen die zeitliche Stabilität der Akzeptanz der Evolution.

LAWSON & WORSNOP (1992) erhoben in einer quantitativen Interventionsstudie bei Schülern im Alter von 16 Jahren in den USA die Faktoren „logisches Denken“ und „religiöse Einstellungen“ in Bezug auf das Wissen und die Vorstellungen zu Evolution in einem Prä-Posttest-Design. Sie folgerten aus ihren Ergebnissen, dass die Instruktion zu einem geringen Anstieg an Wissen über Evolution, aber nicht zu einer Einstellungsänderung führte. Das logische Denken korrelierte im Vortest signifikant mit den Einstellungen zu Evolution und war der beste Prädiktor des Wissens über Evolution im Nachtest. Logisches Denken und das Vorwissen erklärten zusammen 34,5% der Varianz des Wissens über Evolution im Nachtest. Es scheint, dass sich die Fähigkeit logisch zu denken bei der Aneignung spezifischen Wissens auswirkt. Die Stärke der Religiosität stand in einem negativen Zusammenhang mit den Einstellungen zu Evolution.

CAVALL & MCCALL (2008) untersuchten in einer quantitativen Fragebogenstudie mit 81 amerikanischen Schülern der 9. Klasse (14 bis 15 Jahre) die Änderungen und Zusammenhänge der Konstrukte „Verstehen und Akzeptanz der Evolution“ und „Natur der Wissenschaften“ vor und nach einer vierwöchigen Unterrichtsintervention. Es wurde ein signifikanter Anstieg des Verstehens der Evolution durch das Treatment gemessen, allerdings keine Veränderung der Akzeptanz der Evolution und des Verständnisses der Natur der Wissenschaften

festgestellt. Die Autoren folgerten aus ihren Ergebnissen, dass sich die tiefsitzenden Vorstellungen der Schüler nicht durch eine relativ kurze Unterrichtssequenz änderten. Das Verstehen der Evolution und die Akzeptanz der Evolution standen zu keinem Zeitpunkt in einem signifikanten Zusammenhang. In der Studie werden zwar erprobte Messinstrumente aus anderen Studien übernommen und angegeben, allerdings fehlen konkrete Angaben zu den Unterrichtsinhalten und der Unterrichtsstrategie.

3.3.3 *Interventionsstudien mit Unterricht zum Themenbereich Evolution bei Studenten*

Die Studie von BISHOP & ANDERSON (1990) war eine der ersten Interventionsstudien, in der das Verstehen der natürlichen Selektion und die Akzeptanz der Evolution vor und nach einer Instruktion untersucht wurde. Die Multiple-Choice-Items des eingesetzten Messinstruments zum Verstehen der natürlichen Selektion wurden vielfach in späteren Erhebungen übernommen, problematisch allerdings war die Messung der Akzeptanz aufgrund einer eigenen Einschätzung mit nur einem Item. Die Stichprobe bildeten amerikanische Collegestudenten. Die Autoren hatten zuvor für die Instruktion ein Unterrichtsmodul zur Evolution durch natürliche Selektion konzipiert. Die Instruktion bewirkte in dieser Untersuchung einen moderaten Anstieg des Verständnisses der natürlichen Selektion, wobei ein verbessertes Verständnis nicht zu einer höheren Akzeptanz der Evolution führte. Auch nach der Instruktion wiesen nur 31% der Probanden ein fachlich korrektes Verständnis auf, wobei 67% gleiche Antworten in beiden Messungen angaben. Als verständnisbehindernd führten Bishop und Anderson die fehlende Unterscheidung in Auftreten und Überdauern von Merkmalen, die Entwicklung von Merkmalen aufgrund eines Bedürfnisses, den Alltagskontext des Begriffs Anpassung, alternative und implizit lamarckistische Konzepte, fehlendes Variationsverständnis und die Vorstellung einer graduellen Veränderung der gesamten Population an.

Im Gegensatz dazu konnte DEMASTES (1995) bei einer Wiederholung der Studie von Bishop und Anderson keinen Unterschied zwischen Vor- und Nachtest feststellen, es trat nur ein geringer Gebrauch wissenschaftlicher Konzepte bei 25% der Probanden auf. Die Instruktion hatte ebenso keinen Effekt auf die Akzeptanz der Evolution. Es ergab sich kein Zusammenhang zwischen dem Verstehen der Evolution und der Akzeptanz der Evolution, dem Lernerfolg oder Studiendauer der Studenten.

Eine signifikante, hohe Korrelation zwischen dem Verständnis und der Akzeptanz der Evolution, sowohl vor als auch nach dem Treatment konnten SHUTLMAN & SCHULZ (2008) in ihrer Interventionsstudie mit 45 amerikanischen

Studenten aufzeigen. Shtulman führte den fehlenden Zusammenhang zwischen den beiden Konstrukten in anderen Studien auf eine möglicherweise inadäquate Methode bei der Unterscheidung richtiger und falscher Konzepte der Evolution zurück. In dieser Studie werden die 30 Items nach falschem „transformationalem“ und richtigem „variationalem“ Verständnis bewertet. Ein verbessertes Verständnis von Evolution führte hier zu einer Steigerung der Akzeptanz der Evolution.

Eine Interventionsstudie von ATHANASIOU & PAPADOPOULOU (2011) erhob nicht nur das Verstehen und die Akzeptanz der Evolution (MATE), sondern außerdem den Einfluss von Denkdisposition, „Bildungsniveau der Eltern“ und „Ausübung religiöser Praktiken“ bei 112 zukünftigen griechischen Grundschullehrern mit Hilfe von Fragebögen. Bei allen Teilnehmern waren nach der Intervention sowohl das Verständnis, als auch die Akzeptanz größer. Der signifikante Zusammenhang zwischen der Denkdisposition und der Akzeptanz der Evolution deutet darauf hin, dass Evolution bei einer größeren kognitiven Flexibilität und Offenheit eher akzeptiert wird. Das Bildungsniveau der Eltern zeigte hingegen keinen Einfluss, die Auswirkung religiöser Praktiken hingegen stand in einem negativen Zusammenhang zur Akzeptanz der Evolution. Insgesamt konnten 29% der Varianz der Akzeptanz der Evolution durch die beiden Faktoren erklärt werden, wobei die Denkdispositionen den größten Beitrag lieferten.

NADELSON & SOUTHERLAND (2010) untersuchten das Verständnis der Makroevolution und der Akzeptanz der Evolution bei einer Stichprobe von 667 Studenten im ersten Semester vor und nach einem Kurs zur Evolutionsbiologie. Es trat eine signifikante Korrelation zwischen den beiden Konstrukten auf. Die Autoren folgerten, dass sich der Unterricht positiv sowohl auf das Verstehen der Makroevolution als auch auf die Akzeptanz der Evolution auswirkte.

INGRAM & NELSON (2006) untersuchten die Veränderung der Akzeptanz bei amerikanischen Studenten. Die Teilnahme an einem universitären Kurs zu Evolution wirkte sich positiv auf die Akzeptanz der Evolution, gemessen mit Hilfe des MATE-Fragebogens, aus. Die Antworten waren nach der Intervention konsistenter, wobei sich die Akzeptanz der Evolution aber nicht auf das Verständnis auswirkte. Die Autoren folgerten aus ihren Ergebnissen, dass die Akzeptanz vor der Intervention keinen Einfluss auf das Lernen von Evolution hat.

NEHM & REILLY (2007) konnten nachweisen, dass aktives Lernen unter Einbezug von kooperativen Lernformen (Partnerarbeit und Gruppendiskussionen) im Vergleich zu traditionellen Unterrichtsmethoden zu einem höheren Verständnis der Evolution bei 82 amerikanischen Biologiestudenten führte. Sie verwendeten bei offenen Fragen eine höhere Anzahl angemessener Konzepte und in geringerem Umfang Fehlvorstellungen als die Vergleichsgruppe, wobei auch

bei der Interventionsgruppe nach der Intervention die Fehlvorstellungen noch weit verbreitet waren.

ASTERHAN & SCHWARZ (2007) untersuchten den Einfluss von Argumentationsmöglichkeiten bei Diskussionen im Unterricht auf das Verständnis der Evolutionstheorie. Sie folgerten aus ihren Ergebnissen, dass die Möglichkeit der Argumentation im Unterricht das konzeptuelle Verständnis der Evolution fördert.

Den Einfluss einer interaktiven Computersimulation im Rahmen der Instruktion auf das Verstehen der natürlichen Selektion untersuchten ABRAHAM ET AL. (2009) bei 596 amerikanischen Studenten in verschiedenen Studienjahren. Es zeigte sich, dass Studienanfänger mehr Fehlvorstellungen aufwiesen, diese allerdings in einem höheren Maße als bei den älteren Studenten verringert wurden. Die Anzahl korrekter Antworten war nach der Instruktion signifikant mit kleinem Effekt höher. Es zeigte sich eine Abhängigkeit von Aufgabenformat; Multiple-Choice-Items wurden im Durchschnitt besser als offene Aufgaben beantwortet. Die Ergebnisse zeigen, dass Fehlvorstellungen zur natürlichen Selektion durch geeignete computerbasierte Instruktionen erfolgreich reduziert werden können.

3.3.4 Zusammenfassung der Ergebnisse zu Interventionsstudien zur Evolution

Interventionsstudien mit unterschiedlichen Unterrichtsstrategien belegen die Abnahme an Beschreibungen, die Zunahme an Erklärungen unter Verwendung von Schlüsselkonzepten und die Reduktion von Fehlvorstellungen, vor allem bei älteren Schülern bei der Erklärung evolutionärer Anpasstheit (OLANDER, 2009). Es tritt in fast allen Studien ein Anstieg an darwinischen Erklärungen, allerdings häufig in Kombination mit anderen Erklärungen auf (BANET & AYUSO 2003, GERAEDTS & BOERSMA 2006, HALLDEN 1988, KAMPOURAKIS & ZOGZA 2009, LINNENBRINK-GARCIA ET AL. 2012, WALLIN 2004, ZABEL & GROPENGIESSER 2010). Die Probanden hatten nach dem Unterricht sogenannte gemischte, synthetische Konzepte, welche durch die Assimilation von Schlüsselkonzepten entstanden. Die Veränderungen durch Unterricht erwiesen sich als zeitlich stabil (JIMENEZ-ALEIXANDRE, 1992).

Für jüngere Schüler liegen nur die Ergebnisse weniger, vorwiegend qualitativer Studien vor. Die allgemeine Folgerung aus diesen Ergebnissen ist, dass Konzepte der Evolutionstheorie auch für jüngere Schüler sinnvoll unterrichtbar sind (BAUMGARTNER & DUNCAN 2009, HEDEGAARD 1996, OLANDER 2009, ZABEL & GROPENGIESSER 2010).

In den meisten Studien wurden allerdings die Inhalte und Methoden der Unterrichtsintervention entweder nicht genau angegeben, oder in Bezug auf Um-

fang, Kontext und Distraktoren unterschiedliche Erhebungsinstrumente eingesetzt, es fehlten entweder Vortest oder Kontrollgruppe oder die Ergebnisse der Messzeitpunkte ließen sich nicht miteinander vergleichen, wodurch die Ergebnisse der verschiedenen Studien untereinander nicht vergleichbar sind.

Häufig wurde die Veränderung der Vorstellung bei Schülern aufgrund offener Fragen untersucht, selten hingegen die Akzeptanz der Evolution oder der Zusammenhang von Akzeptanz und Verständnis. Insgesamt erfolgte die Analyse, vor allem die Kategorisierung in den Studien sehr unterschiedlich und die Stichprobengröße war gering.

Eine interventionsabhängige Veränderung der Akzeptanz der Evolution ist kaum untersucht. Eine Studie belegt einen Anstieg der Akzeptanz der Evolution (WILES & ALTERS, 2011).

Im Gegensatz dazu belegt eine andere Studie mit Schülern keine Veränderung der Akzeptanz der Evolution in Kombination mit einem Anstieg des Verstehens der Evolution durch Instruktion (BISHOP & ANDERSON 1990, CAVALL & MCCALL 2008). Allerdings liegen hierzu widersprüchliche Ergebnisse von Studien mit Studenten vor, bei denen starke Zusammenhänge zwischen Verstehen von Evolution und Akzeptanz der Evolution auftraten (NADELSON & SOUTHERLAND, 2010), was auf inadäquate Erhebungsmethoden zurückgeführt wurde (SHTULMAN & SCHULZ, 2008).

FRAGESTELLUNG UND DESIGN DER STUDIE

Die Analyse der Fachliteratur zur Akzeptanz von Evolution und Vorstellungen zur Evolutionstheorie zeigt, dass verschiedene Studien nicht nur verbreitete Akzeptanz-, sondern auch Verständnisprobleme im Bereich der Evolutionstheorie belegen (z.B. GRAF 2008, BISHOP & ANDERSON 1990). Allerdings ist ein Verstehen von Evolution elementar für die Entwicklung eines ultimat-kausalen Verständnisses der gesamten Biologie und sollte aus diesem Grund als allgemeines Bildungsgut durch die Schulbildung entwickelt werden.

Hieraus resultiert die Überlegung, die Selektionstheorie möglichst früh zu unterrichten, um ein verbessertes Verständnis durch kausale Erklärungen im Hinblick auf eine evolutionsbiologische Grundbildung zu erreichen (GIFFHORN & LANGLET, 2006). In jüngster Zeit gibt es Initiativen, die fordern, mit dem Evolutionsunterricht bereits in der Grundschule zu beginnen. In den Biologielehrplänen der verschiedenen Bundesländer sind aber im Gegensatz dazu Themen zur Evolution bzw. Evolutionstheorie erst gegen Ende der Sekundarstufe I bzw. für den Kursunterricht der Sekundarstufe II vorgesehen.

Es liegen kaum empirische Ergebnisse, vor allem keine quantitativen Interventionsstudien, zum Verstehen der Evolutionstheorie von jüngeren Schülern vor. Diese wenigen wurden nicht im deutschsprachigen Raum gewonnen (EVANS 2000, SAMARAPUNGAVAN & WIERS 1997). Im deutschen Sprachraum wurde eine qualitative Studie mit etwas älteren Schülern durchgeführt, dessen Schwerpunkt auf der Analyse der narrativen Strukturen liegt (ZABEL, 2009).

Diese Forschungslücke möchte die vorliegende Studie, welche als quasi-experimentelle Prä-Posttest-Feldstudie angelegt wurde, mit dem Ziel der Erhebung der Einstellungen und Vorstellungen von jüngeren Lernenden zur Evolution bzw. Evolutionstheorie und der Analyse der Vorstellungsentwicklung durch eine Unterrichtsintervention zur Selektionstheorie, schließen. Nachfolgend werden die sich hieraus ergebenden Forschungsfragen und das Design der Studie dargelegt.

4.1 FORSCHUNGSFRAGEN

Wie ist die Einstellung von Schülern zu Beginn der Sekundarstufe I zur Evolution?

1. Wie ist die Akzeptanz der Evolution ausgeprägt?
2. Welches Wissen haben sie über Evolution?
3. Gibt es Unterschiede in den Einstellungen zur Evolution aufgrund des Alters, des Geschlechts, des Interesses an der Biologie oder der Konfession?
4. Existiert ein Zusammenhang zwischen dem Verstehen der Evolution und der Einstellung zur Evolution?

Wie ist das Verständnis von Schülern zu Beginn der Sekundarstufe I von Evolution?

1. Wie ist das Verständnis der Evolutionstheorie ausgeprägt?
2. Welche verschiedenen Vorstellungen haben sie zu Evolutionsmechanismen im Hinblick auf den Anpassungsprozess?
3. Welche Konzepte nutzen sie zur Erklärung des Anpassungsprozesses?

Lässt sich bei Schülern zu Beginn der Sekundarstufe I durch Unterricht zur Selektionstheorie ein fachlich angemesseneres Verständnis der Evolution entwickeln?

1. Verändern sich durch Unterricht zur Anpassung durch Selektion ihre Erklärungen in eine fachlich angemessene Richtung?
2. Verändern sich die zur Erklärung des Anpassungsprozesses genutzten Konzepte im Hinblick auf einen Konzeptwechsel? Beeinflusst ein Verständnis der Variation, Vererbung und des Artkonzeptes das Verstehen der Mechanismen der Evolution?
3. Wirkt sich ein Verständnis von Evolution auf deren Einstellung zur Evolution aus?

4.2 DESIGN DER INTERVENTIONSSTUDIE

Die Studie wurde als quasiexperimentelle Feldstudie im Prä-Posttestdesign angelegt. Aufgrund des explorativen Charakters der Studie wurden zur Erhebung neben Fragebögen auch qualitative Leitfadeninterviews sowohl vor als auch nach der Unterrichtsintervention eingesetzt. Eine Übersicht über das Design der Studie gibt Abbildung 2, die Konzeption der Unterrichtsintervention wird in Kapitel 5 detailliert erläutert.

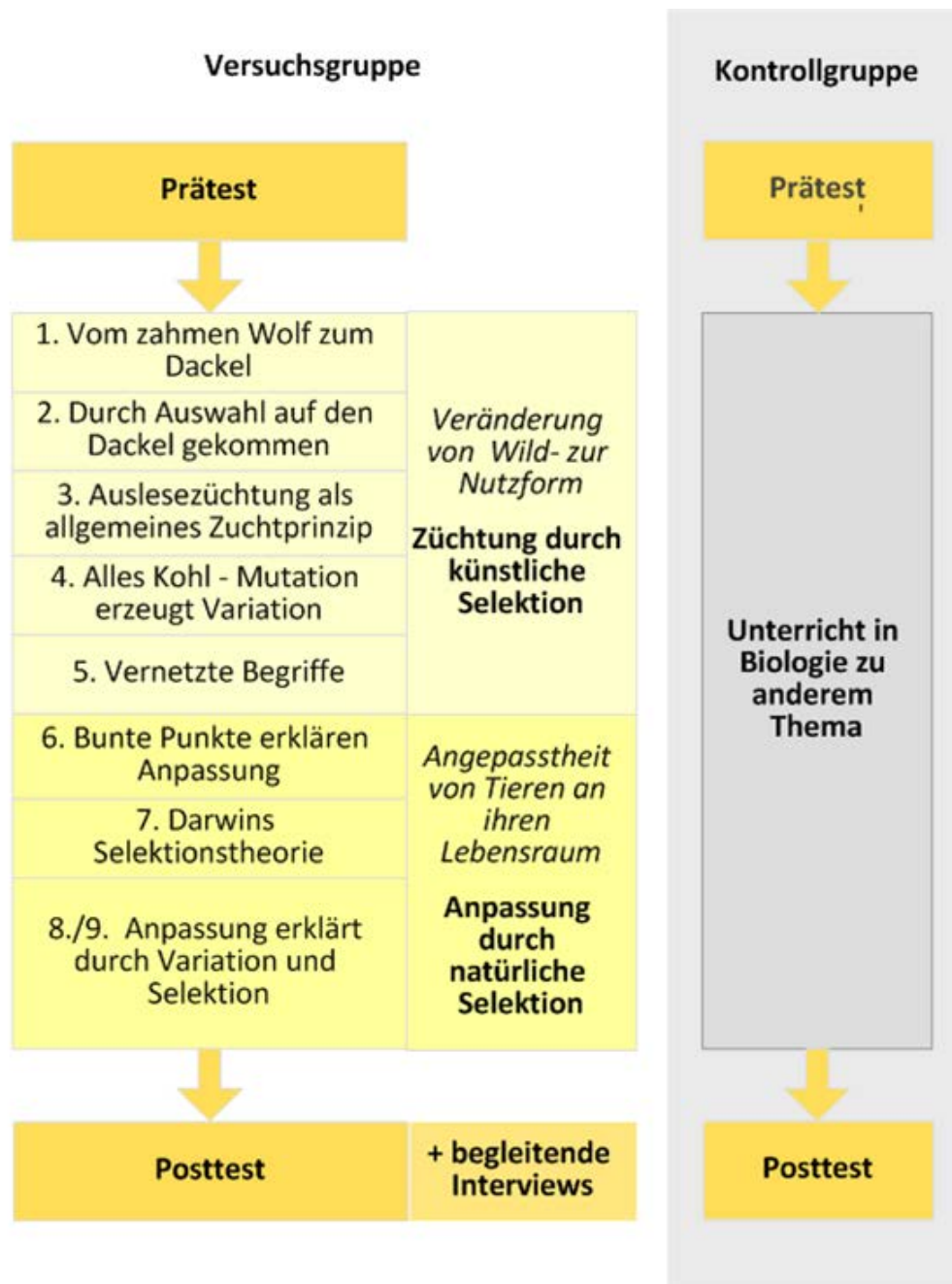


Abbildung 2: Übersicht über Unterrichtsintervention und Studiendesign

UNTERRICHTLICHE UMSETZUNG – KONZEPTION DER UNTERRICHTSREIHE „ANPASSUNG DURCH SELEKTION“

5.1 FACHDIDAKTISCHE ÜBERLEGUNGEN ZUR KONZEPTION DER UNTERRICHTSREIHE

Als Strategie zur Unterstützung der Veränderung von Präkonzepten der Lernenden wurde für die Unterrichtsintervention die Anknüpfungsstrategie gewählt, bei der die vorhandenen Präkonzepte als Anker zum Aufbau von angemessenen Vorstellungen dienen (MÖLLER, 2010). Auch wenn Autoren wie Giffhorn und Langlet (2006) die Auffassung vertreten, dass ein radikaler kognitiver Konflikt zur Veränderung zentraler Denkmuster nötig sei, wurde diese Konfliktstrategie bewusst nicht gewählt, da Studien den positiven Effekt eines kognitiven Konfliktes nicht eindeutig nachweisen konnten (MASON, 2001). Außerdem ist die Strategie vor allem bei jüngeren Lernenden nicht unproblematisch, da diese nicht über die metakognitiven Fähigkeiten und Bereitschaft den kognitiven Konflikt wahrzunehmen verfügen (MÖLLER, 2010). Bei Schülern der siebten Jahrgangsstufe zur Thematik Evolution hat diese Strategie zudem nicht zum Abbau von vor allem lamarckistischer Vorstellungen geführt (ZABEL, 2009).

Durch die unterrichtliche Intervention soll ein Konzeptwechsel in Form eines graduellen Umstrukturierungsprozesses unterstützt werden (VOSNIADOU & BREWER, 1992), wobei synthetische Konzepte als Weiterentwicklung der vorhandenen Vorstellungen als Basis zur Anreicherung, Differenzierung und Umstrukturierung auf dem Weg zu angemesseneren Vorstellungen entstehen können (MÖLLER, 2010).

Da sich in der Praxis ein konstruktiv-genetischer Unterricht in der Tradition von Martin Wagenschein als förderlich im Hinblick auf einen Conceptual Change erwiesen hat (vgl. MÖLLER 2010), wurden die folgenden von Möller (2010) zusammengestellten Kennzeichen soweit wie möglich bei der Unterrichtsplanung berücksichtigt: 1. Die aktive Beteiligung der Lernenden durch die Formulierung eigener Fragen und Denkwege sowie die Ermutigung zu eigenen Ideen und Lernwegen. 2. Die Aktivierung, das Aufgreifen und ggf. eine Konfrontation mit vorhandenen Vorstellungen. 3. Die Diskussion von Vermutungen und Erfahrungen in Gruppen und Reflektion der Arbeitsweisen und Lernprozesse. 4. Die Thematisierung von für die Lernenden interessanten Fra-

gestellungen sowie Anwendung des Erarbeiteten in neuen Zusammenhängen.
5. Die Verwendung von Unterrichtsmaterialien, um die Angemessenheit von Vorstellungen zu überprüfen.

Als Ausgangspunkt boten sich unter diesen Aspekten problemorientierte Lernsituationen an, wobei im Verlauf des Unterrichts unter Einbezug von Vorstellungen und Vorerfahrungen Probleme bearbeitet und geklärt wurden. Anschließend wurden die neuen Erkenntnisse dann auf andere Phänomene übertragen und geprüft. Hierbei standen fragend-entdeckende und aktiv-handelnde Dialoge und Austausche als Zugänge im Vordergrund (ADAMINA & MÖLLER, 2010).

Es wurde folglich ein Unterricht nach dem gemäßigten Konstruktivismus geplant (vgl. MANDL & REINMANN-ROTHMEIER 2001), der die Konzepte der Lernenden integriert und Situationen schafft, in denen situiertes und aktives Lernen möglich ist. Anwendungen und Transferproblemen wurde viel Raum gewidmet, um ein Verstehen der neuen Inhalte in multiplen Kontexten zu ermöglichen, Wissen flexibel anzuwenden und die Problemlösefähigkeit zu entwickeln. Im Mittelpunkt standen authentische Situationen oder für den Lernenden relevante Probleme (RIEDL 2004, S. 78).

Als Anknüpfungspunkte für das frühe Unterrichten der Selektionstheorie bieten sich die Themen „Abstammung der Nutzformen von Wildformen“ sowie „Angepasstheit der Organismen an ihre Umwelt“ an, da sie als Themen in allen Lehrplänen der Orientierungsstufe vertreten sind und schon traditionell in der Orientierungsstufe auf deskriptiver Ebene im Unterricht behandelt werden. Aus diesen Gründen wird die Bereitschaft der Fachlehrer, die möglicherweise das Thema zu schwierig für diese Altersstufe halten, die Unterrichtsreihe zu unterrichten höher sein und die Hemmschwelle aufgrund der Anknüpfung an Bekanntes entsprechend niedriger.

Die Zucht von Haustieren und Nutzpflanzen stellt eine Annäherung an Darwin durch Nachvollzug seines Erkenntnisweges dar. Er wurde selbst auf diese Weise von der Faktizität der Evolution überzeugt und begründete seine Schlussfolgerungen nicht auf Belegen. Im Zusammenhang mit der Züchtung, sie stellte für Darwin selbst ein Modell der Naturprozesse dar, lassen sich Variation, Überproduktion und Selektion darstellen. Es bietet sich an, an dem gleichen Modell den Erkenntnisweg im Unterricht nachzuvollziehen, um so den Lernenden den Evolutionsgedanken nahe zu bringen. Aus der Annäherung an Darwin ergibt sich nach der Auffassung von Kattmann (1984) folgende grundlegende didaktische Konsequenz für den Unterricht: Das Modell der Zucht bietet den Ausgangspunkt für den Unterricht um die Variation der Organismen und die Dynamik an den Anfang der Evolutionsbiologie zu stellen. Belege werden dann als Folge zur Prüfung eingesetzt. In der Planung der Unterrichts-

intervention wurde diese didaktische Konsequenz umgesetzt, allerdings für die Sekundarstufe I entsprechend didaktisch reduziert. Aus diesem Grund bildete der Ausgangspunkt der Unterrichtsreihe die Züchtung, allerdings wurde an dieser Stelle noch kein Bezug zu Darwin hergestellt, sondern erst bei der zur Darwin analogen Übertragung des Modells auf die Natur und der Anwendung der Selektionstheorie auf die Entwicklung der Giraffe (vgl. KATTMANN, 1984). Anders als in der von Giffhorn und Langlet (2006) entwickelten Unterrichtssequenz wurden die Vorstellungen von Lamarck nicht im Unterricht thematisiert, um potentiell vorhandenes lamarckistisches Denken der Schüler nicht zu verstärken.

Berücksichtigt wurde der wichtige Aspekt Bezüge zur Evolutionsgenetik herzustellen und vereinfacht auf die Variabilität durch Mutation und Rekombination einzugehen. Es wurden die Grundbegriffe Mutation und Selektion eingeführt, um die Auffassung einer Genetik als Konstanzlehre in Form einer Vorstellung des Überdauerns von Genen entgegenzuwirken. Die widersprüchlichen Vorstellungen von zielgerichteter Veränderung während der Evolution und Konstanz der Gene bei der Vererbung sollen in Beziehung zu Mutation und Selektion gesetzt werden. Da der morphologische Artbegriff bzgl. evolutionärer Vorgänge nicht befriedigt, war die Verwendung eines vereinfachten genetischen Artbegriffs sinnvoll (KATTMANN, 2000).

Das Behandeln der Angewandtheit der Organismen an ihre Umwelt, in der Orientierungsstufe traditionell deskriptiv ohne Erklärung unterrichtet, führt zu der Fehlvorstellung vollkommener Angewandtheit. Das in den meisten Richtlinien Biologie der Orientierungsstufe unterschiedlicher Bundesländer vorgesehene Thema Anpassung kann mit Hilfe der Selektionstheorie naturwissenschaftlich behandelt werden und nicht vorwissenschaftlich mit implizierter Harmonie zwischen Umwelt und Lebewesen (KATTMANN ET AL., 2005). An dieser Stelle bot es sich an, der historisch-kausalen Fragestellung, wie es dazu kam, nachzugehen, wobei die häufige Anwendung evolutionärer Erklärungen den naturwissenschaftlichen Charakter und den Erklärungswert der Evolutionstheorie für die Lernenden erkennbar machen (VAN DIJK & KATTMANN, 2008).

Am Abschluss der Unterrichtsreihe wurden die Logik der Selektionstheorie und das Modell der Züchtung einander gegenüber gestellt (vgl. WINKEL, 1992), um Gemeinsamkeiten, aber auch Unterschiede, zu verdeutlichen.

Bei der Konzeption der Unterrichtsreihe wurden folgende Anforderungen besonders berücksichtigt: Der Einbezug von Schülervorstellungen, eine aktive und intensive Auseinandersetzung mit den Inhalten sowie das Üben und Anwenden der neuen Prinzipien. Außerdem wurden abschließend Vorstellungen und der erfolgte Lernprozess reflektiert. Die Unterrichtsreihe weist zusammengefasst folgende Merkmale auf: Der Unterricht ist problemorientiert konzipiert.

Es wurde besonderer Wert auf den Aufbau eines Wissens grundlegender Fachbegriffe gelegt. Um eine direkte Umsetzbarkeit zu gewährleisten, wurde der Aufbau einheitlich und übersichtlich gestaltet, die Anforderungen an die Ausstattung gering gewählt und neue Medien eingesetzt.

Bei der Auswahl konkreter Inhalte und deren didaktisch-methodische Umsetzung war auch die direkte Einsatzmöglichkeit durch die Fachlehrer an unterschiedlichen Schulen zu berücksichtigen.

Auswahl von Fachbegriffen

Da im Biologieunterricht die Verwendung der Wissenschaftssprache eine bedeutende Rolle spielt (GRAF, 1989), wurden Fachbegriffe ausgewählt, definiert, aufbauend in der Unterrichtsreihe eingeführt und in Begriffsnetze integriert. Begriffsnetze eignen sich nicht nur zur Diagnose von Lernschwierigkeiten und der Begriffsentwicklung der Lernenden, sondern sind auch geeignet, sinnvolles Lernen zu unterstützen (NOVAK, 1990). Die Lernenden fertigen hierbei eine Landkarte ihres Begriffsverständnisses an, wobei zu erkennen ist, welche Begriffe ein Schüler miteinander verknüpfen kann. Begriffsnetze regen zum Nachdenken über das eigene Wissen an, motivieren zur Kommunikation über das Wissen und ermöglichen einen Einblick in den Wissenstand (BEHREND & REISKA, 2001). Es erfolgte eine Auswahl von wenigen Begriffen, da im Durchschnitt nach Graf (1989) im Biologieunterricht der Orientierungsstufe nur etwa ein neuer Begriff pro Unterrichtsstunde sinnvoll in ein Begriffsnetz eingebaut wird.

Es wurde die Verwendung biologischer Fachbegriffe in den Themenbereichen Nutz- und Wildformen sowie ggf. Angepasstheit anhand von sechs verschiedenen Schulbüchern für das Fach Biologie in NRW nach dem neuen Kernlehrplan untersucht (Häufigkeitstabellen im Anhang D, eigene Untersuchung, unveröffentlicht). Die Ergebnisse zeigten im Zusammenhang mit Anpassungsmechanismen eine Vielfalt unterschiedlicher Begriffe, welche in geringer Häufigkeit in wenigen der Bücher auftraten. So tritt z.B. der Begriff Anpassung zweimal in zwei Schulbüchern, Auslese zweimal in einem Schulbuch, Zuchtauswahl einmal, hingegen Selektion gar nicht auf. Die meisten Begriffe stehen in Zusammenhang mit „Zucht“. So tritt der Begriff Rasse z.B. an 47 Stellen in allen sechs Schulbüchern auf, der Begriff Art hingegen in keinem der untersuchten Texte. Die Begriffsanalyse spiegelt die Behandlung der Themen wieder. So werden Nutzformen, am prominentesten Hunde, in der Orientierungsstufe als Zuchtergebnis im Unterricht thematisiert und mit den Wildformen verglichen, der Prozess der Züchtung hingegen nicht.

Die Auswahl der Begriffe konnte aus dem angeführten Grund nicht anhand der Ergebnisse der Häufigkeitsanalyse erfolgen. Aus diesem Grunde wurde die deutschsprachige fachdidaktische Literatur gesichtet. Kattmann ist der Auffassung, Mutation, genetische Verschiedenheit, Selektion sowie ein genetischer Artbegriff sind für das Verständnis von Vererbung und evolutionärem Wandel grundlegend (KATTMANN, 2000). In einem Unterrichtsentwurf für die Sekundarstufe I schlagen Kattmann et al. (2005) vor, die Begriffe Konkurrenz, Sterben, Überleben, Fortpflanzung, Vererbung und Variation herauszustellen sowie Selektion und Selektionstheorie einzuführen. Felzmann (2006b) thematisiert die Begriffe Individuum, Population, Art und Selektion ebenfalls in der Sekundarstufe I in einem Unterrichtsvorschlag zur Anpassung. Die Festlegung auf elf Fachbegriffe erfolgte anschließend aus sachlogischen Gründen sowie der thematischen Strukturierung der Unterrichtsreihe nach Diskussion mit Experten der Arbeitsgruppe. Folgende Fachbegriffe wurden ausgewählt, in der Unterrichtsreihe definiert und thematisiert: Merkmal, Art, Erbsubstanz, Vererbung, Variation, künstliche Selektion, Mutation, Population, natürliche Selektion, Evolution und Anpassung.

Simulation der natürlichen Selektion

Die Idee, Evolution durch Simulationsspiele für Lernende begreifbar zu machen ist nicht neu, da ein experimenteller Zugang selten möglich und außerdem eher für ältere Schüler der Sekundarstufe II geeignet ist. Ein Beispiel hierfür ist eine Untersuchung von Mikroorganismen mit verschiedenen Stämmen der Bäckerhefe (REICHERT & LASKOWSKI, 1970). Schon 1965 schlägt Dylla vor, im Unterricht angefertigte und verschieden gefärbte Vogelköder auf einem Gelände auszubringen und deren unterschiedliches Aufgreifen durch Vögel über einen Zeitraum zu verfolgen. Bei den von Stebbins und Allen (1979) entwickelten Simulationen schlüpfen Schüler in die Rolle der Beutegreifer und sammeln in einer einfachen Version zwei unterschiedliche Sorten von Zahnstochern in Analogie zu Raupen auf einer Fläche im Freien. In einer um Varianten erweiterten Indoor-Version werden mit einem Locher hergestellten Papierschnipsel in zehn Farben von einem gemusterten Stoff aufgesammelt. Die letzte Version kann bei entsprechender Erweiterung auch zur Simulation von adaptiver Radiation, gleichzeitiger Selektion von mehreren Eigenschaften, Gründerprinzip und Veränderung des Räubers eingesetzt werden. Die Autoren geben an, mit den Simulationen unterrichtliche Erfolge bei Schülern von der Elementarschule bis zur Hochschule erzielt zu haben.

Neuere Vorschläge zur Simulation der natürlichen Selektion gehen häufig auf die Prinzipien dieser Grundversionen zurück. Es sind meistens Simulationen

des Räuber-Beute-Verhältnisses, bei denen entweder ein Bezug zu realen Organismen hergestellt wird, wie der Vorschlag verschieden angefarbte Spaghetti auf einem Vogelfütterplatz anzubieten (WELLCOME TRUST, o.J.), oder die Schüler die Rolle der Beutegreifer übernehmen. Aufgrund der Zeit und Platzanforderungen sind Bezüge zu realen Organismen schwerer umsetzbar und seltener publiziert.

Die meisten Vorschläge unterrichtlicher Simulation von Evolutionsmechanismen beziehen sich auf das Ausbringen unterschiedlich farbiger Spielmarken und das Einsammeln dieser durch die Schüler, in entweder vorgegebener Menge oder Zeit. Hierbei verdoppeln sich die Verbleibenden meist identisch, so dass weder Rekombination noch Mutation, sondern nur Selektion simuliert wird und hierbei eine Verringerung der Varianten im Verlauf der Simulation auftritt. Die Simulation kann im Freien (KUHN ET AL., 1986) oder im Klassenraum erfolgen, wobei in den einfachsten preiswerten Versionen Locherplättchen (BAALMANN & KATTMANN, 2000), käufliche Süßigkeiten (Natural Selection M&M NATURAL SELECTION LAB) oder Perlen (Landmark LANDMARK COLLEGE 2005) als Simulation der Beute eingesetzt werden. Das Evolutionsspiel nach Stebbins und Allen (1979) wird auch mittlerweile kommerziell von Schlüter Biologie vertrieben. Um ein Verständnis der Vorgänge der natürlichen Selektion zu ermöglichen, wird in den meisten Quellen ein Bezug zur realen Natur durch Transfer der abstrakten Simulationsergebnisse auf eine konkrete Räuber-Beute-Beziehung, wie Vögel und Raupen (STEBBINS & ALLEN, 1979), Austernfischer und Muscheln (Landmark LANDMARK COLLEGE 2005), Schnecken und Pflanzen (SCHEERSOI & KULLMANN, 2007) oder Singdrossel und Birkenspanner (BAALMANN & KATTMANN, 2000) angegeben.

Eine Abänderung dieser Simulationen stellt die Verwendung unterschiedlicher Werkzeuge der Beutegreifer in Analogie zu einer Variation an Schnabelformen von Vögeln dar, wobei die Nahrung in meisten Fällen gleich ist (z.B. GRABE 2005, MILNE 2008). Erweiterungen dieser Versionen stellen die Simulation der Rekombination, wobei auch neue Variation entstehen kann, und wechselnde Umweltbedingungen dar (BURTON & DOBSON, 2009).

Abweichende Vorschläge zur Veranschaulichung der Selektion verwenden das Kopieren einer Zeichnungsvorlage (YOUNG & YOUNG, 2003), die Falldistanz von Legobauwerken (CHRISTENSEN-DALSGAARD & KANNEWORFF, 2009) oder den zu optimierenden Rollweg von Holzmodellen (DOMINIK, 1999).

Es gibt mittlerweile auch einige Simulationen der natürlichen Selektion auf dem Computer, entweder als online Flash-Applet (z.B. TEVIS o.J.) oder als einzelnes Programm (z.B. HERRON 2001, NOVAK, M. AND WILENSKY, U. 2005), die häufig auf den dargestellten Grundversionen basieren. Der Vorteil dieser Computersimulation ist eine individualisierbare, zeitsparende Umsetzung, beliebige

Wiederholbarkeit und geringer Materialaufwand. Als Nachteil lassen sich die höhere Abstraktheit, ggf. Kosten der Software, komplexe oder nicht veränderbare Parameter sowie – z. B. für deutsche Schüler – die häufige Verwendung der englischen Sprache anführen. Aus diesem Grunde gibt es nur wenige Simulationen die sich für jüngere Lernende im deutschen Sprachraum eignen.

5.2 KONZEPT DER UNTERRICHTSEINHEIT „ANPASSUNG DURCH SELEKTION“

Die Unterrichtsreihe „Anpassung durch Selektion“ wurde für die Jahrgangsstufe 5/6 in einem Umfang von neun Unterrichtsstunden konzipiert. Die ersten fünf Unterrichtsstunden beziehen sich thematisch auf die Züchtung durch künstliche Selektion, die nachfolgenden vier auf die Anpassung als Veränderung von Arten durch natürliche Selektion. Für eine gute Übersichtlichkeit und um eine direkte Umsetzung durch den Fachlehrer zu ermöglichen, weist das Material eine einheitliche Struktur auf. Für jede Unterrichtsstunde sind die Themen und Ziele der jeweiligen Stunde sowie didaktische Hinweise und Erläuterungen zur Umsetzung um den folgenden Stundenverlaufsplan ergänzen angegeben. Tafelbilder, Arbeitsblätter und deren Lösungen wurden beigelegt. Das vollständige Material der Unterrichtsreihe ist im Anhang (Teil A) beigelegt.

Züchtung durch künstliche Selektion

Als Einstiegsbeispiel für Züchtung wurde das Thema Hundezucht unter Berücksichtigung verschiedener Aspekte ausgewählt. Das Thema bietet für die Altersstufe einen Alltagsbezug, einen emotionalen Bezug und spricht im Vergleich zur Pferdezucht sowohl männliche als auch weibliche Lernende an. Es wird als besonders geeignet für die Anbahnung von Grundeinsichten zur Evolutionstheorie angesehen (FELZMANN, 2006a). Dabei soll die Veränderlichkeit durch Selektion veranschaulicht und die Vorstellungen zur Vererbung aufgegriffen werden, um evolutionäre und genetische Aspekte in einer relativ einfachen Form zu verbinden (vgl. SCHNEIDER & KATTMANN 2002). In einem Umsetzungsvorschlag des Kerncurriculums Niedersachsen für das Gymnasium wird ebenfalls unter dem Thema „Entstehung von Haustieren“ das Beispiel von Wolf zum Dackel, unter Berücksichtigung der ungerichteten Variabilität und Zuchtwahl, vorgeschlagen. Außerdem wird der Hund in der Orientierungsstufe im Biologieunterricht behandelt.

Ein weiterer Aspekt, der bei der Auswahl des Beispiels eine Rolle spielte, war die Perspektive, die kostenlose, frei verfügbare und deutschsprachige Software "Virtuelle Hundezüchtung" von LICHTNER (2007) im Unterricht einsetzen

zen zu können. Vorteilhaft ist hierbei die vereinfachte Betrachtung von nur zwei Merkmalen, den Merkmalen Färbung und Beinlänge sowie die vereinfachte Anwendung der künstlichen Zuchtwahl basierend auf dem Phänomen der Varianz. Grundlagen der Genetik sind nicht erforderlich; es wird mit der Alltagserfahrung der Variation über Generationen gearbeitet, so dass diese Simulation laut Angabe des Autors schon für die fünfte Jahrgangsstufe geeignet ist (LICHTNER 2007). Dabei wird an die bei Schülern der Orientierungsstufe vorhandenen Erfahrung mit Variabilität aus eigenem familiären Kontext angeknüpft (FELZMANN, 2006a). Andere Modellspiele oder Computersimulation zum Thema Zucht waren zum Zeitpunkt der Konzeption nicht verfügbar, lediglich ein Kartenspiel bei dem das veränderliche Temperament einer Wolfspopulation durch ein Kartenspiel und zwei unterschiedliche Selektionsdrücke simuliert wird (Low 2004). Die Idee ist für den Unterricht zwar attraktiv, aber aufgrund der Abstraktheit, Darstellung des Genpools und Berechnung von Durchschnittswerten für die anvisierte Lerngruppe nicht geeignet.

Bei der Gestaltung eines problemorientierten Einstiegs in die Unterrichtsreihe in diesem Kontext konnte auf die von Felzmann vorgestellte Geschichte „Wölfe für die Kaninchenjagd“ (FELZMANN 2006a, S. 20) zurückgegriffen werden, wobei sich die Problemfrage nach der Möglichkeit einer Züchtung kleiner zahmer Wölfe in der Jungsteinzeit ergibt. Eine Hypothesenbildung ermöglicht an dieser Stelle das Anknüpfen an fehlerhafte Alltagsvorstellungen, wie z.B. interspezifische Kreuzungen und individuelle Anpassungsleistungen. Im Gegensatz zu Felzmans Vorgehen wurde allerdings zur Widerlegung von Vermutungen nicht nur jeweils ein Phänomen ausgewählt, sondern eine Bandbreite unterschiedlicher Beispiele (vgl. FELZMANN 2006a). Vor allem zur Widerlegung lamarckistischer Vorstellungen wurde in Verbindung zur Hundezucht ein Beispiel aus dem nichtmenschlichen Bereich, das Kupieren der Ruten, ausgewählt. Im Zusammenhang mit der Widerlegung von Kreuzungen über Artgrenzen als Zuchtmöglichkeit wurde im Unterricht ein vereinfachter genetischer Artbegriff eingeführt. Die Bedeutung von Variation und Prinzipien der Züchtung wurden anhand der Computersimulation „virtuelle Hundezüchtung“ erarbeitet.

Als Vertiefung wird von Kattmann (2000) die Entstehung von Nutzpflanzen wie Gartenmöhre oder Kohl angegeben, die ebenfalls in der Unterrichtsintervention als Beispiele Verwendung fanden. Allerdings ist in dieser Umsetzung die Einführung der Selektionstheorie als Anpassung durch abweichende Nachkommen am Beispiel der Entstehung von Giraffe erst für die Jahrgangsstufen 7/8 vorgesehen (NIEDERSÄCHSISCHES KULTUSMINISTERIUM, o.J.). Für den Unterricht wurden den Schülern aus dem Alltag bekannte Beispiele von Nutzpflanzen ausgewählt, wodurch ein allgemeines Zuchtprinzip deutlich wird, das nicht nur auf Tiere anwendbar ist. Das Prinzip der Auslesezüchtung wurde auf

die Züchtung von Äpfeln und Möhren als Beispiele der Nutzpflanzen im Unterricht unter Verwendung eines abgewandelten Arbeitsmaterial nach Felzman (2006a) übertragen und angewendet. Darauf aufbauend wurde das allgemeine Zuchtprinzip der Auslesezüchtung in Form eines Flussdiagramms abstrahiert. Das Phänomen der phänotypischen Unterschiedlichkeit der Kohlsorten und die Tatsache der gemeinsamen Abstammung vom Wildkohl wurde als Möglichkeit genutzt, Mutationen als eine nicht vorhersehbare Veränderung der Erbsubstanz einzuführen, welche spontan und zufällig auftritt und neue Variation erzeugt. Dies ist vor allem in Bezug auf den Abbau der Vorstellung der Lernenden, dass Gene und Merkmale überdauern, was einer Genetik als Konstanzlehre entspricht, von Bedeutung (KATTMANN, 2000). Die Erstellung von Begriffsnetzen, mit den bis zu diesem Zeitpunkt im Unterricht neu eingeführten Begriffen, bildete einen abschließenden Überblick zur Züchtung, wobei die Lernenden die Begriffe zueinander in Beziehung setzen und vernetzen. Hierbei wurden, da die meisten Schüler nicht mit der Erstellung solcher Concept Maps vertraut waren, auch die methodischen Grundprinzipien vermittelt. Begriffsnetzwerke ermöglichen die Visualisierung von Wissen und eine Diskussion der Netze in Gruppen diente der Überprüfung, dem Finden und Beheben von Missverständnissen und der Vertiefung der Begriffsrelationen (vgl. ROTTLÄNDER 2006).

Anpassung durch natürliche Selektion

Anpassung und Angepasstheit werden als zentrale Termini der Evolutionsbiologie betrachtet (KÄHLER, 1991). Auch Darwin wollte das Phänomen der Angepasstheit durch Selektion erklären (KATTMANN ET AL., 2005). Nach dem Prinzip vom Konkreten zum Abstrakten dienten als Einstieg konkrete biologische Objekte, um zuerst Beispiele von Angepasstheit vorzustellen. Aus dem Phänomen der Angepasstheit stellte sich die Frage nach dem Vorgang, der zu der Angepasstheit geführt hat, der Anpassung (KÄHLER, 1991). Ausgangspunkt zur Erarbeitung einer Problemfrage bot im Unterricht das Phänomen der Farbangepasstheit verschiedener Tiere als Beispiel, wobei nicht nur Beispiele von Säugetieren sondern auch Insekten ausgewählt wurden.

Da erst die Verknüpfung biologischer Inhalte mit den lebensweltlichen Vorstellungen der Lernenden ein bedeutungsvolles Lernen ermöglicht (ZABEL, 2009), werden die Vorstellungen der Lernenden an dieser Stelle in Bezug auf die Entstehung der Angepasstheit des Schneehasen als Vermutungen in einem Text formuliert. Diese Texte bieten die Möglichkeit einer späteren Reflektion, wobei die Wahl eines konkreten Beispiels den Lernenden die Erklärung erleichtern sollte.

Die Prozesse der Selektion können mit einem Selektionsspiel veranschaulicht und vertieft werden. Hierbei ist es wichtig, die Ergebnisse mit dem Prozess der natürlichen Selektion zu erklären, den Modellcharakter der Simulation herauszustellen und die Dynamik der Evolution zu verdeutlichen (BAALMANN & KATTMANN, 2000).

Im Unterricht wird die Wirkungsweise der natürlichen Selektion für die Lernenden durch Verwendung einer Computersimulation erfahrbar. Zum Einsatz im Unterricht wurde die Software EvoDots (HERRON 2001) unter Berücksichtigung unterschiedlicher Aspekte ausgewählt. Die Entscheidung für diese Computersimulation wurde vor allem aufgrund der individualisierbaren, zeitsparenden Umsetzung, der beliebigen Wiederholbarkeit, des geringen Materialaufwands, aber vor allem aufgrund den geringen Anforderungsvoraussetzungen und der direkten Einsetzbarkeit getroffen.

Die Software EvoDots ist der Prototyp einer kommerziellen Software, aber frei verfügbar und darf einzeln weitergegeben werden. Außerdem war es unter Verwendung eines Hex-Editors bei Erhalt aller Funktionen möglich, die ursprünglich englische Beschriftung der Programmoberfläche in eine deutsche Beschriftung zu ändern. Das Programm weist einen relativ geringen Komplexitätsgrad auf, aber einige Parameter sind veränderbar, so dass es für die Altersgruppe geeignet scheint. Lediglich die Verwendung abstrakter Punkte, die Form von Tieren wie z.B. Insekten, Schnecken oder Würmern wäre hier wünschenswert, sind ein Nachteil der Software.

Die Schüler erarbeiten unter Verwendung der Computersimulation und eines Arbeitsblattes selbstständig die Wirkungsweise der natürlichen Selektion, indem sie in die Rolle des Beutegreifers schlüpfen und sich auf Punktejagd mit der Computermouse begeben. Um eine gezielte Auswahl bestimmter Punkte zu verhindern, ist eine Jagdrunde zeitlich limitiert. Anschließend erfolgt eine identische Verdopplung verbliebener Punkte. Die Anzahl verschiedener farbiger Punkte wird über mehrere solcher Jagdrunden protokolliert. Anschließend wird ein Zusammenhang zwischen Ergebnissen der Simulation und Anpassung der Punkte durch Selektion von schnelleren Punkten durch Überleben und Fortpflanzung und Erhöhung der mittleren Geschwindigkeit der Punkte über die Generationen gebildet. Es bietet sich an, die Möglichkeit einer weiteren Veränderung der Punkte zu diskutieren.

Die Vorstellung von Darwin und die Information über seine Fragen zur Anpassung bilden den Zusammenhang zur unterrichtlichen Vorstellung einer Theorie der Anpassung durch natürliche Selektion. Die Veränderung der Punktepoptulation, die in Größe oder Kontrast variieren, können durch Transfer der Ergebnisse der Simulation und Anwendung der Selektionstheorie erklärt werden. Die Formulierungen im Unterrichtsmaterial ist so gewählt, dass die ange-

gebenen Voraussetzungen für die Veränderung einer Population, vorhandene Variation und Vererbung von Merkmalen sowie Überleben und Fortpflanzung nur einiger Individuen direkt mit dem Programm EvoDots überprüft werden können. Der Lückentext „Anpassung durch Selektion“ (verändert nach KATTMANN ET AL. 2005) verallgemeinert die Ergebnisse und vertieft die Anwendung der Fachbegriffe.

Die Entstehung von Angepasstheit der Lebewesen wird anschließend durch Anwendung der Selektionstheorie an einem konkreten Beispiel geklärt. Als Beispiel wird die Entstehung des langen Giraffenhalses gewählt. Obwohl Darwins Erklärung zwar als plausibel gilt, ist sie dennoch selektionstheoretisch aufgrund von Unkenntnis über die historischen Selektionsbedingungen unsicher. Das Beispiel wird im Unterricht oft irreführend behandelt (KATTMANN ET AL., 2005). Es existiert außerdem ein anschauliches Simulationsspiel “Survival of the fittest” (British BRITISH COUNCIL BRITISH COUNCIL o.J.), das sinnvoll zur Erarbeitung eingesetzt werden kann. Als Ausgangspunkt wurden Videoclips fressender und trinkender Giraffen gewählt, um den Lernenden die Einsicht zu ermöglichen, dass Angepasstheit sich nicht in allen Situationen als vorteilhaft erweist und außerdem der irreführenden Vorstellung einer optimalen Anpassung entgegen zu wirken. Die eingesetzte Simulation verdeutlicht vor allem die Auswirkungen zufälliger Umweltveränderungen und den Zusammenhang zwischen Merkmalen und Umwelt für das Überleben der Individuen. Die Girafenevolution ausgehend von kurzhalsigen Vorfahren wird anschließend durch Transfer der Spielergebnisse und Anwendung der Selektionstheorie erklärt.

Abschließend werden künstliche und natürliche Selektion in einem Begriffsnetz gegenüber gestellt und die Bedeutung der Variation für Evolution und Züchtung sowie der Unterschied zwischen zielgerichteter Anpassung bei der Züchtung aufgrund eines gewählten Zuchtziels und natürlicher Anpassung aufgrund gegebener Umweltbedingungen herausgestellt.

Die erneute Erklärung der Entstehung des weißen Fells des Schneehasen bietet die Möglichkeit eines Vergleichs der Schülervorstellungen, wodurch eine Reflexion und Diskussion der Vorstellungen ermöglicht wird.

5.3 ÜBERSICHT ÜBER DIE KONZIPIERTE UNTERRICHTSEINHEIT ZUR EINFÜHRUNG DER SELEKTIONSTHEORIE UND VERMITTLUNG EINES EVOLUTIONÄREN GRUNDVERSTÄNDNISSES

Die thematische Strukturierung der Unterrichtsreihe und der Stundenziele sind in der folgenden Übersicht dargestellt. Die konkreten Feinlehrziele sind im Material zur Unterrichtsreihe aufgeführt, welches sich in Anhang A findet.

Themen und Inhalte der Unterrichtsstunden		STUNDENZIELE
1. Stunde: Vom zahmen Wolf zum Dackel	Entwicklung von Hypothesen unter Berücksichtigung von Schülervorstellungen zur Hundezucht anhand einer Geschichte zur steinzeitlichen Kaninchenjagd.	Die Schülerinnen und Schüler sollen einen evolutiven Zusammenhang zwischen Haus- und Wildtierform am Beispiel von Hund und Wolf bilden und Hypothesen zur Hundezüchtung im Zusammenhang mit der Verwendung als Kaninchenjäger formulieren.
2. Stunde: Durch Auswahl auf den Dackel gekommen	Artkonzept, erworbene und vererbte Merkmale sowie Züchtungsprinzipien erarbeitet anhand von Arbeitsblättern und einer Computersimulation.	Die Schülerinnen und Schüler sollen das Artkonzept anwenden, erworbene und vererbte Merkmale unterscheiden und mit Hilfe eines Computerprogramms das Prinzip der künstlichen Selektion selbstständig erarbeiten.
3. Stunde: Auslesezüchtung als allgemeines Zuchtprinzip	Anwendung und Übertragung des Prinzips der Auslesezüchtung auf andere Beispiele, Veränderungen durch Mutationen.	Die Schülerinnen und Schüler sollen das Prinzip der künstlichen Selektion selbstständig erarbeiten, dieses auf Beispiele transferieren und als allgemeines Prinzip abstrahieren können.
4. Stunde: Alles Kohl –Mutation erzeugt Variation	Beitrag der Mutation zur Erzeugung von Variation und allgemeiner Ablauf der Auslesezüchtung	Die Schülerinnen und Schüler sollen die Bedeutung von Mutationen für die Variation von Merkmalen am Beispiel der Züchtung von Kohlsorten kennen und den allgemeinen Ablauf der Auslesezüchtung in Einzelschritten beschreiben können.

5. Stunde: Vernetzte Begriffe	Entwicklung von Begriffsnetzen zur künstlichen Selektion	Die Schülerinnen und Schüler sollen einen Überblick über das Thema künstliche Selektion erhalten, indem sie durch die Erstellung von Begriffsnetzen Zusammenhänge zwischen bisher erarbeiteten Begriffen bilden und benennen.
6. Stunde: Bunte Punkte erklären Anpassung	Anpassung als Abwandlung einer Population durch Selektion, erarbeitet unter Anwendung der Computersimulation EvoDots.	Die Schülerinnen und Schüler sollen mit Hilfe der Computersimulation EvoDots das Grundprinzip der natürlichen Selektion erfahren und dies zur Erklärung der Anpassung der simulierten Punkte anwenden können.
7. Stunde: Darwins Selektionstheorie	Anwendung und Überprüfung der Selektionstheorie anhand der Veränderung einer virtuellen Punktpopulation.	Die Schülerinnen und Schüler sollen die Grundgedanken von Darwins Selektionstheorie kennen lernen und diese auf die Veränderung einer simulierten Punktpopulation anwenden können.
8./9. Stunde: Anpassung erklärt durch Variation und Selektion	Evolution als Veränderung von Arten und Erklärung der Entstehung von Angepasstheit bei Tieren anhand Anwendung der Selektionstheorie.	Die Schülerinnen und Schüler sollen die Prinzipien von Darwins Selektionstheorie auf konkrete Tierbeispiele übertragen können, indem sie die Entstehung der Angepasstheit unter Verwendung der Theorie erklären.

MATERIAL UND METHODEN DER EMPIRISCHEN ERHEBUNG

6.1 UNTERSUCHUNGSDESIGN

Die vorliegende empirische Untersuchung ist eine quasiexperimentelle Feldstudie in Form einer Prätest-Posttest-Interventionsstudie. Es werden die Einstellungen und Vorstellungen der Lernenden unter dem Aspekt der Exploration und hypothesenprüfenden Evaluation quantitativ mit Hilfe eines Fragebogens erfasst. Um einen tieferen Einblick in die Vorstellungen, Vorstellungsänderungen und Lernwege zu ermöglichen, wurden zusätzlich qualitative Leitfadeninterviews vor und nach der Unterrichtsintervention durchgeführt.

6.2 UNTERSUCHUNGSZEITRAUM UND STICHPROBE

Grundlage für die Teilnahme von Schülerinnen und Schülern war die Bereitschaft der Lehrerin bzw. des Lehrers, die konzipierte Unterrichtsreihe zu unterrichten. Das Konzept wurde auf einer zweitägigen Fortbildungsveranstaltung zum Thema „Evolution in der Schule“ der Bezirksregierung Arnsberg im Schuljahr 2009/10 vorgestellt und interessierte Lehrkräfte um die Teilnahme gebeten. Auf diese Weise konnten Lehrkräfte, die an Gymnasien oder Gesamtschulen im Regierungsbezirk Arnsberg in dem Schuljahr 2009/2010 die Jahrgangsstufen 5 bzw. 6 unterrichteten für die Mitarbeit gewonnen werden. Die entsprechenden Unterlagen, Konzepte und Arbeitsmaterialien für die Umsetzung der Unterrichtsreihe, sowie Fragbögen für Versuchs- und Kontrollgruppe wurden an die entsprechende Lehrkräfte verschickt. Die Erhebung erfolgte im letzten Quartal des Schuljahres 2009/2010 um eine Unterbrechung durch Schulferien zu vermeiden.

6.3 QUANTITATIVE ERHEBUNG

6.3.1 *Messinstrument Fragebogen*

Zur Erhebung der Daten einer größeren Stichprobe wurde ein Fragebogen verwendet. Bei der Fragbogenkonstruktion ergab sich nicht die Möglichkeit, validierte Konstrukte aus anderen Studien zu übernehmen, da zu diesem Zeit-

punkt keine quantitativen Erhebungsinstrumente zur Thematik Akzeptanz und Vorstellungen zu Evolution bzw. Evolutionsmechanismen für jüngere Probanden publiziert waren. Aus diesem Grunde wurde der Test in mehreren Stufen in Anlehnung an Bühner (2006) entwickelt. Bei der Planung der Fragebogenkonstruktion wurde die Literatur gesichtet und eine Sammlung von Fragen für die Zielgruppe aus Interviewstudien oder Studien mit älteren Probanden unter Berücksichtigung der Verständlichkeit erstellt. Für den Testentwurf wurden aus diesem Fragenpool, soweit möglich, im Hinblick auf die im Zusammenhang mit der Unterrichtsintervention stehenden Konstrukte „Einstellung zu Evolution“, „Veränderung von Arten“, „Vererbung erworbener Merkmale“, „genetisches Artkonzept“ und „Vorstellungen von Evolutionsmechanismen“ Fragen ausgewählt und wenn nötig sprachlich vereinfacht. Da die Motivation der Probanden zur Beantwortung von den Testeigenschaften, wie u.a. der Komplexität der Items, abhängt, ist eine sprachliche Angemessenheit zu berücksichtigen. Die Testlänge ist auf wenige Items zu begrenzen (BÜHNER, 2006), ein Aspekt der vor allem im Hinblick auf jüngere Schülerinnen und Schülern eine Rolle bei der Konstruktion spielt und die Länge des Fragebogens einschränkt.

Der Fragebogen enthielt - sowohl im Vortest als auch im Nachtest - 32 Items in geschlossenem Format mit unterschiedlichen Skalierungen. Da eine quasi-experimentelle Untersuchung mit real existierenden Populationen operiert, ist nach BORTZ & DÖRING (2009) ein Vortest unabdingbar. Bei der Erhebung von Einstellungen wurden, um die Probanden nicht zu überfordern, hauptsächlich fünfstufige Ratingskalen eingesetzt, die eine quantitative Beurteilung der Merkmalsausprägung ermöglichen. Sie enthielten eine mittlere Antwortmöglichkeit als neutrale Kategorie, da ein Zwang zu Entscheidung sich als problematisch erweisen kann. Ratingskalen bieten den Vorteil, differenzierte Informationen bei ökonomischer Durchführung und Auswertung zu erhalten. Allerdings können die Skalierungen unterschiedlich aufgefasst werden und sich nachteilige Antworttendenzen z.B. eine Tendenz zur Mitte ergeben (BÜHNER, 2006). Diese Skalen bilden nach BORTZ & DÖRING (2009) Stufen einer Intervallskala, da es sich um markierte Abschnitte eines Merkmalskontinuums handelt, die von den Probanden als gleich groß bewertet werden. Die Begriffe für die verbalen Markierungen wurden so gewählt, dass die Ausprägungen als äquidistant angesehen werden und es wurden Smileys als symbolische Marken verwendet, welche Kindern die Urteilsabgabe erleichtern (BORTZ & DÖRING, 2009). Vier Items wurden als leicht zu verstehende und eindeutig zu beantwortende Richtig-Falsch-Aufgabe formuliert. Zur Erfassung der Vorstellungen wurden Mehrfach-Wahlaufgaben gewählt. Ein Vorteil dieser Items ist die geringere Auswirkung von Zufallsantworten (BORTZ & DÖRING, 2009), aber auch die Möglichkeit der Kategorisierung der unterschiedlichen Antworten bei der Aus-

wertung. Um die Ratewahrscheinlichkeit gering zu halten, wurden mindestens vier Antwortalternativen pro Aufgabe vorgegeben. Zusätzlich wurde die fachlich richtige Antwort an unterschiedlichen Positionen gesetzt und zum Teil in Vor- und Nachtest eine unterschiedliche Reihenfolge der Items gewählt, um die Wahrscheinlichkeit eines Wiedererkennens der Aufgaben zu verringern und eine erneute aktive Auseinandersetzung mit den Inhalten zu fördern. Zusätzlich zu diesen geschlossenen Items enthielten die Tests noch im Vortest eine offene Aufgabe, im Nachtest zwei. Diese offenen Aufgaben ermöglichen eine freie Beantwortung ohne Zufallslösungen. Allerdings ist die Auswertungsobjektivität hierbei eingeschränkt und die Analyse aufwändig (BÜHNER, 2006), ein Grund, der die Anzahl offener Items bei der Testkonstruktion beschränkte. Die Überprüfung des Testentwurfs erfolgte an einer kleinen Stichprobe der Zielgruppe. Eine erste Version des Fragebogens des Vor- bzw. Nachtest wurde je einer Klasse der fünften und sechsten Jahrgangsstufe vorgelegt, die Aspekte der Verständlichkeit und Instruktion geprüft und entsprechende Umformulierungen oder Ergänzungen vorgenommen.

Die Konstrukte des Fragebogens wurden theoriegeleitet entwickelt. Zur Überprüfung der Konstruktvalidität wurden aus diesem Grunde konfirmatorische Faktorenanalysen durchgeführt. Die Voraussetzungen nach PALLANT (2010) im Hinblick auf korrelierte und kontinuierliche Variablen, ausreichende Stichprobengröße ($N > 150$, 5 Fälle pro Variable), vorhandene einzelne Korrelationen in der Korrelationsmatrix größer als 0,3, signifikanter Barlett Test der Sphärizität und Kaiser-Mayer-Olkin Wert über 0,6 wurden geprüft und waren für die einzelnen Analysen erfüllt. Es wurde als Extraktionsmethode die Hauptachsenanalyse verwendet, auch wenn die aufzuklärende wahre Varianz geringer als bei der Hauptkomponentenanalyse ist, um latente Faktoren aufzudecken. Aufgrund der Annahme von korrelierten Faktoren wurde als oblique Faktorenrotation die Varimax-Rotation verwendet. Zur Überprüfung der Faktorenanzahl wurde eine Paralleltest-Analyse gerechnet, da sowohl Kaiser-Kriterium als auch Catells Scree-Test zu einer Überschätzung der Faktorenanzahl neigen PALLANT (2010). Für die Items wurde als Grenzwert eine Faktorladung von 0,3 angenommen (Pallant 2010), da die Hauptachsenanalyse geringere Faktorladungen als die Hauptkomponentenanalyse aufweist, das Messinstrument neu zusammengestellt wurde und außerdem für den Verbleib eines Items in einem Konstrukt im Zweifel nicht statistische sondern inhaltliche Kriterien gelten sollten (BÜHNER, 2006).

Die Items, die nach Interpretation der Faktorenanalyse auf einen Faktor laden, bilden ein eindimensionales Konstrukt und die Grundlage für eine Reliabilitätsanalyse. Die Reliabilität wurde als interne Konsistenz nach der Berechnung von Cronbach bei ratingskalierten bzw. Kuder-Richardson-Formel 20 bei dichotom-

tomen Items bestimmt. Bei der Interpretation ist zu berücksichtigen, dass bei heterogenen Merkmalen die Reliabilität deutlich unterschätzt wird. Der Wert von Cronbachs alpha ist abhängig von der Itemzahl und steigt mit der Itemanzahl. Außerdem können sich invers formulierte Items auswirken. Auch der Einsatz eines niedrig reliablen Testinstruments kann, wenn es keine besseren Testverfahren gibt, aufschlussreich sein (BORTZ & DÖRING, 2009). Eine geringe Messzuverlässigkeit im Vortest einer Studie mit jüngeren Lernenden kann aufgrund eines unbekannten Themas auftreten. Die Werte im Nachtest sollten dann entsprechend höher ausfallen (KROMBASS, 2006). In der Literatur findet man unterschiedliche Schwellenwerte für Cronbachs alpha. Nach NUNNALLY (1978) ist bei mehr als vier Indikatoren der Wert von 0,7 eine untere Grenze. Dieser Wert ist nach ROBINSON ET AL. (1991) in einem explorativen Forschungsstadium mit 0,6 generell niedriger anzusetzen. Allerdings sind bei kurzen Skalen mit weniger als 10 Items geringere Werte von Cronbach alpha, wie z.B. 0,5, üblich (PALLANT, 2010). Für nur 2 bis 3 Items wird noch ein geringerer Schwellenwert von 0,4 angegeben (PETER, 1997). Für die vorliegenden Daten wird bei mehr als drei Items aufgrund der zusammengestellten Testinstruments und des geringen Alters der Probanden, woraus auch der explorative Charakter der Studie resultiert, ein Schwellenwert von 0,5 für Cronbachs alpha als angemessen angesehen. Bei weniger Items ist ein geringerer Wert über 0,4 diskutabel. Die angegebenen Schwellenwerte werden den Werten des Messzeitpunktes nach der Unterrichtsintervention zugrunde gelegt, da hier die Annahme einer höheren Messzuverlässigkeit gelten kann.

Die Ergebnisse der Faktor- und Reliabilitätsanalysen für die einzelnen Konstrukte des Fragebogens werden folgend dargestellt. Beschreibungen der Items beziehen dabei sich auf die Aufgabennummerierung des Vortests (s. Fragebogen im Anhang B).

Soziodemographische Daten (Teil A)

Nach einer kurzen Einleitung zur Intention und Thematik des Fragebogens sowie dem Hinweis auf Anonymität, erfolgten einfache Instruktionen zur Beantwortung der Items. Als erstes wurden die Schüler zur Erstellung und Eintragung eines Fragebogen-Codes aufgefordert, um eine Zuordnung der Tests unterschiedlicher Messzeitpunkte zu einer Versuchsperson zu ermöglichen. Es folgten die Angabe von Alter, Geschlecht Religionszugehörigkeit und eine Selbsteinschätzung des Interesses an Biologie.

Einstellung zu Evolution (Teil B)

Die Einstellung zur Evolution als historischer Tatsache wurde anhand von sieben fünfstufigen, bipolaren, ratingskalierten Items erhoben. Die Items bezogen

sich inhaltlich auf die Veränderung (B1) und Entstehung von Lebewesen (B2, B4), die Entwicklung der Lebewesen allgemein aus Vorfahren (B3, B7) und der Abstammung des Menschen (B5) sowie das Auftreten von Lebewesen im Verlauf der Erdgeschichte (B6). Item B7 lädt bei der Faktorenanalyse sowohl im Vor- als auch Nachtest auf einen anderen Faktor als die anderen Items. Ebenso verbessert sich die Skala ohne Einbezug dieses Items. Aus diesen Gründen wurde das Item nicht bei einer Konstruktbildung berücksichtigt. Die verbleibenden Items laden auf einen Faktor und bilden somit eine eindimensionale Skala, die mit einer internen Konsistenz von 0,6 zu beiden Testzeitpunkten nach oben angeführten Kriterien akzeptabel ist und 33% der Varianz der Einstellung erklärt (vgl. Tab. 3 und Tab. 4 auf der nächsten Seite).

Tabelle 3: *Rotierte Mustermatrix des Vortests mit Promax-Rotation und Faktormatrix des Nachtests nach Hauptachsen-Faktorenanalyse zur Erfassung der Dimensionalität des Konstrukts »Einstellung zu Evolution«*

Item	Vortest		Nachtest
	Faktor		Faktor
	1	2	1
B2	,712	-,050	,605
B5	,245	,307	,455
B6	,274	,162	,434
B4	,487	-,063	,422
B1	,425	,104	,397
B3	-0,70	,657	,363
Eigenwert	1,993		2,002
erklärte Varianz	33,2		33,4

Veränderung von Arten (Teil C)

Die Items dieses Teils sind abstrakter formuliert, heterogener und beziehen sich nicht auf ein konkretes Beispiel, sondern auf Anpassung allgemein. Es wird nach der Zustimmung zu einer darwinischen Erklärung der Artveränderung (C8), Auswirkung von Mutationen für das Lebewesen (C9) und Anpassung aufgrund von Willen oder Zwang (C10, C11) gefragt. Im Vortest laden die vier Items zur Hälfte auf insgesamt zwei Faktoren, im Nachtest hingegen laden drei Items auf einen Faktor und erklären 41 % der Varianz. Ein Ausschluss des Items C8 bei Reliabilitätsanalyse des Nachtests führt zu einer deutlichen Verbesserung der internen Konsistenz. Eine Hauptachsenfaktorenanalyse der drei verbleibenden Items erbrachte einen Faktor, der 41% der Varianz erklärt. Allerdings ist die Reliabilität auch im Nachtest mit einem Wert von Cronbachs

Tabelle 4: *Indikatoren und Reliabilität der Skala »Einstellung zu Evolution«*

Item		Quelle, verändert nach
B2	Alle Lebewesen wurden, wie sie heute aussehen, von Gott geschaffen.	LAMMERT 2012, ATEs 2009, JOHANNSEN & KRÜGER 2005, 2000 ILLNER, 2000
B5	Der Mensch hat sich aus affenähnlichen Vorfahren entwickelt.	LAMMERT 2012
B6	Zur Zeit der Dinosaurier haben schon Menschen gelebt.	CUNNINGHAM & WESCOTT 2009, WILSON 2001
B4	Tiere und Pflanzen wurden zum Nutzen der Menschen geschaffen.	LAMMERT 2012, ATEs 2009, JOHANNSEN & KRÜGER 2005, ILLNER 2000
B1	Die Lebewesen sehen heute so aus, wie sie immer schon ausgesehen haben.	LAMMERT 2012, RUTLEDGE & WARDEN 1999
B3	Alle Tiere und Pflanzen haben sich aus Vorfahren entwickelt.	LAMMERT 2012, INGRAM & NELSON 2006, JOHANNSEN & KRÜGER 2005
Cronbachs alpha	Vortest 0,59 Nachtest 0,60	

alpha von 0,3 gering und liegt unter der festgelegten Grenze (vgl. Tab. 5 auf der nächsten Seite und Tab. 6 auf der nächsten Seite). Die drei Items C9, C10 und C11 weisen folglich eine geringe interne Konsistenz auf. Die andere Dimension des Items C8 kann auf die inverse Polung zurückzuführen sein.

Vererbung erworbener Merkmale (Teil D)

Alle vier Items stehen im Zusammenhang mit der Möglichkeit der Vererbung erworbener Merkmale. Hierbei geht es um unterschiedliche körperlicher Merkmale des Menschen (D12, D14, D15), aber auch um Fähigkeiten bei Tieren (D13). Zu beiden Messzeitpunkten identifiziert die Faktorenanalyse aller vier Items des Testteils einen Faktor. Allerdings liegt die Faktorladung des Items D14 deut-

Tabelle 5: Faktormatrix des Vor- und Nachtests nach Hauptachsen-Faktorenanalyse zur Erfassung der Dimensionalität des Konstrukts »Veränderung von Arten«

Item	Vortest	Nachtest
	Faktor	Faktor
	1	1
C10	,407	,449
C9	,395	,306
C11	,042	,295
Eigenwert	1,164	1,241
erklärte Varianz	38,8	41,4

Tabelle 6: Indikatoren und Reliabilität der Skala »Veränderung von Arten«

Item		Quelle, verändert nach
C10	Eine Art verändert sich, weil die einzelnen Lebewesen sich entwickeln wollen.	CUNNINGHAM & WESCOTT 2009,
C9	Mutationen (spontane Veränderungen des Erbgutes) sind für Tiere nie vorteilhaft.	RETZLAFF-FÜRST & URAHNE 2009
C11	Anpassung geschieht, weil die einzelnen Lebewesen sich anpassen müssen.	JOHANNSEN & KRÜGER 2005
Cronbachs alpha	Vortest 0,18 Nachtest 0,29	

lich unter dem Schwellenwert von 0,3 (vgl. Tab. 7 auf der nächsten Seite). Der Ausschluss des Items legt auch die Reliabilitätsanalyse nahe. Dieses Item ist im Vergleich zu den anderen drei Items negativ formuliert. Die Items D12, D13 und D15 bilden ein eindimensionales Konstrukt und erklären 55% der Varianz. Die interne Konsistenz der Items ist im Nachtest deutlich höher als im Vortest und liegt hier mit einem Wert von Cronbachs alpha von 0,57 über der Eingangs festgelegten Grenze (vgl. Tab. 8 auf Seite 71).

Artkonzept (Teil E)

Die vier Fragen dieses Teils des Messinstrumentes beziehen sich auf die Möglichkeit fruchtbare Nachkommen zu zeugen, wobei zwei Beispiele sich auf die interspezifische Kreuzung und die anderen beiden sich auf die intraspezifische

Tabelle 7: Faktormatrix des Vor- und Nachtests nach Hauptachsen-Faktorenanalyse zur Erfassung der Dimensionalität des Konstrukts » Vererbung erworbener Merkmale «

Item	Vortest	Nachtest
	Faktor	Faktor
	1	1
D13	,356	,654
D15	,226	,524
D12	,583	,516
Eigenwert	1,287	1,634
erklärte Varianz	42,9	54,5

sche Kreuzung von Tieren unterschiedlicher Rassen beziehen. Es wurden jeweils zwei ähnliche und zwei unähnliche Beispiele von Organismen ausgewählt. Während im Vortest diese Items heterogen sind, kann im Nachtest aufgrund der Extraktion von einem Faktor Eindimensionalität angenommen werden. Alle vier Items erklären 39% der Varianz. Die interne Konsistenz liegt mit einem Wert von 0,49 an dem Grenzwert von 0,5 (vgl. Tab. 9 auf Seite 72 und Tab. 10 auf Seite 72).

Vorstellungen zu Evolutionmechanismen (Teil F)

Die zehn Aufgaben zu Evolutionsmechanismen bezogen sich auf die Bereiche Veränderung von Arten (F17, F18, F19, F20, F22, F23, F25, F26), Entstehung von Variation durch Rekombination und Mutation (F24, F26) und den Vergleich von Anpassung und Züchtung (F21). Alle Items, bis auf eine offene Aufgabe im Vortest (F23) und zwei im Nachtest, waren als Multiple-Choice Items gestaltet. Die Aufgaben zur Veränderung von Arten bezogen sich auf unterschiedliche Merkmale und Tierarten. Die konkreten Arten waren im Vor- und Nachtest unterschiedlich, um eine Wiedererkennung zu verringern und eine Beschäftigung mit dem Aufgabenkontext zu gewährleisten. Jede Aufgabe enthielt mindestens vier Antwortalternativen, worunter jeweils eine aus evolutionsbiologischer Sicht als fachlich richtig zu wertende Antwort, nachfolgend als darwinisch bezeichnet, vertreten war. Bis auf die Aufgabe zur Mutation enthielt jedes Item mindestens eine finalistische Antwortmöglichkeit als Distraktor. Da nicht für jeden Aufgabenkontext eine lamarckistische Antwortmöglichkeit sinnvoll war, enthielten diese Items zwei unterschiedliche finalistische Distraktoren. Zwei Aufgaben enthielten fünf Antwortmöglichkeiten, wobei sich eine Antwort auf einen Schöpfungskontext bezog. Es wurde keine Antwortkategorie „Ich weiß es nicht“ formuliert. Stattdessen enthielt jede Aufgabe die Option, eine eigene andere Antwort zu formulieren, um ein Nachdenken der Lernenden über den

Tabelle 8: *Indikatoren und Reliabilität der Skala » Vererbung erworbener Merkmale «*

Item		Quelle, verändert nach
D13	Bringt man einem Hund bei, durch einen Reifen zu springen, dann wissen dessen Welpen bei Geburt, wie man durch Reifen springt.	SAMARAPUNGAVAN & WIERS 1997
D15	Eine Frau färbt sich immer ihre Haare blond. Sie bekommt mit einem Mann, der sich ebenfalls die Haare blondiert, drei Kinder. Die Kinder werden auf jeden Fall blonde Haare haben.	LAWSON & THOMPSON 1988
D12	Wenn ein Paar hellhäutiger Menschen nach Mallorca zieht und dort sehr braun wird, dann hätten ihre Kinder eine dunklere Hautfarbe als ihre Eltern ursprünglich hatten.	LAWSON & THOMPSON 1988
Cronbachs alpha	Vortest 0,33 Nachtest 0,57	

Kontext anzuregen. Bei der Auswertung wurden diese Angaben wenn möglich den vorgegebenen Antwortkategorien zugeordnet. Für die Faktoren- und Reliabilitätsanalyse wurden die Variablen dieses Konstrukts durch Bildung einer „Dummy-Variable“ künstlich dichotomisiert. Hierfür wurden alle darwinischen Antworten mit eins und alle anderen Antworten oder fehlende Antworten mit null bewertet. Eine erste Faktorenanalyse extrahierte vier Faktoren im Vortest und drei Faktoren im Nachtest. Da eine Paralleltest-Analyse aber nur zwei Faktoren ermittelte und der Eigenwert des dritten bzw. vierten Faktors wenig über eins lag, wurde bei einer erneuten Berechnung die Extraktion von zwei Faktoren vorgegeben. Zwei Items (F21, F26) wiesen hierbei eine geringere Ladung als 0,3 auf und wurden aus diesem Grunde von einer weiteren Faktoren- bzw. Reliabilitätsanalyse ausgeschlossen. Eine Faktorenanalyse der restlichen Items ermittelt zu beiden Messzeitpunkten zwei Faktoren die im Vortest 39% und im Nachtest 50% der Varianz erklären (vgl. Tab. 11 auf Seite 73). Da zwei Items (F17, F18) auf einen anderen Faktor als die anderen fünf Items laden, kann es sich hierbei um zwei Subskalen handeln, die beide im Nachtest eine interne Konsistenz von 0,68 bzw. 0,56 aufweisen (vgl. Tab. 12 auf Seite 74 und Tab. 13 auf Seite 75). Eine mögliche Erklärung für diese scheinbare Heterogenität ist, dass die beiden Items, die sich inhaltlich auf das Weismann-Experiment bezie-

Tabelle 9: *Rotierte Mustermatrix des Vortests mit Promax-Rotation und Faktormatrix des Nachtests nach Hauptachsen-Faktorenanalyse zur Erfassung der Dimensionalität des Konstrukts »Artkonzept«*

Item	Vortest		Nachtest
	Faktor		Faktor
	1	2	1
E16.1	,218	,454	,631
E16.3	,558	-0,86	,431
E16.4	,429	,005	,361
E16.2	-,136	,548	,277
Eigenwert	1,483		1,540
erklärte Varianz	37,1		38,5

Tabelle 10: *Indikatoren und Reliabilität der Skala »Artkonzept«*

Item	Quelle, verändert nach	
	Können die angegeben zwei Tiere sich paaren und fruchtbare Nachkommen haben?	SAMARAPUNGAVAN & WIERS 1997
E16.1	Pferd und Rind	
E16.3	Dackel und Schäferhund	
E16.4	Pony und Pferd	
E16.2	Ziege und Schaf	
Cronbachs alpha	Vortest 0,42	Nachtest 0,49

hen, für die Befragten entweder aufgrund der kürzeren zeitlichen Dimension oder der Künstlichkeit aufgrund des menschlichen Eingriffs einen anderen Teilaspekt darstellen. Das Konstrukt Evolutionsmechanismen wird nachfolgend aus den beiden Subskalen gebildet.

6.3.2 Datenanalyse

Die Daten wurden mit Hilfe des Statistikprogramms SPSS ausgewertet. Nach Dateneingabe wurde der Datensatz bereinigt, so dass nur Fälle bei denen sowohl die Daten des Vor- und Nachtests vorlagen, als auch weniger als 10% fehlende Werte auftraten die Grundlage für weitere Berechnungen und Auswertungen bildeten. Ratingsskalierte Items wurden mit den Werten null bis vier

Tabelle 11: *Rotierte Mustermatrix des Vor- und Nachtests nach Hauptachsen-Faktorenanalyse mit Promax-Rotation zur Erfassung der Dimensionalität des Konstrukts »Verstehen von Evolutionsmechanismen«*

Item	Vortest		Nachtest	
	Faktor		Faktor	
	1	2	1	2
F20	,007	,266	,524	,018
F25	-,070	,257	,523	-,045
F19	,044	,509	,452	,064
F22	-,009	,286	,447	,016
F24	,038	,046	,330	-,061
F18	,623	-,025	-,019	,756
F17	,647	,008	,007	,677
Eigenwert	1,446	1,294	1,941	1,419
erklärte Varianz	20,7	18,5	27,7	20,3

kodiert. Hierbei erfolgte eine entsprechende Umkodierung invers formulierter Items, wonach ein höherer Wert für eine positivere Einstellung steht, um eine additive Zusammenfassung der Itemwerte gleichgerichteter Items (BORTZ & DÖRING, 2009) zu ermöglichen. Richtig-Falsch-Aufgaben wurden mit den Werten null oder eins kodiert. Die Multiple-Choice Items wurden entsprechend der gewählten Antwortalternative kodiert und zusätzlich wie schon angegeben dichotomisiert. Aus den Items der Konstrukte wurden durch Addition Scores gebildet.

Für Gruppenvergleiche der Subgruppen wurden parametrische Tests (t-Tests für unabhängige und gepaarte Stichproben, ANOVA) und ggf. nichtparametrische Tests (Mann-Whitney U-Test, Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test, McNemar-Test) zur Überprüfung der Hypothesenentscheidung eingesetzt. Fast alle Variablen weisen eine Schiefe $< |2|$ und eine Kurtosis $< |7|$ auf. Sie liegen somit in den von WEST ET AL. (1995) definierten Werten, so dass von keiner substantiellen Abweichung einer Normalverteilung ausgegangen werden kann. Die drei abweichenden Variablen weisen eine Schiefe um zwei auf. Die Schiefe und Kurtosis der Summenscores und Differenzscores liegt ebenfalls innerhalb der angegebenen Grenzen. Im Falle von Verletzung der Varianzhomogenität wurde auf die von SPSS beim t-Test angegebenen alternativen Werte, bei der ANOVA auf den robusten Welch-Test zurückgegriffen. Zur Ermittlung von Gruppenunterschieden bei Gruppenvergleichen mit mehr als zwei Gruppen (ANOVA) wurde als Post-Hoc-Test die Scheffè-Prozedur verwendet.

Tabelle 12: Subskala 1 Konstrukts »Verstehen von Evolutionsmechanismen«

Item		Quelle, verändert nach
F17	Weismann-Experiment. Abschneiden der Schwänze bei Hunden bzw. Mäusen. Aussagen über Schwanzlänge bei Nachkommen nach 20 Generationen.	LAMMERT 2012, GRAF 2008, JOHANNSEN & KRÜGER 2005, JIMENEZ-ALEIXANDRE 1992
F18	Weismann-Experiment. Abschneiden der Schwänze bei Hunden bzw. Mäusen. Aussagen über Schwanzlänge bei Nachkommen.	LAMMERT 2012, GRAF 2008, JOHANNSEN & KRÜGER 2005, JIMENEZ-ALEIXANDRE 1992
Cronbachs alpha	Vortest 0,56 Nachtest 0,68	

Zur Überprüfung von statistisch signifikanten Unterschieden wurde ein Signifikanzniveau von $p < 0,05$ als signifikant, $p < 0,01$ als hoch signifikant und $p < 0,001$ als höchst signifikant zugrunde gelegt (ZÖFEL, 2003). Da es problematisch ist, von statistischer Signifikanz auf die theoretische und praktische Bedeutung zu schließen, wurde, um eine Aussage über die Bedeutsamkeit von statistisch signifikanten Unterschieden vornehmen zu können, die Effektgröße in Form von Cohens d bei Mittelwertsunterschieden bzw. Eta-Quadrat (η^2) bei Varianzanalysen berechnet. Bei den nichtparametrischen Tests ist eine Einordnung der Effektgröße durch die Berechnung der Korrelation (r) möglich. Effektstärken sind unabhängig von der Stichprobengröße, hängen aber von der Streuung der Werte ab. Für Vor-Nachtest-Designs ist der Berechnung einer korrigierten Effektstärke d_{kor} sinnvoll, bei der die gepoolte Standardabweichung eingesetzt wird.

Die Berechnungen von Cohens d erfolgte nach folgenden Gleichungen (KLAUER, 1993) manuell:

$$d = \frac{M_{VG} - M_{KG}}{s_p}; d_{\text{kor}} = d_{\text{post}} - d_{\text{prä}} \quad s_p = \sqrt{\frac{(N_{VG}-1) \cdot s_{VG}^2 + (N_{KG}-1) \cdot s_{KG}^2}{N_{VG} + N_{KG} - 2}}$$

mit M_{VG} = Mittelwert Versuchsgruppe; M_{KG} = Mittelwert Kontrollgruppe;

d = Effektstärke nach Cohen; d_{kor} = korrigierte Effektstärke;

s_p = gepoolte Standardabweichung; N = Stichprobengröße

Tabelle 13: Subskala 2 Konstrukts »Verstehen von Evolutionsmechanismen«

Item		Quelle, verändert nach
F20	Erklärung der Veränderung der Fellfarbe Füchse bzw. Eisbären	KAMPOURAKIS & ZOGZA 2008, SAMARAPUNGAVAN & WIERS 1997
F25	Erklärung der Veränderung der Körperfarbe von Heuschrecken bzw. Nachtfalter	OERL CURRICULUM DEVELOPMENT INSTRUMENTS, o.J.
F19	Entwicklung des Elefantenrüssels bzw. Giraffenhalses	KAMPOURAKIS & ZOGZA 2008, JOHANNSEN & KRÜGER 2005, SAMARAPUNGAVAN & WIERS 1997
F22	Entwicklung der Zunahme der Laufgeschwindigkeit der Geparden bzw. Springfähigkeit der Kängurus	LAMMERT 2012, GRAF 2008, JOHANNSEN & KRÜGER 2005, BISHOP & ANDERSON 1990
F24	Entstehung von Variation durch Mutation Gefieder beim Pinguin	LAMMERT 2012, GRAF 2008
Cronbachs alpha	Vortest 0,27 Nachtest 0,56	

Die Berechnung von η^2 für t-Test wird nicht von SPSS angeboten und erfolgte aus diesem Grund auch manuell nach folgenden Formeln (PALLANT, 2010):

$$\eta^2 = \frac{t^2}{t^2 + (N_1 + N_2 - 2)} \text{ (t-Test für unabhängige Stichproben)}$$

$$\eta^2 = \frac{t^2}{t^2 + (N - 1)} \text{ (t-Test für gepaarte Stichproben)}$$

Da SPSS für nichtparametrische Tests keine Effektstärkenberechnung anbietet, wurde die Effektstärke nach folgender Formel aus den Z-Werten berechnet (PALLANT, 2010):

$$r = \frac{z}{\sqrt{N}}$$

Eine Interpretation der Effektgröße erfolgte nach einer Klassifikation von OSTEN & BRIGHT (2010, Tab. 14 auf der nächsten Seite).

Tabelle 14: *Klassifikation von Effektgrößen nach OSTEEN & BRIGHT (2010)*

Effektgröße	klein	moderat	groß
Cohens d	0,20	0,50	0,80
η^2	0,01	0,09	0,25
Pearsons r	0,10	0,30	0,50

Der Vergleich von Korrelationen im Hinblick auf signifikante Unterschiede ist nach FIELD (2009) durch eine Umrechnung in z-Werte über die z-Werte der Differenzen möglich.

$$z_r = \frac{1}{2} * \log_e\left(\frac{1+r}{1-r}\right); z_{\text{Differenz}} = \frac{z_{r1} - z_{r2}}{\sqrt{\frac{1}{N_{1-3}} + \frac{1}{N_{2+3}}}}$$

Mit einer Tabelle über die Standard Normalverteilung lassen sich die Wahrscheinlichkeiten für diese Z-Differenzwerte ermitteln und eine Aussage über dessen statistische Signifikanz treffen.

Auswertung der offenen Fragen

Für die Auswertung der offenen Fragen wurden die Textstellen in MaxQDA importiert. In einem ersten Durchgang wurde anhand der Textstellen das Kategoriensystem induktiv unter Oberkategorien erstellt. Die drei Oberkategorien waren Schlüsselkonzepte, worunter richtige Erklärungsbestandteile eingeordnet wurden, Fehlvorstellungen, darunter wurden falsche Erklärungsbestandteile kategorisiert und neutrale, beschreibende, aber nicht erklärende, Bestandteile. Bei der Kodierung war die Zuordnung des Textes zu einem Probanden der Versuchs- bzw. Kontrollgruppe nicht ersichtlich, um eine Voreingenommenheit des Kodierers zu verhindern. In einem zweiten Schritt wurde die vorgenommene Kodierung nochmals anhand des erstellten Categoriesystems überprüft und die kodierten Stellen in Variablen transformiert. Das Variablensystem wurde in SPSS importiert und über eine Schlüsselvariable mit den anderen Daten zusammengefügt.

6.4 QUALITATIVE ERHEBUNG

6.4.1 *Untersuchungsfeld: Auswahl der Schüler und Durchführung der Interviews*

Die Probanden für die Interviews stammen von drei unterschiedlichen Gymnasien. Die Auswahl erfolgte durch Zufall aus den Lerngruppen der Unterrichtsintervention. Bei allen Probanden lag eine Einverständniserklärung der Erziehungsberechtigten für das Interview vor. Die Interviews wurden in der entsprechenden Schule in einem zur Verfügung gestellten Besprechungsraum als

Einzelinterviews durchgeführt, wobei die Audioaufnahme, nach Einverständnis des Probanden und unter Zusicherung der Anonymität, mit einem Diktiergerät erfolgte. Die Probanden wurden zu zwei Zeitpunkten, vor und nach der Unterrichtsintervention, interviewt.

6.4.2 Interviewleitfaden

Einem Leitfadenterview liegen als halbstandardisiertem Interview offen formulierte Fragen mit variablem Wortlaut zugrunde, deren Reihenfolge nicht zwingend vorgegeben ist und im Gespräch abweichen kann. Der Einsatz eines Leitfadens dient der Strukturierung und Vergleichbarkeit der Daten (MAYER, 2006) sowie der Wissensorganisation und Explikation im Vorfeld.

Die Entwicklung des Leitfadens erfolgte nach May & Mruck (2011) in mehreren Schritten. Nach einem Brainstorming wurden Fragen aus verwandten Studien mit Blick auf die Forschungsfragen zusammengetragen, geprüft, sortiert und anschließend theoriegeleitet zu Themenblöcken sortiert.

Nach einem Briefing folgte ein Warming-up, um eine gute Atmosphäre zu schaffen, wobei noch nicht das eigentliche Forschungsthema thematisiert wurde. Die Überleitung zum Hauptteil des Interviews wurde offen und motivierend gestaltet, gefolgt von Fragen, die einfach und problemlos beantwortbar waren, um die Lernenden positiv zu bestätigen und sie nicht zu überfordern. Obwohl Interviews weniger als Fragebögen zum Abfragen von Faktenwissen geeignet sind, wurden kürzere Wissensfragen aufgenommen, die am Beginn des eigentlichen Interviews standen. Diese ermöglichten den jüngeren Schülern einen leichteren Einstieg, es konnte ein Zusammenhang zum Fragebogen hergestellt werden, vor allem da Jugendliche in der Regel nicht zu längeren Narrationen in der Lage sind und eher einem Frage-Antwort-Schema folgen. (May & Mruck 2011).

Das Interview vor dem Unterricht bezog sich auf die Themen Einstellungen zur Evolution, Veränderung von Arten, Entstehung von Variation und Arten, sowie das Artkonzept und erfasste die vorunterrichtlichen Einstellungen und Vorstellungen. Im zweiten Interview wurde zu Beginn auf Inhalte des Unterrichts zurückgegriffen und der Bereich Einstellungen zur Evolution nicht vertieft thematisiert. Zur differenzierten Erfassung der Vorstellungen zur Veränderung von Arten wurden die Themen unterschiedlich stark durch den Einsatz von Bildkarten vereinfacht.

*Leitfaden für das Interview vor der Unterrichtsintervention**Warming-Up:**Intervention**Einstellung Biologieunterricht*

Hast du gerne Biologieunterricht?

Welche Themen interessieren dich in der Biologie?

*Überleitung vom Warming-Up zum Hauptteil:**Intervention**Material / Quelle**Sortierung Gegenstände*

Beschreibe bitte was du siehst.

BK/ Original:

Sortiere bitte die Abbildungen / Gegenstände. (evtl.:

Mineralien,

Bilde Gruppen. Hat das mal gelebt?)

Fossilien, Artefakte

(EVANS, 2000)

*Hauptteil 1:**Intervention**Material; Quelle**Fossilien*

Was ist ein Fossil?

Original: Fossilien

(Gibt es nur Tiere als Fossilien? Woher weißt du das?)

(EVANS, 2000)

Aussterben von Lebewesen

Gibt es Arten von Lebewesen, die es früher mal gegeben hat, die es heute nicht mehr gibt? (evtl. Wie passierte das? Kannst du heute noch Dinosaurier finden?)

(evtl. BK)

(SAMARAPUNGAVAN & WIERS, 1997)

Gibt es Arten die es heute gibt, die es nicht immer gegeben hat?

Entstehung von Lebewesen

Gab es immer schon, auch vor einigen Mrd. Jahren, Leben auf der Erde?

(SAMARAPUNGAVAN & WIERS, 1997)

(Gab es von Anfang an Menschen auf der Erde?)

Veränderung von Lebewesen

Sehen die Lebewesen heute so aus wie früher, vor ganz langer Zeit?

(SAMARAPUNGAVAN & WIERS, 1997)

Hauptteil 2:

Intervention	Material; Quelle
<i>Geschichte der Lebewesen</i>	
Die Linie stellt die Zeit dar, seitdem es die Erde gibt, bis jetzt. Ordne die Abbildungen der Lebewesen der Linie zu, wann sie deiner Meinung nach auf der Erde erstmalig auftraten.	Zeitlinie (auf Papier); BK der Lebewesen
<i>Schöpfung von Lebewesen</i>	
Kennst Du die Schöpfungsgeschichte der Bibel? (Falls ja: Wie denkst du darüber? Glaubst Du sie ist wahr?	(SAMARAPUNGAVAN & WIERS, 1997)
<i>Zielgerichtete Entstehung</i>	
Manche sind der Meinung, Tiere und Pflanzen wurden zum Nutzen der Menschen geschaffen. Wie siehst du das?	(LAMMERT 2012, ATEs 2009, JOHANNSEN & KRÜGER 2005, ILLNER 2000)
<i>Veränderung von Arten, Anpassung</i>	
Stell dir vor, eine Gruppe von Braunbären wird am Nordpol ausgesetzt. Wird ihr Fell nachdem sie lange Zeit dort gelebt haben weiß werden? (Falls nein: Stell dir vor diese Bären am Nordpol bekommen Junge.)	(SAMARAPUNGAVAN & WIERS, 1997)
Du weißt sicher wie Giraffen aussehen. Wie meinst du ist ihr langer Hals entstanden?	evtl. BK Giraffe fressend (BAALMANN ET AL. 2004)
<i>Artkonzept, Veränderung von Arten</i>	
Was fällt Dir zu diesem Foto ein? Wie viele Schneckenarten sind hier zu sehen? (Meinst du diese Schneckenformen kommen auf einer Wiese und im Wald gleich häufig vor?)	BK Variationen an Bänderschnecken(BAALMANN ET AL., 2004)
<i>Entstehung von Variationen</i>	
Was fällt dir bei diesem(n) Foto(s) auf? (Was denkst du, wie ist die dunkle Form entstanden? Kannst Du erklären warum sich die Häufigkeit der Formen verändert hat?)	BK: heller / dunkler Birkenspanner auf hellem / dunklem Untergrund (BAALMANN ET AL., 2004)

Hauptteil 3:

Intervention	Material; Quelle
<i>Entstehung und Veränderung von Arten</i>	
Wissenschaftler haben auf einer unbewohnten Insel ein bisher unbekanntes, seltsames Tier entdeckt. Es erinnerte sie an eine Mischung aus Schwein und Eichhörnchen, deshalb wurde es "Schwörnchen" genannt. Wie meinst Du kam das erste dieser Tiere /Schwörnchen auf die Insel?	BK: Insel begrünt / Insel mit Wüste
Durch den Anstieg des Meeresspiegels veränderte sich die Insel. Es gibt kaum noch Land, Grasflächen oder Bäume. Was passierte mit den Schwörnchen? (Wissenschaftler haben auch nach längerer Zeit auf dieser Insel Schwörnchen gefunden. Wie sehen diese aus?)	evtl. BK veränderte Insel (EVANS, 2000), (EVANS, 2000)
<i>Artkonzept</i>	
Ich zeige dir zwei Bilder. Können die Tiere miteinander Nachkommen haben? Begründe deine Antwort.	BK von Tieren (SAMARAPUNGAVAN & WIERS, 1997)

Debriefing:

Intervention
Stell dir vor du könntest einen Fachmann zu diesem Thema befragen. Welche Fragen würdest du ihm stellen?
Hast du noch Bemerkungen oder Kommentare die aufgenommen werden sollen?

*Leitfaden für das Interview nach der Unterrichtsintervention**Warming-Up:**Intervention**Intervention**Bezug zum Unterricht*

Kannst du kurz beschreiben was das Thema im
Biologieunterricht in letzter Zeit war?

*Überleitung vom Warming-Up zum Hauptteil:**Intervention (Präzisierung, Erweiterung)*

Material; Quelle

Anpassungen

(PALMER, 1996)

Was sind Anpassungen? (evtl.: Kannst du ein Beispiel
für eine Anpassung nennen?)

*Hauptteil 1:**Intervention (Präzisierung, Erweiterung)*

Material; Quelle

Begriffe

Erkläre die Begriffe (Variation, Mutation, natürliche
Selektion, Evolution) mit eigenen Worten.

Karten mit
Begriffen:
Anpassung, Art,
Mutation,
Variation,
Vererbung,
natürliche
Selektion,
künstliche
Selektion,
Züchtung,
Evolution,
Zuchtziel

Welche Bedeutung haben diese Begriffe für die
Veränderung der Arten? Erkläre in dem du
Zusammenhänge bildest.

Simulation EvoDots

Du hast im Unterricht Punkte auf dem Computer
gejagt. Beschreibe was ihr gemacht habt.
Kannst du Anpassung mit Evodots erklären?

BK EvoDots

Hauptteil 2:

Intervention (Präzisierung, Erweiterung)	Material; Quelle
<i>Veränderung von Arten, Anpassung</i>	
Wie meinst du ist ihr langer Hals entstanden?	evtl. BK Giraffe (BAALMANN ET AL. 2004, SAMARAPUNGAVAN & WIERS 1997)
<i>Entstehung von Variation, Veränderung von Arten</i>	
Während des 19. Jahrhunderts in England kam es durch die Industrie zu Umweltverschmutzungen. Als Folge starb eine helle Flechte, die auf den Baumstämmen wuchs, ab. Die Birkenspanner, einheimische Nachtfalter, wurden im Mittel dunkel. Wie kommt es, dass dunkel gefärbte Tiere auftreten?	BK: heller / dunkler Birkenspanner auf hellem / dunklem Untergrund (BAALMANN ET AL. 2004, SHTULMAN 2006)
<i>Entstehung von Variation, Veränderung von Arten</i>	
Stell dir vor, du bist Biologe und sammelst zu dieser Zeit alle 25 Jahre Birkenspanner. Welche Färbungen würdest du erwarten? Lege die entsprechenden Birkenspanner in die Tabelle.	Tabelle Birkenspanner in fünf Farbtönen (BAALMANN ET AL. 2004, SHTULMAN 2006)
<i>Veränderung von Arten</i>	
In einer Population von Mäusen waren früher alle Tiere hellbraun (BK). Heute sieht die Population so aus (BK). Erkläre. Du kannst zur Erklärung die Karten benutzen und sortieren. Du musst aber nicht alle Karten benutzen	BK sechs Karten (SOUTHERLAND ET AL., 2000)
<i>Entstehung von Variation, Veränderung von Arten</i>	
Aussetzen einer Gruppe von Braunbären am Nordpol. Wird das Fell der Bären sich nach langer Zeit verändern? Nehmen wir an, es träte eine Mutation auf. Es könnte ein Bär mit längerem Fell, ein Bär mit hellerem Fell oder ein Bär ohne Fell auftreten. Tritt eine dieser Mutationen wahrscheinlicher auf oder sind alle gleich wahrscheinlich?	(SAMARAPUNGAVAN & WIERS 1997, SOUTHERLAND ET AL. 2000)

Hauptteil 3:

Intervention (Präzisierung, Erweiterung)	Material; Quelle
<i>Artkonzept, Veränderung von Arten</i>	
Was fällt Dir zu diesem Foto ein? Wie viele Schneckenarten sind hier zu sehen? (Hast du eine Idee das zu überprüfen?)	BK Variationen an Bänderschnecken BAALMANN ET AL. 2004
(Meinst du diese Schneckenformen kommen auf einer Wiese und im Wald gleich häufig vor?)	
<i>Entstehung und Veränderung von Arten</i>	
Wissenschaftler haben auf einer unbewohnten Insel ein bisher unbekanntes, seltsames Tier entdeckt. Es erinnerte sie an eine Mischung aus Schwein und Eichhörnchen, deshalb wurde es "Schwörnchen" genannt. Wie meinst Du kam das erste dieser Tiere /Schwörnchen auf die Insel?	BK: Insel begrünt / Insel mit Wüste
Durch den Anstieg des Meeresspiegels veränderte sich die Insel. Es gibt kaum noch Land , Grasflächen oder Bäume. Was passierte mit den Schwörnchen? (Wissenschaftler haben auch nach längerer Zeit auf dieser Insel Schwörnchen gefunden. Wie sehen diese aus?)	evtl. BK veränderte Insel (EVANS, 2000)
<i>Veränderung von Arten</i>	
Als Antibiotika, ein Medikament gegen bakterielle Erkrankungen, entdeckt wurden, wurden sie, da sie gut halfen, häufig eingenommen. Heute sind viele Bakterien resistent gegen Antibiotika, sie wirken nicht mehr bei der Erkrankung. Hast du eine Erklärung?	(BRUMBY 1984, BISHOP & ANDERSON 1990)
<i>Aussterben von Lebewesen</i>	
Gibt es Arten von Lebewesen, die es früher mal gegeben hat, die es heute nicht mehr gibt? (evtl. Wie passierte das? Kannst du heute noch Dinosaurier finden?)	(SAMARAPUNGAVAN & WIERS, 1997)
Gibt es Arten die es heute gibt, die es nicht immer gegeben hat?	
<i>Zielgerichtete Entstehung</i>	
Ich zeige dir zwei Bilder. Können die Tiere miteinander Nachkommen haben?	BK von Tieren (SAMARAPUNGAVAN & WIERS, 1997)
Begründe deine Antwort	

*Debriefing:**Intervention*

Stell dir vor du könntest einen Fachmann zu diesem Thema befragen. Welche Fragen würdest du ihm stellen?

Hast du noch Bemerkungen oder Kommentare die aufgenommen werden sollen?

6.4.3 *Aufbereitung der erhobenen Materials und Auswertung der Interviews*

Nachfolgend werden die Umsetzung des Forschungsdesigns und die Ablaufschritte der Materialauswertung detailliert beschrieben, um die Durchschaubarkeit des Forschungsprozesses, die nach MAYRING (2010) gerade bei der qualitativen Forschung wichtig ist, um als wissenschaftlich angesehen zu werden, zu gewährleisten.

Transkription

Die Audiodateien der Interviews wurden mit Hilfe des Audiotranskriptionsprogramms f4 durch Abschrift des aufgenommenen Textes transkribiert. Zur Transkription wurden einfache Transkriptionsregeln nach KUCKARTZ (2007) verwendet, um den Fokus auf den Inhalt zu setzen (Dresing & Pehl 2011). Es wurde wörtlich transkribiert, Sprache und Interpunktion wurden leicht geglättet, alle Angaben wurden anonymisiert, zustimmende Lautäußerungen, die nicht den Redefluss unterbrechen, wurden nicht mit transkribiert, die interviewende Person wurde durch ein "I", die befragte durch ein "S" mit Angabe einer Kennnummer gekennzeichnet und zwischen den Sprechern wurde zur Erhöhung der Lesbarkeit eine Leerzeile eingefügt. Die resultierenden Textdateien der erstellten Rohtranskripte wurden anschließend in die Software zur qualitativen Analyse MaxQDA importiert. Das Programm MaxQDA fügte automatisch Absatznummern ein, die einen Bezug auf das ursprüngliche Transkript bei der weiteren Bearbeitung und Reduktion ermöglichen.

Redigierte Aussagen

Das Material wurde durch das Selegieren Bedeutung tragender Aussagen, Auslassen von Redundanzen und Füllsätzen, Transformieren in eigenständige Aussagen des Interviewpartners und Paraphrasieren nach GROPENGIESSER (2008) aufbereitet. Diese Überführung in redigierte Aussagen findet unter Datenreduk-

tion und Interpretation statt, wobei das Transkript an Deutlichkeit und Klarheit gewinnt (GROPENGISSER, 2008). Zur Gewährleistung der Nachvollziehbarkeit wurden jeder redigierten Aussage eine Abkürzung für den Interviewzeitpunkt und anonymisierten Schüler, die Absatznummern des Rohtranskriptes sowie ein Themenstichwort beigelegt.

Codierung

Die redigierten Aussagen bildeten die Grundlage für die nachfolgende, durch das theoretische Vorverständnis und die Fragestellung geleitete, Bildung von Auswertekategorien. Zu diesem Zeitpunkt wurden die Interviews allerdings weder untereinander verglichen, noch Materialbeschneidung durch eigene Vorannahmen durchgeführt (Schmidt 2009). Die Codierung erfolgte durch eine Verzahnung von deduktiver und induktiver Kategorienbildung, welche in der Forschungspraxis häufig angewendet wird. Die erste Auswertung folgte deduktiv der Struktur des Leitfadens unter Einfluss von Vor- und Kontextwissen (Kuckartz 2007). Die weitere Ausdifferenzierung der Kategorien erfolgte induktiv nach dem Vorgehen der zusammenfassenden Inhaltsanalyse nach MAYRING (2010) mit dem Ziel der Materialreduktion, unter Erhalt der wesentlichen Inhalte, bis zu einer Sättigung des hierarchischen Kategoriensystems. Um die Kodierung intersubjektiv nachvollziehbar zu machen, wurden die Kategorien eindeutig in sogenannten Memos definiert und Ankerbeispiele angegeben.

Thematische Auswertung der Kodierung

Die Ergebnisse der Codierung wurden quantifizierend über die gesamte Stichprobe zu den einzelnen thematischen Aspekten dargestellt, verglichen und interpretiert. Diese Auswertung bietet einen Überblick über die Einstellungen und Vorstellungen der Probanden und diente als Ausgangspunkt für die weitere Analyse.

Vertiefte Einzelfallanalysen

Die vertiefte Auswertung einzelner Fälle erfolgte verändert nach der von GRO-PENGISSER (2008) für fachdidaktischen Zwecke adaptierten Methode der Qualitativen Inhaltsanalyse. Hierfür wurde nicht das gesamte Interviewmaterial berücksichtigt, sondern nur ein begrenzter Ausschnitt, welcher im thematischen Zusammenhang mit dem Thema Anpassung steht. Die Aussagen wurden zuerst thematisch nach den Vorstellungen zu Artveränderung, Artentstehung, Auftreten neuer Variation und Artkonzept geordnet, wobei eine Bündelung und Sequenzierung erfolgte. Bei der Explikation wurden Charakteristika der Vorstellungen zu Anpassung durch Artveränderung und Artbegriff, Gegensät-

ze und Widersprüche, sowie sprachliche Aspekte und Herkunft der Vorstellungen herausgestellt. Das Ergebnis dieser Auswertung bildet die Einzelstrukturierung auf der Ebene der Konzepte durch Präparation und Formulierung der Konzepte, sowie das Gegenüberstellen der Konzepte vor und nach der Unterrichtsintervention.

ERGEBNISSE DER EMPIRISCHEN UNTERSUCHUNG – QUANTITATIVE ERHEBUNG

Im Folgenden wird zuerst die Untersuchungstichprobe anhand der demographischen Angaben beschrieben. Es folgt eine Darstellung der Ergebnisse der einzelnen Konstrukte in Form einer deskriptiven statistischen Analyse in Abhängigkeit von der Unterrichtsintervention zu beiden Messzeitpunkten auf Item- und Konstruktebene. Hierbei werden die Einstellungen der Schüler zur Evolution, sowie das Verstehen und die Vorstellungen zu Evolutionsmechanismen nachfolgend jeweils anhand einer deskriptiven Analyse der einzelnen Items der Fragebogenbereiche (Fragebogen im Anhang) des Vortestes beschrieben. In die Ergebnisdarstellung sind Analysen bzw. Interpretationen des jeweiligen Antwortungsmusters eingearbeitet.

Die Analyse des Nachtests erfolgt unter dem Aspekt von Unterschieden zwischen Vergleichs- und Kontrollgruppen und im Hinblick auf einen Lernzuwachs durch die Unterrichtsintervention im Vergleich zum Vortest. Die prozentuale Zustimmung zu den Aussagen der einzelnen Items finden sich im Anhang (Anhang C). Die Items sind einheitlich in Richtung Befürwortung der Evolution bzw. fachlicher Richtigkeit gepolt und dargestellt. Die Überprüfung auf statistisch signifikante Unterschiede der Subgruppen unterschiedlicher Konstrukte erfolgt anhand der unabhängigen Variablen in Reihenfolge der Konstrukte des Fragebogens. Hierbei wird zur Analyse der Einstellungen und des Verstehens die Gesamtgruppe im Vortest betrachtet. Im Nachtest hingegen erfolgt eine Analyse von Subgruppen, getrennt nach Versuchs- und Kontrollgruppe, allerdings nur im Falle des Auftretens signifikanter Unterschiede zwischen Vor- und Nachtest. Da die Subgruppe der beiden Schulformen und Klassenstufen sich im Umfang stark voneinander unterscheiden und eine Varianzanalyse in den meisten Fällen auf Interaktionseffekte zwischen diesen beiden unabhängigen Variablen hinweist, werden die Klassenstufen getrennt in Abhängigkeit von der Schulform analysiert. Abschließend werden die Zusammenhänge anhand der Ergebnisse aus Korrelation- und Regressionsanalysen untersucht.

7.1 STICHPROBE

An der Studie nahmen insgesamt 16 Lehrkräfte aus zwölf Schulen im Regierungsbezirk Arnsberg teil. Es werden nur Fälle bei der Auswertung berück-

sichtigt, bei denen die Unterrichtsintervention vollständig umgesetzt wurde, sowohl Vor- als auch Nachtest vorliegen und die weniger als 10% fehlende Werte aufweisen. Die Stichprobe umfasst insgesamt 710 Schülerinnen und Schüler aus 33 Klassen der Jahrgangsstufen 5/6 aus elf verschiedenen Schulen.

Hierbei ist der überwiegende Teil (80%) Gymnasiasten, 20% besuchen die Gesamtschule. Die Schüler der Versuchsgruppe ($n=364$) bilden mit 51% die Hälfte der Stichprobe, die Kontrollgruppe ($n=346$) macht 49% des Stichprobenumfangs aus, da mit einer Ausnahme für jede Versuchsgruppe eine Kontrollgruppe der gleichen Schule befragt wurde. Die Versuchsgruppe setzt sich aus 17 Klassen zusammen, wobei fünf Schulen jeweils zwei Versuchsgruppen stellten. Alle Versuchsgruppen wurden von unterschiedlichen Fachlehrkräften nach der gleichen Unterrichtsreihe unterrichtet.

Die Probanden waren zum Untersuchungszeitpunkt im Durchschnitt 11,2 Jahre alt. Mit 61% stammen zwei Drittel der Stichprobe aus der fünften Jahrgangsstufe und 39% aus der sechsten Jahrgangsstufe. Dieses Verhältnis ist unterschiedlich auf die Schulformen verteilt. Bei den Gymnasialschülern besuchten 69% zu dem Erhebungszeitpunkt die fünfte Klasse, bei den Gesamtschülern war der Anteil mit 30% deutlich geringer. Das Geschlechterverhältnis ist in der Stichprobe fast ausgeglichen, 52% der Probanden sind weiblich und 48% männlich.

Der überwiegende Teil der Probanden (82%) ist Mitglied einer christlichen Kirche, die Zugehörigkeit zur evangelischen (46%) und katholischen Konfession (36%) ist fast zu gleichen Anteilen vertreten. Der Anteil an Schülern mit islamischem Hintergrund ist mit 6% recht gering, ebenso gehört mit nur 4% ein geringer Anteil einer anderen Glaubensrichtung an. Keine Zugehörigkeit zu einer Glaubensrichtung weisen 8% der Stichprobe auf.

Das selbst eingeschätzte Interesse an der Biologie befindet sich bei über der Hälfte (62%) der Befragten in einem mittleren Bereich. Es weisen mit 30% deutlich mehr Schüler dieser Altersstufe ein hohes, als ein niedriges Interesse (8%) auf.

Chi-Quadrat-Tests für Unabhängigkeit zeigen signifikante Zusammenhänge des Interesses an Biologie mit der Schulform ($\chi^2[2, n=708]=15,83, p<,001$, Cramers $V=0,15$), mit der Klassenstufe ($\chi^2[2, n=708]=6,38, p<,05$, Cramers $V=0,095$) und dem Geschlecht ($\chi^2[2, n=708]=6,10, p<,05$, Cramers $V=0,093$) auf. Ein hohes Interesse an Biologie ist an der Schulform Gymnasium häufiger vertreten als an der Schulform Gesamtschule, tritt in der fünften Jahrgangsstufe häufiger als in der sechsten Jahrgangsstufe und bei männlichen Befragten häufiger als bei weiblichen Befragten auf. Die Effekte sind allerdings aufgrund des Wertes von Cramers V als gering einzustufen.

Es lässt sich außerdem noch ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Schulform und der Glaubensrichtung aufzeigen ($\chi^2[2, n=708]=23,66, p<,001$, Cramers $V=0,18$). Der Anteil muslimischer Kinder ist in der Stichprobe an der Gesamtschule höher als an dem Gymnasium.

7.2 EINSTELLUNGEN ZUR EVOLUTION

7.2.1 *Einstellungen zur Evolution in Abhängigkeit von der Intervention*

Über die Hälfte der Stichprobe (64,3%) lehnt vor der Unterrichtsintervention die Aussage ab, dass Lebewesen heute so aussehen, wie sie immer ausgesehen haben (B1), wobei 28,1% eine strikte Ablehnung zeigen (vgl. Abb. 3 auf Seite 91, Fragenbogen (Anhang B) und prozentuale Werte (Anhang C). Nur ein geringer Anteil (2,4%) der Probanden ist der Ansicht, die Aussage stimmt genau. Dies zeigt, dass über die Hälfte der Befragten eine Konstanz der Arten, seit der Entstehung der Lebewesen, ablehnt und eine Veränderung der Arten im Laufe der Erdgeschichte akzeptiert. Die Hälfte der Schüler (49,5%) ist nicht der Auffassung, die Lebewesen, wie sie heute aussehen, sind von Gott geschaffen (B2). Allerdings stimmen 34,7 % dieser Aussage zu. Im Vergleich zum ersten Item lehnt diese Aussage ein geringerer Teil ab, obwohl beide Items die Akzeptanz der Evolution erfragen, hier aber zusätzlich ein Schöpfungsaspekt angesprochen wird. Mit insgesamt 83,7% stimmt der überwiegende Anteil der Befragten einer Entwicklung aus Vorfahren (B3) zu, eine Ablehnung wird nur von 7,1% angegeben. Das Item fragt ebenfalls nach einer Entwicklung von Arten, wobei die Aussage direkt unter dem Aspekt der Vorfahren formuliert ist. Die hohe Zustimmung zeigt die prinzipielle Akzeptanz einer Entwicklung der Lebewesen. Der im Vergleich zu Item B1 geringere Teil der Ablehnung ist möglicherweise auf ein besseres Verständnis der Aussage aufgrund der einfacheren und direkten Formulierung zurückzuführen. Von fast gleich vielen Befragten wird der Aussage des Items B4, „Tiere und Pflanzen sind zum Nutzen der Menschen geschaffen worden“, sowohl zugestimmt (40,7%) als auch abgelehnt (41,2%). Es beinhaltet ebenfalls wie Item B2 einen Schöpfungsaspekt, aber zusätzlich noch mit der Angabe des Nutzens für den Menschen eine Zielgerichtetheit. Das dem zweiten Item ähnliche Antwortmuster kann durch den Einbezug des Schöpfungsaspektes hervorgerufen worden sein. Die relativ hohe Ablehnung kann möglicherweise auf einem anderen Verständnis der Aussage beruhen, wobei der Hauptaspekt für die Schüler der Nutzen für die Lebewesen ist. Die Zustimmung einer Entwicklung des Menschen aus affenartigen Vorfahren (B5) ist mit 85,6% hoch und zeigt eine Akzeptanz der Entwicklung des Menschen aus tieri-

schen Vorfahren. Eine gleichzeitige Existenz von Dinosauriern und Menschen (B6) lehnen die meisten (81,7%) Schüler ab.

Das Beantwortungsverhalten der Items weist darauf hin, dass die meisten Schüler die Vorstellung der Entwicklung von verschiedenen Lebewesen aus Vorfahren haben, welche auch die Entstehung und Entwicklung des Menschen mit einbezieht. Der Aussage alle Lebewesen stammen von einem gemeinsamen Vorfahren ab, stimmen im Vergleich zu den anderen Aussagen, mit 28,6% die wenigsten Befragten zu. Über die Hälfte (54,5%) lehnt diese Aussage ab. Eine mögliche Begründung für diese Antwortmuster kann in der abstrakten Formulierung liegen, die Abstammung aller Lebewesen von einem Vorfahren ist für Schüler dieser Altersklasse möglicherweise nicht vorstellbar.

Nach der Unterrichtsintervention weist die Versuchsgruppe gegenüber der Kontrollgruppe und dem Vortest die größte Zunahme der Zustimmung zur Entwicklung der Lebewesen aus Vorfahren (B3) auf, die Zustimmung beträgt 92,3%. Diese Veränderung ist statistisch höchst signifikant. Die Kontrollgruppe hingegen weist keine signifikante Veränderung auf. Anscheinend wurde durch den Unterricht die Akzeptanz der Veränderung von Lebewesen erhöht. Eine höchst signifikante Abnahme der Zustimmung zu einer Schöpfung der Lebewesen (B2) von 34,7% auf 14,1% ist bei der Versuchsgruppe feststellbar. Bei der Kontrollgruppe tritt eine zwar signifikante, aber deutlich geringere Abnahme (29,0%) auf, wobei der Unterschied der Beantwortung des Items zwischen beiden Gruppen im Nachtest ebenfalls höchst signifikant ist. Es scheint sich ein Verständnis dafür, wie Veränderungen von Arten erfolgen, positiv auf die Akzeptanz der Veränderung und die Ablehnung einer Schöpfung auszuwirken. Die Konstanz der Arten (B1) wird von beiden Gruppen im Nachtest statistisch höchst signifikant vermehrt abgelehnt, wobei diese Zunahme der Ablehnung bei der Versuchsgruppe von 64,4% auf 83,3% mit 19,2% höchst signifikant größer ist als die Zunahme um 5,3% bei der Kontrollgruppe. Nur geringfügig mehr Probanden der Versuchsgruppe stimmen im Nachtest der Entwicklung des Menschen aus affenartigen Vorfahren (B5) zu, bzw. lehnen die zeitliche Koexistenz von Dinosauriern und Menschen (B6) ab. Hierbei ist allerdings bei der Kontrollgruppe im Nachtest eine Abnahme der Akzeptanz festzustellen. Diese Veränderungen sind nicht signifikant. Es bleibt anzumerken, dass der historische Aspekt in Form der Geschichte der Lebewesen in der Intervention nicht thematisiert wird. Die Akzeptanz der Abstammung aller Lebewesen von einem gemeinsamen Vorfahren (B7) sowie die Ablehnung der Schaffung der Lebewesen zum Nutzen des Menschen (B4), unterscheidet sich bei Versuchs- und Kontrollgruppe im Nachtest nur geringfügig. Bei letzterem ist eine geringe, bei der Versuchsgruppe eine höchst signifikante Abnahme festzustellen.

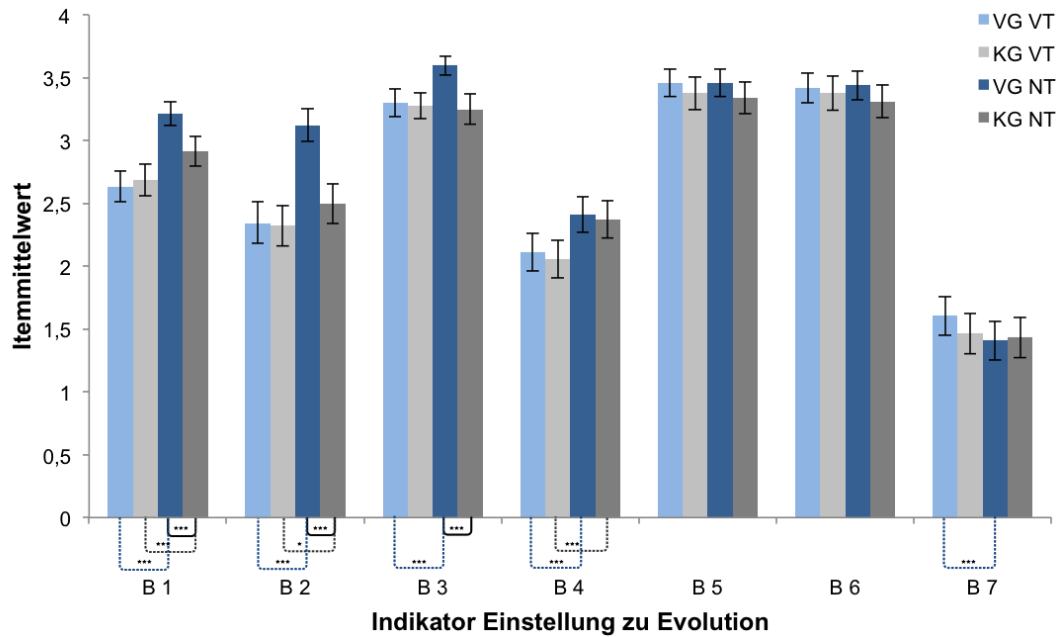


Abbildung 3: Mittelwerte der einzelnen Items der Kategorie „Einstellung zur Evolution“ der Versuchs- (VG) bzw. Kontrollgruppe (KG) im Vor- (VT) und Nachtest (NT). Signifikante Unterschiede (t-Test) sind gekennzeichnet. Fehlerbalken markieren die 95% Konfidenzintervalle

Tabelle 16: Kategorisierung der „Einstellung zur Evolution“

Scorewert	Ø Wert auf Likert-Skala	Akzeptanz der Evolution
21 - 24	$\geq 3,5$	sehr hoch
17 - 20	~ 3	hoch
13 - 16	$\sim 2,5$	moderat
9 - 12	~ 2	gering
< 9	$< 1,5$	sehr gering

Die Verteilung der Häufigkeiten des Scores „Einstellung zur Evolution“, gebildet aus den sechs im Bereich von null bis vier skalierten Items B1 bis B6 sowie die Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) werden zu beiden Messzeitpunkten dargestellt (vgl. Abbildungen 4 auf der nächsten Seite und 5 auf Seite 94). Eine Kategorisierung des Scores erfolgte entsprechend Lammert (2012) verändert nach Rutledge & Warden 1999, wobei der Score von null (geringe Akzeptanz) bis zu 24 (sehr hohe Akzeptanz) reicht (vgl. Tab. 16).

Die mittlere Akzeptanz der Evolution der Probanden ist vor dem Unterricht hoch, und das Maximum liegt im unteren Bereich der Kategorie für hohe Akzeptanz. Um zu überprüfen, ob sich die Versuchs- und Kontrollgruppe zu diesem Zeitpunkt in ihrer Einstellung unterscheiden, wurde ein t-Test für unabhängige Stichproben berechnet. Es gibt vor der Unterrichtsintervention keinen

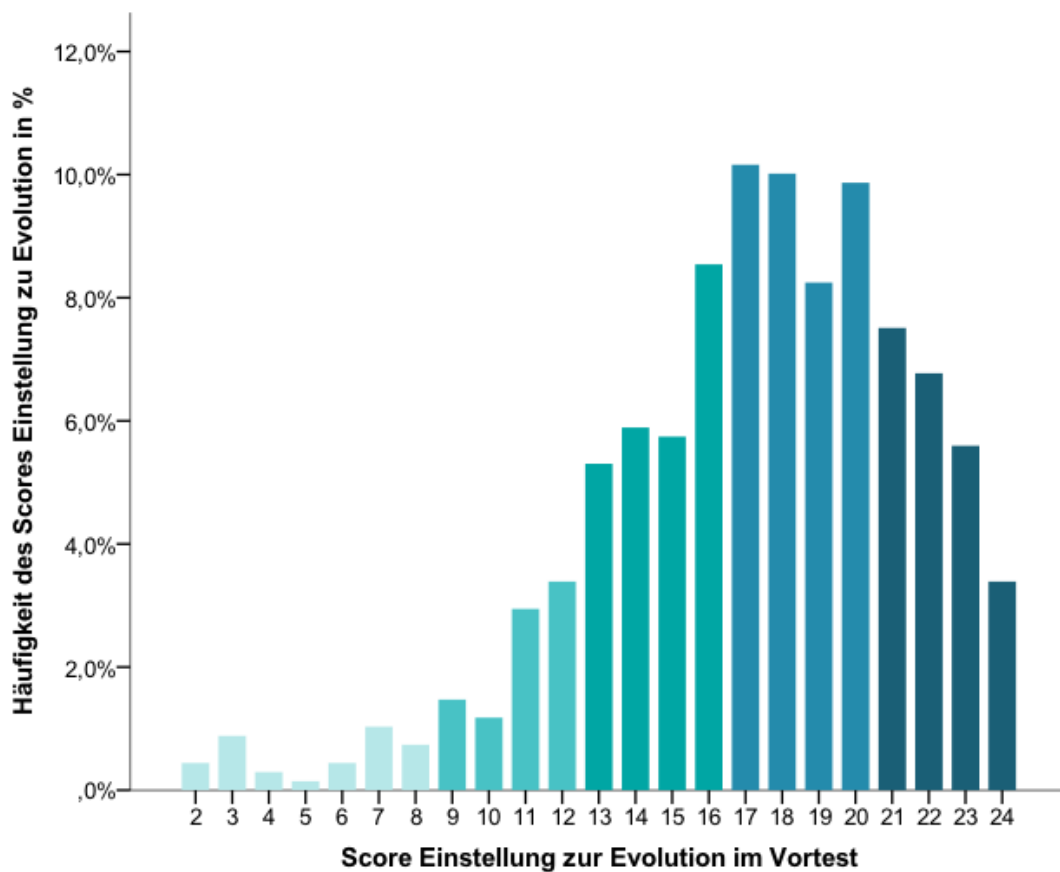


Abbildung 4: Häufigkeiten des Scores „Einstellung zur Evolution“ der Gesamtgruppe im Vortest. (Versuchsgruppe $n=347$, $M=17,26$, $SD=4,16$; Kontrollgruppe $n=332$, $M=17,08$, $SD=4,47$).

signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen in ihrer „Einstellung zur Evolution“ ($t[677]=0,55$, $p=,59$). Beide Gruppen gehören demnach zur gleichen Grundgesamtheit. Nach dem Unterricht ist die sehr hohe Akzeptanz gegenüber der Evolution in der Versuchsgruppe häufiger als in der Kontrollgruppe und der Mittelwert der Versuchsgruppe liegt im mittleren Bereich der Kategorie für hohe Akzeptanz (vgl. Abbildung 5 auf Seite 94). Es ergab sich ein höchst signifikanter Unterschied nach dem Unterricht zwischen den beiden Gruppen in ihrer Einstellung zur Evolution ($t[645,41]=5,13$, $p=,000$). Die Effektstärke ist mit $\eta^2=0,04$ klein (vgl. Tabelle 17). Um die Veränderung innerhalb

Tabelle 17: Ergebnisse eines t -Tests für unabhängige Stichproben für die „Einstellung zur Evolution“ in Abhängigkeit von dem Treatment zu beiden Messzeitpunkten.

Messzeitpunkt	t	df	Sig.	Effekt η^2
Vortest	0,55	677	,585	
Nachtest	5,13	645,41	,000	0,037

Tabelle 18: *Ergebnisse eines t-Tests für abhängige Stichproben für die „Einstellung zur Evolution“ in Abhängigkeit von dem Messzeitpunkt.*

Messzeitpunkt	t	df	Sig.	Effekt η^2
Versuchsgruppe	-11,95	337	,000	0,298
Kontrollgruppe	-2,98	325	,003	0,027

der Gruppen zu untersuchen, wurde ein t-Test für abhängige Stichproben hinsichtlich der „Einstellung zur Evolution“ zu beiden Messzeitpunkten gerechnet. Hierbei ergaben sich bei beiden Gruppen signifikante Unterschiede. Die Einstellung der Versuchsgruppe gegenüber Evolution hat nach dem Unterricht höchst signifikant ($F[338]=-11,95$, $p=,000$) zugenommen, dieser Zuwachs ist aufgrund von $\eta^2=0,30$ als groß einzuordnen. Die Akzeptanz der Kontrollgruppe hat hoch signifikant ($F[326]=-2,98$, $p=,003$) zugenommen. Allerdings ist dieser Zuwachs geringer und mit $\eta^2=0,03$ als klein zu bezeichnen (vgl. Tabelle 18). Die Berechnung der korrigierten Effektstärke, bei der die Mittelwerte und die gepoolte Standardabweichung mit eingehen, liefert mit $d=0,35$ ebenfalls einen kleinen Effekt.

Die Ergebnisse zeigen, dass Schüler der Orientierungsstufe bereits ohne Unterricht eine positive Einstellung gegenüber der Evolution aufweisen. Sie zeigen eine hohe Akzeptanz der Veränderung von Arten im Laufe der Zeit und somit einer evolutiven Entwicklung. Sie haben eine Vorstellung von Entwicklung aus Vorfahren, die auch den Menschen mit einbezieht. Allerdings wird die sich hieraus ergebende konsequente Folgerung im Hinblick auf Abstammung von einem gemeinsamen Vorfahren in relativ geringem Maß von Schülern dieser Altersstufe akzeptiert. Unterricht über Mechanismen der Evolution bewirkt in dieser Altersstufe eine positive Veränderung der Einstellung zur Evolution und eine vermehrte Ablehnung von Vorstellungen zur Artenkonstanz und zur Schöpfung. Dieser große Effekt wird allerdings durch eine gleichzeitige Zunahme der Akzeptanz gegenüber Evolution in der Kontrollgruppe zu einem kleinen Gesamteffekt verringert. Die Veränderung der Kontrollgruppe ist möglicherweise auf einen Lerneffekt aufgrund des Tests selbst zurückzuführen.

7.2.2 *Einstellungen zur Evolution in Abhängigkeit von Schulform und Klassenstufe, Geschlecht, Interesse an Biologie und der Glaubensrichtung*

Die „Einstellung zur Evolution“ wird für beide Schulformen getrennt in Abhängigkeit von der Klassenstufe, im Vortest bei der Gesamtgruppe und im Nachtest getrennt nach Probanden der Versuchs- und Kontrollgruppe untersucht.

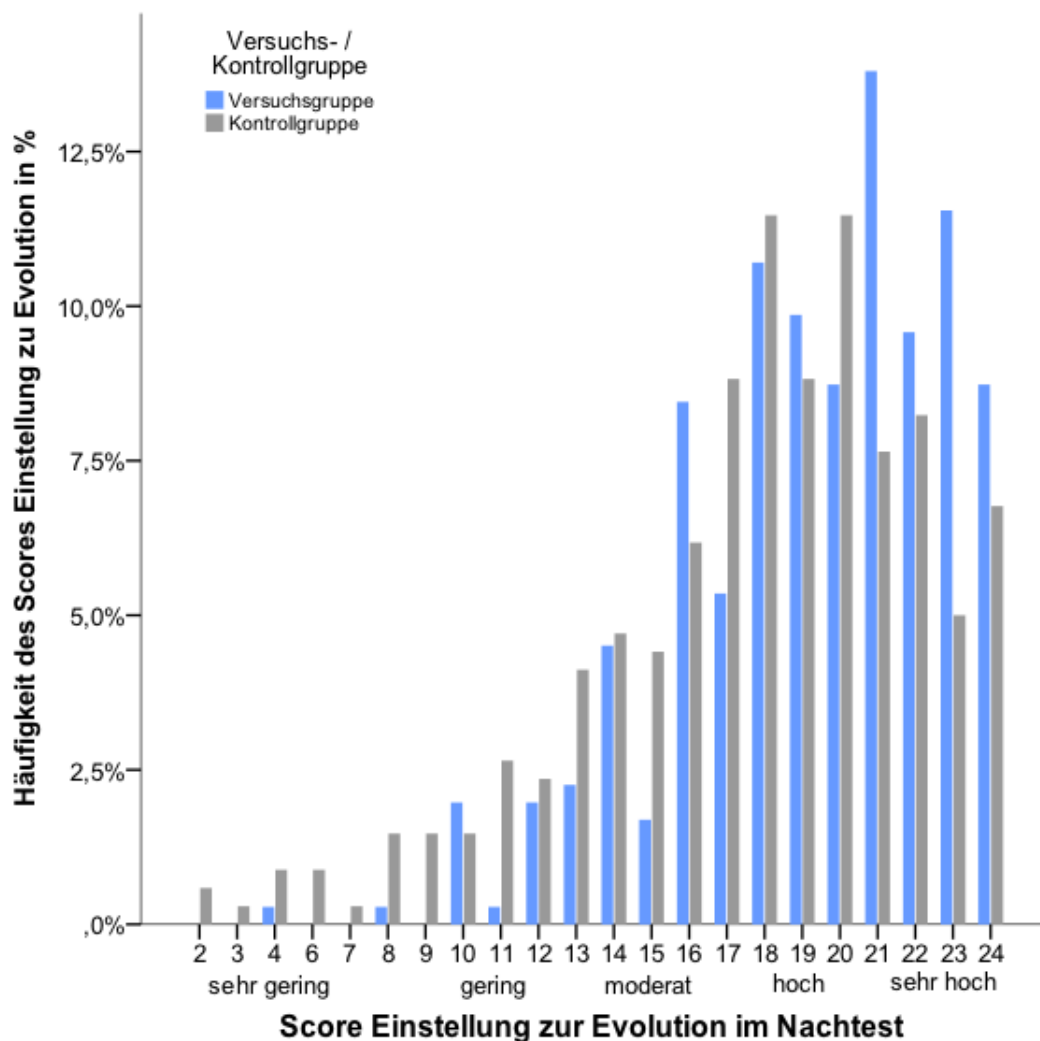


Abbildung 5: Häufigkeiten des Scores „Einstellung zur Evolution“ von Versuchs- ($n=355$, $M=19,24$, $SD=3,54$, blau) und Kontrollgruppe ($n=340$, $M=17,67$, $SD=4,47$, grau) im Nachtest.

Die Akzeptanz der Evolution ist bei den Schülern des Gymnasium hoch, wobei sich die beiden Klassenstufen nicht signifikant unterscheiden ($t_{[535]}=-1,38$, $p=,167$). Schüler der fünften Klasse der Gesamtschule weisen hingegen nur eine moderate Akzeptanz auf, die sich signifikant von der Akzeptanz der Schüler der sechsten Jahrgangsstufe unterscheidet ($t_{[55.54]}=-5,53$, $p=,000$). Die Größe des Unterschiedes ist aufgrund der Effektstärke von $\eta^2=0,180$ zwar als groß zu bewerten, aufgrund der geringen Anzahl der Schüler dieser Subgruppe aber mit Vorsicht zu interpretieren (vgl. Tab. 19 auf der nächsten Seite). Dieser signifikante Unterschied tritt ebenfalls im Nachtest bei Schülern unterschiedlicher Klassenstufe der Gesamtschule, sowohl bei der Versuchsgruppe ($U=242$, $z=-3,52$, $p=,000$, $r=-,42$), als auch bei der Kontrollgruppe auf ($U=243$, $z=-4,04$, $p=,000$, $r=-,46$), wobei diese Subgruppe die geringste Akzeptanz der Evolution aufweist (vgl. Tab. 20 auf der nächsten Seite).

Tabelle 19: Deskriptive Statistik bzgl. „Einstellung zur Evolution“ der Gesamtstichprobe im Vortest in Abhängigkeit von Schulform und Klassenstufe.

Schulform	Variable	n		M		SD
Gymnasium	Klassenstufe	5	373	17,15	4,24	
		6	164	17,71	4,50	
Gesamtschule	Klassenstufe	5	41	13,44	4,77	
		6	101	17,92	3,23	

Tabelle 20: Deskriptive Statistik bzgl. „Einstellung zur Evolution“ der Versuchs- und Kontrollgruppe im Nachtest in Abhängigkeit von Schulform und Klassenstufe

Schulform	Variable	Versuchsgruppe				Kontrollgruppe		
		n	M	SD	n	M	SD	
Gymnasium	Klasse	5	208	19,47	3,53	169	17,91	4,18
		6	77	19,90	3,28	95	17,44	4,85
Gesamtschule	Klasse	5	21	15,52	3,33	22	13,77	5,13
		6	49	18,84	3,12	54	18,91	3,47

Die durchschnittliche „Einstellung zur Evolution“ ändert sich bei Schülern der fünften Jahrgangsstufe beider Schulformen durch die Intervention mehr in eine positive Richtung als bei Schülern der sechsten Jahrgangsstufe (vgl. Tab. 21). Allerdings sind diese Unterschiede in keiner Subgruppe signifikant (vgl. Tab. 22 auf der nächsten Seite).

Nachfolgend wird die „Einstellung zur Evolution“ und die Einstellungsänderung bei den Subgruppen unterschiedlichen Geschlechts, Interesse an Biologie und Konfessionszugehörigkeit untersucht (vgl. Tab. 23 auf der nächsten Seite und Tab. 25 auf Seite 98).

Bei allen drei unabhängigen Variablen treten im Vortest zwischen den Subgruppen signifikante Unterschiede auf. Die Akzeptanz von männlichen Schü-

Tabelle 21: Deskriptive Statistik bzgl. „Einstellungsänderungen zur Evolution“ als Mittelwertdifferenz der Versuchs- und Kontrollgruppe in Abhängigkeit von Schulform und Klassenstufe.

Schulform	Variable	Versuchsgruppe				Kontrollgruppe		
		n	ΔM	SD	n	ΔM	SD	
Gymnasium	Klasse	5	199	2,24	2,99	162	0,94	2,82
		6	73	1,53	3,23	90	0,23	4,93
Gesamtschule	Klasse	5	20	2,15	3,66	20	-0,05	4,59
		6	46	1,67	2,92	54	0,35	2,16

Tabelle 22: *Ergebnisse der t-Tests und Mann-Whitney-U-Tests für unabhängige Stichproben für die „Einstellungsänderungen zur Evolution“ der Versuchs- und Kontrollgruppe in Abhängigkeit von Schulform und Klassenstufe.*

Klassenstufe	Gymnasium			Gesamtschule		
	t	df	Sig.	U	Z	Sig.
Versuchsgruppe	1,68	270	,095	413	-,66	,510
Kontrollgruppe	1,46	250	,146	472	-,84	,400

Tabelle 23: *Deskriptive Statistik bzgl. der „Einstellung zur Evolution“ der gesamten Stichprobe im Vortest in Abhängigkeit von Geschlecht, Interesse an Biologie und der Glaubensrichtung.*

Variable		n	M	SD
Geschlecht	weiblich	351	16,79	4,36
	männlich	326	17,60	4,21
Interesse Biologie	hoch	204	17,78	4,36
	mittel	418	16,84	4,29
	gering	55	17,69	3,95
Glaubensrichtung	evangelisch	307	17,01	4,50
	katholisch	248	18,11	3,40
	muslimisch	45	12,87	5,15
	andere	25	15,88	3,48
	keine	52	18,27	4,06

lern zur Evolution zu Beginn der Sekundarstufe I ist signifikant höher als die Einstellung von weiblichen Schülern ($t[675]=-2,44$, $p=,015$), allerdings ist der Gendereffekt klein ($\eta^2=,009$) und erklärt nur 0,9 % der Varianz.

Die Akzeptanz der Evolution unterscheidet sich bei Probanden unterschiedlichen Interesses an Biologie ($F[2, 674]=3,67$, $p=,026$), wobei Probanden mit mittlerem Interesse die geringste Akzeptanz aufweisen. Allerdings lassen sich keine signifikanten Mittelwertdifferenzen mittels eines Post-Hoc-Tests (Scheffé) nach Bonferroni-Korrektur feststellen. Die Akzeptanz der Evolution ist bei muslimischen Probanden höchst signifikant am geringsten. ($\chi^2(4)=47,47$, $p=,000$). Ein Vergleich von Subgruppen verschiedener Glaubensrichtungen zeigt signifikante Unterschiede zwischen muslimischen und jeweils evangelischen, katholischen und konfessionslosen Befragten mit moderater bzw. großer Effektstärke auf (vgl. Tab. 24 auf der nächsten Seite).

Männliche Probanden weisen im Nachtest, unabhängig von der Intervention, eine höhere Akzeptanz der Evolution auf als weibliche Probanden auf, wobei dieser Unterschied allerdings nicht wie im Vortest signifikant ist (VG: $t[352]=-$

Tabelle 24: Ergebnisse der Mann-Whitney-U-Tests für die „Einstellung zur Evolution“ im Vortest in Abhängigkeit von der Glaubensrichtung.

Religion		U	Z	p	r
evangelisch	katholisch	33722	-2,32	,020	
evangelisch	muslimisch	3657	-5,11	,000	-,27
evangelisch	andere	3031	-1,75	0,79	
evangelisch	keine	663	-1,95	,051	
katholisch	muslimisch	2277	-6,34	,000	-,37
katholisch	andere	2023	-2,87	,004	-,17
katholisch	keine	6067	-0,67	,501	
muslimisch	andere	363	-2,46	,014	
muslimisch	keine	481	-5,00	,000	-,51
andere	keine	407	-2,65	,008	

0,64 , $p=,524$; KG: $t[337]=-0,43$, $p=,667$). Befragte, die nach Selbsteinschätzung ein hohes Interesse an Biologie haben, weisen eine höhere Akzeptanz der Evolution auf. Dieser Mittelwertunterschied ist aber nur in der Kontrollgruppe signifikant, wobei bei Befragten mit hohem und mittlerem Interesse ein signifikanter Unterschied mit großer Effektstärke auftritt (VG: $\chi^2[2]=2,87$, $p=,236$; KG: $F[2,336]=4,91$, $p=,008$, ($\eta^2=,028$). Der höchst signifikante Unterschied der „Einstellung zur Evolution“ in Abhängigkeit von der Glaubensrichtung bleibt im Nachtest bei beiden Gruppen bestehen, wobei ebenfalls muslimische Schüler eine geringere Akzeptanz als christliche oder konfessionslose Schüler haben (VG: $\chi^2[4]=22,99$, $p=,000$; KG: $\chi^2[4]=23,21$, $p=,000$)

Die positive Einstellungsänderung zwischen beiden Messzeitpunkten ist bei weiblichen Probanden nur in der Kontrollgruppe signifikant höher als bei männlichen Probanden (VG: $t[335]=1,56$, $p=,119$; KG: $t[323]=2,02$, $p=,044$, $\eta^2=,012$). Die Einstellungsänderung zwischen beiden Messzeitpunkten unterscheidet sich zwar signifikant in Abhängigkeit vom Interesse an Biologie. Diese ist in der Versuchsgruppe bei Schülern mit mittlerem Interesse am höchsten, in der Kontrollgruppe hingegen bei Schülern mit hohem Interesse (VG: $\chi^2[2]=7,28$, $p=,026$; KG: $F[2,322]=3,45$, $p=,033$, $\eta^2=,021$). Allerdings lassen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Subgruppen durch Post-Hoc-Tests messen. Die größte Einstellungsänderung weisen muslimische Schüler auf, allerdings ist diese Änderung im Vergleich zu anderen Glaubensgruppen nicht signifikant (vgl. 26 auf der nächsten Seite, 6 auf Seite 99).

Tabelle 25: Deskriptive Statistik bzgl. der „Einstellung zur Evolution“ der Versuchs- und Kontrollgruppe im Nachtest in Abhängigkeit von dem Geschlecht, Interesse an Biologie und der Glaubensrichtung.

Variable		Versuchsgruppe			Kontrollgruppe		
		n	M	SD	n	M	SD
Geschlecht	weiblich	198	19,14	3,49	164	17,59	4,34
	männlich	156	19,38	3,62	175	17,80	4,55
Interesse	hoch	115	19,72	3,36	92	18,90	4,10
Biologie	mittel	217	18,98	3,65	216	17,31	4,53
	gering	22	19,41	3,25	31	16,81	4,28
Glaubens- richtung	evangelisch	159	19,31	3,52	154	16,92	4,76
	katholisch	130	19,59	3,33	118	18,09	3,14
	muslimisch	25	16,00	3,61	20	12,70	5,68
	andere	198	19,14	3,49	16	15,69	3,77
	keine	156	19,38	3,62	22	18,36	4,94

Tabelle 26: Deskriptive Statistik bzgl. der „Einstellungsänderungen zur Evolution“ der Versuchs- und Kontrollgruppe in Abhängigkeit von Geschlecht, Interesse an Biologie und der Glaubensrichtung.

Schulform		Versuchsgruppe			Kontrollgruppe		
		n	ΔM	SD	n	ΔM	SD
Geschlecht	weiblich	188	2,25	2,93	157	1,01	3,23
	männlich	149	1,72	3,23	168	0,21	3,83
Interesse	hoch	109	1,62	2,92	89	1,40	3,66
Biologie	mittel	206	2,33	3,11	205	0,35	3,43
	gering	22	0,64	3,03	31	-0,13	3,95

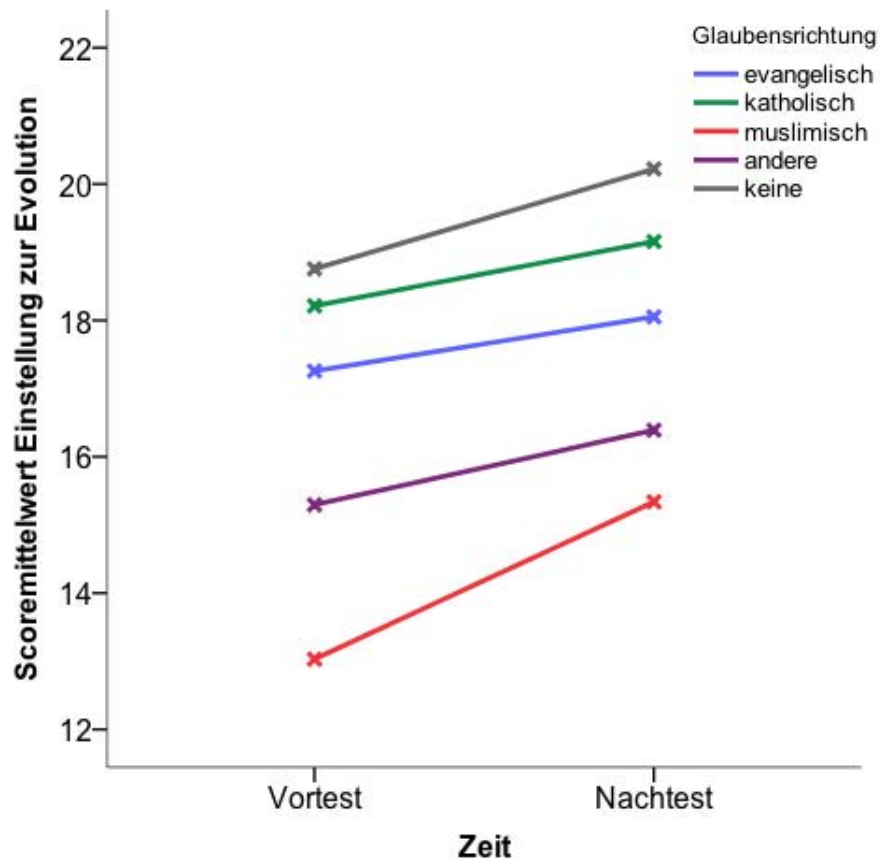


Abbildung 6: Profildigramm der Veränderung des Scoremittelwertes der Gesamtgruppe „Einstellung zur Evolution“ zwischen Vor- und Nachtest in Abhängigkeit von der Glaubensrichtung.

7.3 VERSTEHEN VON EVOLUTION: DIE VERÄNDERUNG VON ARTEN

7.3.1 Verständnis der Veränderung von Arten in Abhängigkeit von der Intervention

Mit insgesamt 61,7% akzeptiert ein großer Teil der befragten Schüler die fachlich angemessene Vorstellung einer Veränderung von Arten aufgrund von Variation und Selektion, die mit der Itemformulierung einer Artveränderung aufgrund von Unterschieden zwischen Lebewesen und einem wahrscheinlicherem Überleben von zufällig besser angepassten Lebewesen (C8) erfragt wird. Ein Viertel der Befragten (25,8%) wählt bei dieser Aussage die neutrale Kategorie, was darauf hin deutet, dass die Schüler unsicher sind bzw. kein Wissen hierzu haben. Die Zustimmung der Probanden zu einer Veränderung von Arten aufgrund des Willens der Lebewesen (C10) ist mit 40,7% fast genauso hoch wie deren Ablehnung (39,9%). Im Gegensatz dazu steht das Antwortverhalten zu der Aussage, dass Anpassung geschieht, weil die einzelnen Lebewesen sich

anpassen müssen (C11). Dieser Aussage stimmte mit 78,8% die Mehrheit der Schüler zu und eine Ablehnung trat nur bei 8,0% der Befragten auf. Diese finalistischen Vorstellungen einer Artveränderung aufgrund eines Willens oder Zwanges finden große Zustimmung bei den Probanden, obwohl die fachlich angemessene Vorstellung ebenfalls befürwortet wird. Dieses Antwortverhalten erscheint widersprüchlich. Möglicherweise wirkt sich die unterschiedliche Polung von einem Item aus, welche von den Befragten nicht richtig eingeordnet wurde und zu diesem Antwortverhalten führen könnte. Eine weitere mögliche Erklärung ist, dass die Schüler noch keine eindeutige Vorstellung für die Ursache der Veränderung von Arten haben und dies zu inkonsistentem Antwortverhalten führt. Die sehr hohe Akzeptanz der Anpassung aufgrund eines Zwanges spiegelt die Auffassung einer Notwendigkeit zum Überleben wider, welcher gegenüber einer Veränderung aufgrund eines Willens als Ursache für eine Artveränderung bevorzugt zugestimmt wird. Die Notwendigkeit stellt für die Schüler eine ausreichende, wenn auch nicht kausale Erklärung, dar. In Bezug auf die Aussage, dass Mutationen für Lebewesen nie vorteilhaft sind (C9), wählten die Probanden mit 39,4% häufig die neutrale Antwortkategorie. Das Antwortverhalten deutet auf nicht vorhandenes Wissen oder fehlende Bezüge zu Mutationen hin, eine Einordnung in vor- oder nachteilhafte Auswirkungen ist deshalb nicht möglich. Die Zustimmung zu der aus fachlicher Sicht korrekten Aussage ist insgesamt mit 28,7% annähernd so groß wie deren Ablehnung (32%).

Nach der Unterrichtsintervention ist der Anteil an Zustimmung zu der fachlich richtigen Erklärung für die Veränderung der Arten (C8) sowohl bei der Versuchsgruppe, als auch bei der Kontrollgruppe höchst signifikant angestiegen. Dieser Zuwachs fällt mit einer Steigerung von 22,8% bei der Versuchsgruppe deutlich größer als bei der Kontrollgruppe, wo nur eine Zunahme von 8,4% messbar ist, aus. Beide Gruppen unterscheiden sich in ihrem Antwortverhalten im Nachtest signifikant. Die Ablehnung finalistischer Gründe für eine Artveränderung hat bei der Versuchsgruppe sowohl aus Gründen eines Zwanges (C11), als auch aufgrund des Willens der Lebewesen (C10) im Nachtest gegenüber dem Vortest höchst bzw. hoch signifikant zugenommen. Allerdings ist dieser Unterschied bei Letzterem zwischen den Gruppen nicht signifikant. Bemerkenswert ist die insgesamt hohe Zustimmung (70,9%) zu der Annahme einer Anpassung aufgrund eines Zwanges. Nach dem Unterricht ist die Ablehnung des ausschließlich negativen Charakters von Mutation (C9) bei der Versuchsgruppe um 21,7% gestiegen, dieser Anstieg ist gegenüber dem ersten Messzeitpunkt und der Kontrollgruppe, bei der fast keine Veränderung zu verzeichnen ist, höchst signifikant. Diese Zunahme ist auf die Einführung des

Begriffs „Mutation“ im Unterricht zurückführbar (vgl. Abb. 7 auf der nächsten Seite).

Aufgrund der schon angeführten geringen Reliabilität der Items werden sie nicht zu einem Konstrukt zusammengefasst und es wird kein Summenscore ermittelt. Aus diesem Grunde erfolgt an dieser Stelle keine weitere statistische Analyse einzelner Subgruppen.

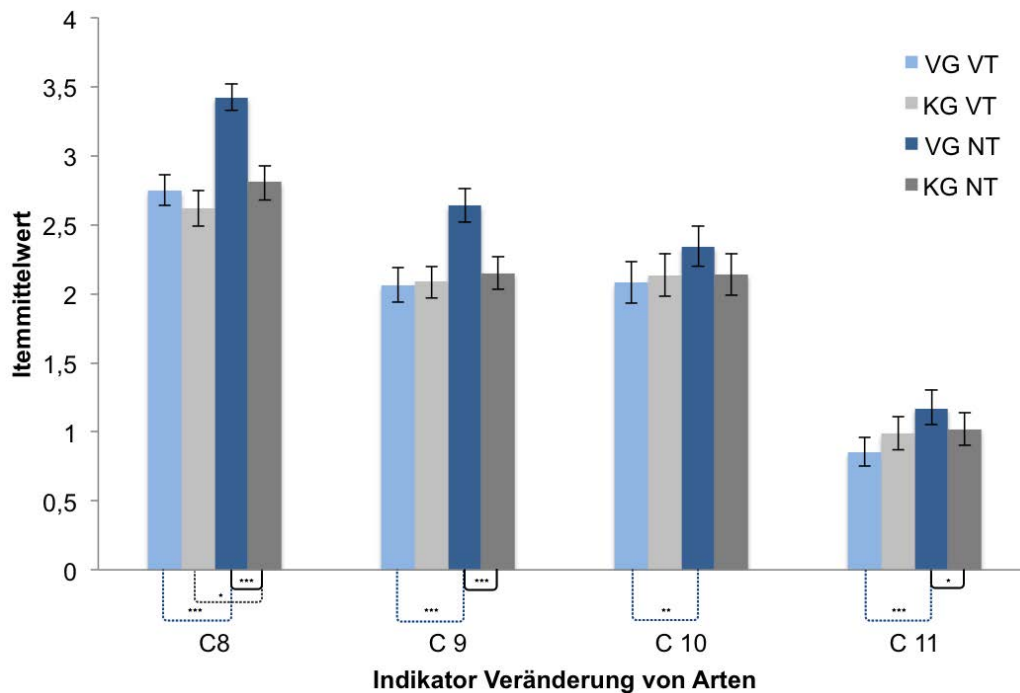


Abbildung 7: Mittelwerte der einzelnen Items der Kategorie „Veränderung von Arten“ der Versuchs- (VG) bzw. Kontrollgruppe (KG) im Vor- (VT) und Nachtest (NT). Signifikante Unterschiede (t-Test) sind gekennzeichnet. Fehlerbalken markieren die 95% Konfidenzintervalle.

Die Ergebnisse weisen auf inkonsistente Vorstellungen zur „Veränderung von Arten“ bei Schülern der Orientierungsstufe hin. Finalistische Vorstellungen der Artveränderung, vor allem aufgrund eines gegebenen Zwanges, sind prominent auch nach der Unterrichtsintervention, z.T. in Kombination mit fachlich richtigen Vorstellungen, vertreten. Nach dem Unterricht ist ein deutlicher Anstieg an Zustimmung zu einer Veränderung von Arten aufgrund von Variation und Selektion bei direkter Fragestellung und vorgegebener Aussage und eine Abnahme finalistischer Erklärungen zu verzeichnen. Der Begriff Mutation wird vermehrt nicht ausschließlich negativ belegt. Insgesamt deutet die Beantwortung der Items auf ein gestiegenes Verständnis der Veränderung von Arten durch die Unterrichtsintervention, bei direkter abstrakter Fragenformulierung, hin.

7.4 VERSTEHEN VON EVOLUTION: DIE ABLEHNUNG DER VERERBUNG ERWORBENER EIGENSCHAFTEN

7.4.1 *Verstehen von Evolution: Die Ablehnung der Vererbung erworbener Eigenschaften in Abhängigkeit von der Intervention*

Die „Vererbung erworbener Merkmale“ wird bei drei der vier Aussagen von der Probandengruppe vor dem Unterricht deutlich abgelehnt, wobei jeweils über 60% der Auffassung sind, die angegebenen Aussagen stimmen gar nicht. Die Ablehnung der Vererbung erworbener Eigenschaften bzw. Fähigkeiten - durch Training beim Beispiel Hund (D13) ist mit insgesamt 84% größer als beim Beispiel Mensch (D14), wo mit 79,6% über drei Viertel der Probanden die Weitergabe erworbener Muskelmasse an die Nachkommen ablehnt. Ebenso deutlich wird die Weitergabe aktiv veränderter Merkmale wie künstlich gefärbte Haare beim Menschen (D15) von 79,6% der Schüler abgelehnt. Die Ablehnung der Vererbung der durch Umwelteinflüsse veränderten Merkmale, wie die Veränderung der Hautfarbe beim Menschen (D12), fällt mit 67,8% deutlich geringer aus als bei den anderen drei Aussagen. Fast ein Fünftel (19,3%) der Befragten stimmt der Aussage zu, dass hellhäutige Menschen nach Umzug in südlichere Gebiete Kinder mit dunkleren Hautfarben haben. Die Ablehnung der Vererbung erworbener Merkmale scheint größer zu sein bei Beispielen von für die Schüler erkennbar erworbenen, wie z.B. trainierten bzw. aktiv veränderten, Merkmalen, als wenn die Veränderung, ebenso individuell erworben, durch die Umwelt induziert ist.

Nach der Unterrichtsintervention wird die „Vererbung erworbener Merkmale“ von den Befragten der Versuchsgruppe bei allen Aussagen vermehrt, sowohl im Vergleich zu dem ersten Messzeitpunkt, als auch im Vergleich zur Kontrollgruppe, abgelehnt. Diese Unterschiede sind alle statistisch signifikant. Die Veränderung ist bei der Aussage der Vererbung der individuell veränderten Hautfarbe beim Menschen (D12) mit 14,2% gegenüber dem Vortest am größten und höchst signifikant, bei der Kontrollgruppe hingegen ist bei diesem Indikator sogar eine signifikante Abnahme von 6% feststellbar. Ansonsten treten bei den anderen drei Aussagen zum Kontext „Vererbung erworbener Merkmale“ bei der Kontrollgruppe gegenüber dem ersten Messzeitpunkt keine signifikanten Veränderungen auf (vgl. Abb. 8 auf der nächsten Seite).

Die Verteilung der Häufigkeiten des Scores „Ablehnung erworbener Merkmale“, gebildet aus den drei Items D12, D13 und D15, sowie die Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) werden zu beiden Messzeitpunkten dargestellt (vgl. Abb. 9 auf Seite 104 und Abb. 10 auf Seite 106). Eine Kategorisierung des Scores erfolgte entsprechend Lammert (2012) verändert nach Rutledge

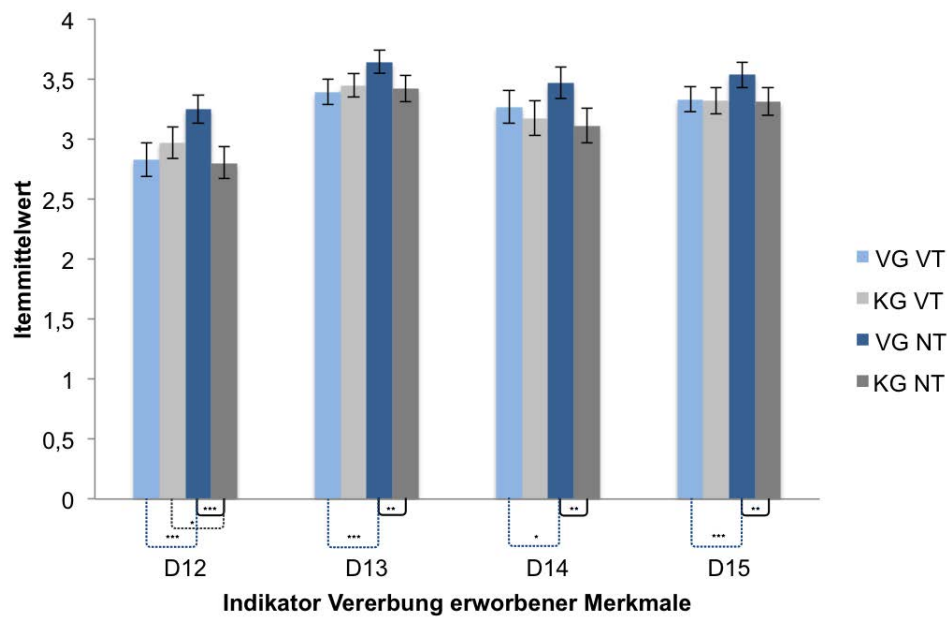


Abbildung 8: Mittelwerte der einzelnen Items der Kategorie „Vererbung erworbener Merkmale“ der Versuchs- (VG) bzw. Kontrollgruppe (KG) im Vor- (VT) und Nachtest (NT). Signifikante Unterschiede (t-Test) sind gekennzeichnet. Fehlerbalken markieren die 95% Konfidenzintervalle.

Tabelle 27: Kategorisierung Ablehnung „Vererbung erworbener Merkmale“

Scorewert	Ø Wert auf Likert-Skala	Ablehnung Vererbung erworbener Merkmale
11 - 12	$\geq 3,5$	sehr hoch
9 - 10	~ 3	hoch
7 - 8	$\sim 2,5$	moderat
5 - 6	~ 2	gering
< 5	$< 1,5$	sehr gering

& Warden (1999), wobei der Score von null (geringe Ablehnung) bis zu zwölf (sehr hohe Ablehnung) reicht (vgl. Tab. 27).

Die mittlere Ablehnung der „Vererbung erworbener Merkmale“ ist vor dem Unterricht als hoch einzuordnen, wobei das Maximum der Häufigkeitsverteilung im Bereich einer sehr hohen Ablehnung liegt. Vor dem Unterricht tritt hierbei bei Versuchs- und Kontrollgruppe kein signifikanter Unterschied auf ($t[700]=-1,10$, $p=,270$). Hingegen ist nach dem Unterricht zwischen den beiden Gruppen ein höchst signifikanter Unterschied ($t[691,06]=5,12$, $p=,000$) mit einer geringen Effektstärke ($\eta^2=0,04$) messbar (vgl. Tab. 28 auf der nächsten Seite). Der deutlichste Unterschied zeigt sich in einer starken Zunahme von Probanden mit einer sehr hohen Ablehnung, die den maximalen Scorewert von 12

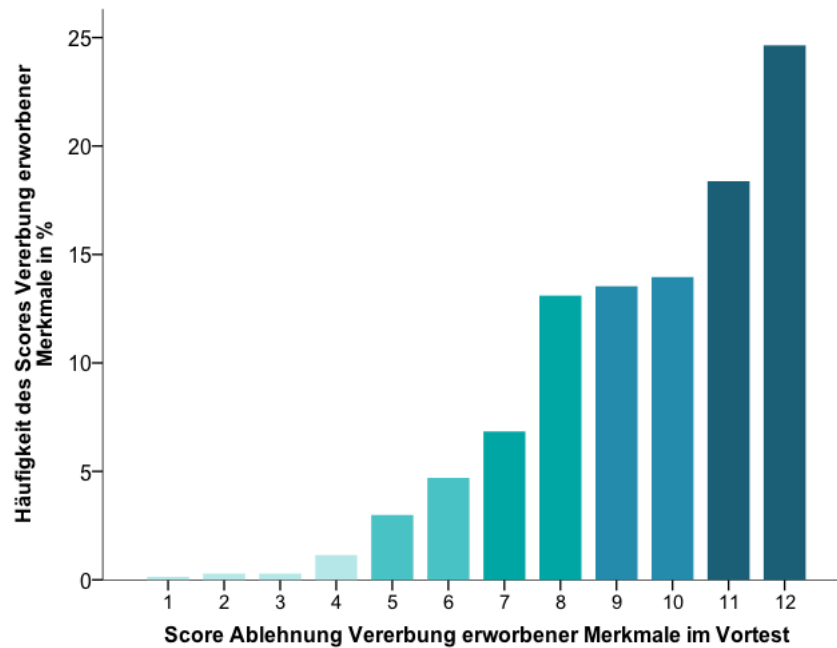


Abbildung 9: Häufigkeiten des Scores „Ablehnung der Vererbung erworbener Merkmale“ der Gesamtgruppe im Vortest (Versuchsgruppe $n=360$, $M=9,53$, $SD = 2,15$; Kontrollgruppe $n = 342$, $M = 9,70$, $SD = 2,16$).

Tabelle 28: Ergebnisse eines t -Tests für unabhängige Stichproben für die Ablehnung der „Vererbung erworbener Merkmale“ in Abhängigkeit von dem Treatment zu beiden Messzeitpunkten.

Messzeitpunkt	t	df	Sig.	Effekt η^2
Vortest	-1,104	700	,270	
Nachtest	5,115	691,095	,000	0,036

aufweisen. Der Vergleich der Mittelwerte der einzelnen Gruppen zu beiden Messzeitpunkten zeigt keine signifikanten Unterschiede ($t[340]=1,44$, $p=0,151$) in der Kontrollgruppe auf. Die hoch signifikanten Unterschiede bei der Versuchsgruppe ($t[357]=-6,524$, $p=,000$) sind hingegen in ihrer Effektstärke als moderat einzuordnen ($\eta^2=0,11$; vgl. Tab. 29 auf der nächsten Seite). Die korrigierte Effektstärke beträgt für dieses Konstrukt $d=0,47$ und liegt ebenso an der Grenze eines kleinen / moderaten Effektes.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Schüler, obwohl genetische Grundlagen im Unterricht nicht thematisiert wurden, größtenteils die „Vererbung erworbener Merkmale“ ablehnen. Möglicherweise beruht die Ablehnung hier auf Alltagserfahrungen, eine Überlegung, welche durch die hohe Ablehnung von Veränderungen durch Gebrauch unterstützt wird. Aufgrund der geringen Akzeptanz der Vererbung erworbener Merkmale sollten lamarckistische Fehlvorstellungen

Tabelle 29: *Ergebnisse eines t-Tests für abhängige Stichproben für die Ablehnung der „Vererbung erworbener Merkmale“ in Abhängigkeit dem Messzeitpunkt.*

Treatment	t	df	Sig.	Effekt η^2
Versuchsgruppe	-6,524	357	,000	0,107
Kontrollgruppe	1,440	340	,151	

Tabelle 30: *Deskriptive Statistik bzgl. der Ablehnung „Vererbung erworbener Eigenschaften“ der gesamten Stichprobe im Vortest und der Versuchsgruppe im Nachtest in Abhängigkeit von Schulform und Klassenstufe.*

Schulform	Variable	Vortest, Gesamtgruppe				Nachtest Versuchsgruppe		
		n	M	SD		n	M	SD
Gymnasium	Klasse	5	386	9,52	2,14	214	10,36	2,26
		6	171	10,02	2,08	78	10,55	2,32
Gesamtschule	Klasse	5	43	8,49	2,68	20	10,95	1,50
		6	102	9,75	1,93	50	10,42	2,19

bei den Probanden nicht prominent vertreten sein. Der Unterricht kann durch die Abnahme der Vorstellung, dass erworbener Merkmale vererbt werden können, zu einer Reduktion lamarckistischer Fehlvorstellungen beitragen.

7.4.2 Verstehen von Evolution: Die Ablehnung der Vererbung erworbener Eigenschaften in Abhängigkeit von Schulform und Klassenstufe, Geschlecht, Interesse an Biologie und der Glaubensrichtung

Nachfolgend wird die Ablehnung der „Vererbung erworbener Eigenschaften“ aller Befragten im Vortest und der Versuchsgruppe im Nachtest analysiert. Da bei der Kontrollgruppe keine signifikanten Veränderungen in Abhängigkeit von der Zeit auftraten, erfolgt keine weitere Analyse des Nachtests (vgl. Tab. 30 und Tab. 31 auf Seite 107).

Die Ablehnung der „Vererbung erworbener Eigenschaften“ ist bei Schülern der sechsten Klassenstufe beider Schulformen im Vortest signifikant größer (Gymnasium: $t[555]=-2,60$, $p=,010$, $\eta^2=,012$, Gesamtschule $t[61,25]=-2,81$, $p=,007$, $\eta^2=,067$) als bei Schülern der fünften Klasse. Dieser Unterschied tritt im Nachtest der Versuchsgruppe weder bei der Schulform Gymnasium ($t[290]=0,65$, $p=,515$), noch bei der Gesamtschule ($U=452$, $z=-0,68$, $p=,496$) auf.

Die Einstellungsänderungen aufgrund der Intervention unterscheiden sich nur bei der Gesamtschule in Abhängigkeit von der Klassenstufe signifikant ($U=289$, $z=-2,74$, $p=,006$), wobei die Ablehnung bei jüngeren Probanden ($\Delta M=-$

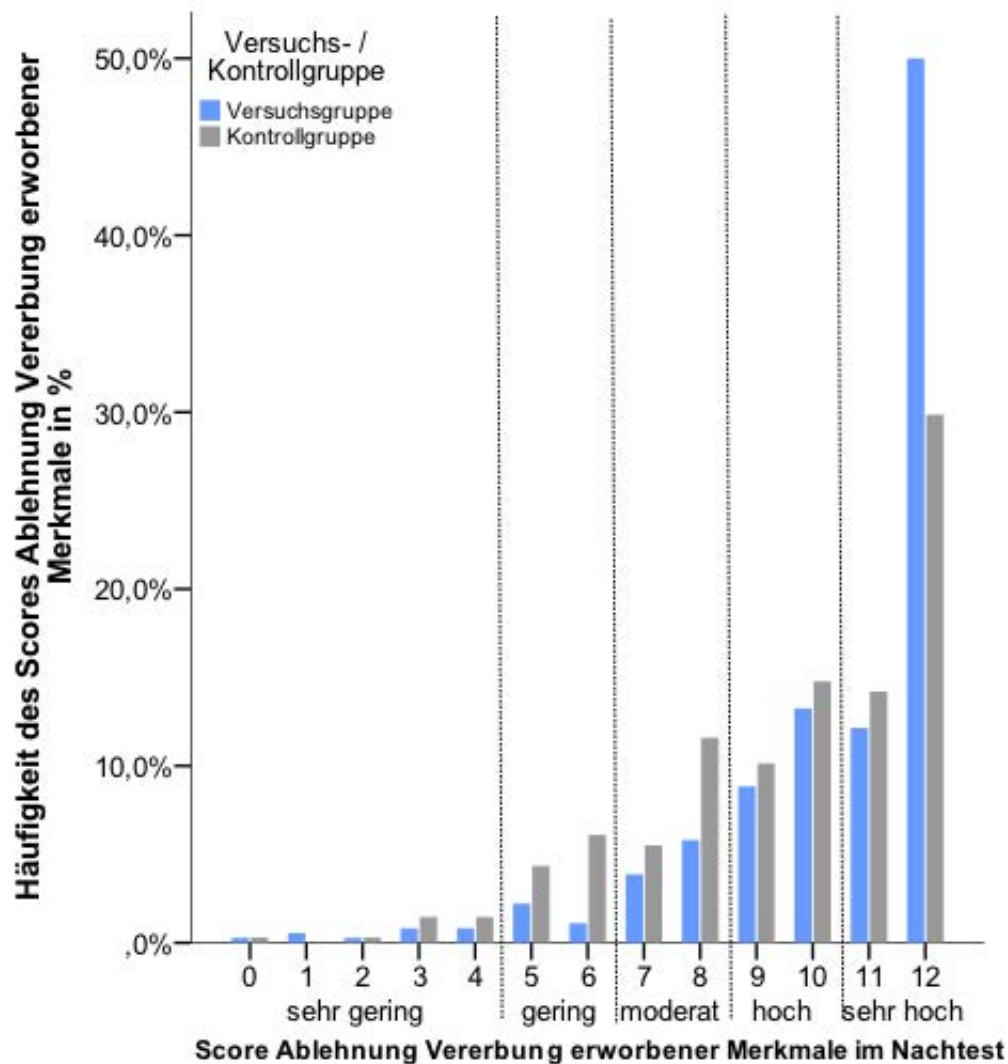


Abbildung 10: Häufigkeiten des Scores Ablehnung der „Vererbung erworbener Merkmale“ von Versuchs- ($n=362$, $M=10,44$, $SD=2,22$, Blautöne) und Kontrollgruppe ($n=345$, $M=9,54$, $S=2,44$ Grautöne) im Nachtest.

2,80, $SD=2,42$) stärker als bei älteren Probanden der sechsten Klasse ($\Delta M=0,88$, $SD=2,52$) zugenommen hat.

In Bezug auf die Vorstellung der „Vererbung erworbener Eigenschaften“ tritt sowohl bei allen Befragten vor der Intervention, als auch bei Probanden der Versuchsgruppe im Nachtest ein signifikanter Gendereffekt auf, wobei jeweils Mädchen die Vererbung erworbener Merkmale in einem geringeren Ausmaß annehmen (Gesamtgruppe Vortest $t[698]=4,39$, $p=,000$, $\eta^2=0,027$, Versuchsgruppe Nachtest $t[359]=2,66$, $p=,008$, $\eta^2=0,019$). Der Effekt ist im Vortest aller Befragten größer als bei der Versuchsgruppe im Nachtest.

Allerdings verändert sich die Ablehnung der „Vererbung erworbener Merkmale“ bei beiden Geschlechtern nicht signifikant ($t[355]=-0,84$, $p=,402$).

Tabelle 31: Deskriptive Statistik bzgl. der Ablehnung der „Vererbung erworbener Eigenschaften“ der Gesamtgruppe im Vortest und Versuchsgruppe im Nachtest in Abhängigkeit von dem Geschlecht, dem Interesse an Biologie und der Glaubensrichtung.

Variable		Versuchsgruppe, Gesamtgruppe			Nachtest, Versuchsgruppe		
		n	M	SD	n	M	SD
Geschlecht	weiblich	365	9,96	2,00	201	10,73	2,10
	männlich	335	9,25	2,25	160	10,12	2,27
Interesse	hoch	212	9,48	2,33	118	10,74	2,04
Biologie	mittel	433	9,66	2,08	220	10,36	2,16
	gering	55	9,85	2,01	23	9,61	3,33
Glaubens- richtung	evangelisch	321	9,77	2,05	162	10,69	2,11
	katholisch	255	9,67	2,14	134	10,32	2,27
	muslimisch	45	8,42	2,75	25	10,32	1,93
	andere	25	9,88	1,86	9	10,22	2,44
	keine	54	9,31	2,16	201	10,73	2,10

Das Interesse hat zu beiden Messzeitpunkten keinen statistischen Einfluss auf die Einstellung zur „Vererbung erworbener Merkmale“.

Die relativ große Mittelwertsänderung bei Schülern mit hohem Interesse bzw. muslimischen Glaubens ist allerdings nicht signifikant im Vergleich zu Schülern mit geringerem Interesse oder anderer Glaubensrichtung (vgl. 32 auf der nächsten Seite). Hingegen lassen sich signifikante Unterschiede in Abhängigkeit von der Glaubensrichtung bei der gesamten Stichprobe im Vortest ($\chi^2(4)=11,37$, $p=,023$) feststellen. Beim paarweisen Vergleich unterscheidet sich die Ablehnung der „Vererbung erworbener Merkmale“ bei muslimischen und evangelischen Schülern signifikant ($U=5201$, $z=-3,09$, $p=,002$, $r=-0,16$). Dieser Unterschied tritt aber nicht bei der Versuchsgruppe im Nachtest ($\chi^2(4)=4,65$, $p=,326$) auf.

7.5 VORSTELLUNGEN ZUM ARTKONZEPT

7.5.1 Vorstellung zum Artkonzept in Abhängigkeit von der Intervention

Die größte Zustimmung zu einer richtigen Antwort war im Vortest mit 84,3% bei der „Möglichkeit von Nachkommen aus einer Paarung von den beiden Hunderrassen Dackel und Schäferhund“ (E 16.1) zu verzeichnen. Hingegen wurde dies für Pferd und Rind (E 16.2) von 84,5% der Probanden abgelehnt. Fast drei Viertel der Stichprobe (73,6%) entschieden sich richtig für mögliche Nachkom-

Tabelle 32: *Deskriptive Statistik bzgl. der Änderung der Ablehnung der „Vererbung erworbener Merkmale“ der Versuchsgruppe im Nachtest in Abhängigkeit von dem Geschlecht, dem Interesse an Biologie und der Glaubensrichtung.*

Variable		n	ΔM	SD
Geschlecht	weiblich	200	0,80	2,46
	männlich	157	1,03	2,72
Interesse Biologie	hoch	117	1,32	2,45
	mittel	217	0,75	2,47
	gering	23	-0,17	3,59
Glaubensrichtung	evangelisch	160	0,91	2,52
	katholisch	133	0,79	2,60
	muslimisch	25	1,68	3,00
	andere	9	0,78	2,54
	keine	31	0,58	2,49

men einer Kreuzung von Pony und Pferd (16,3). Diese drei Items werden von einem großen Teil der Befragten fachlich richtig beantwortet. Ein abweichendes Antwortverhalten tritt bei dem vierten Item auf, hier lehnt nur etwa die Hälfte (51,6%) der Befragten fachlich richtig die artfremde Kreuzung von Ziege und Schaf ab. Das Antwortverhalten deutet darauf hin, dass nicht alle Probanden zur Beantwortung der Items das Konzept der biologischen Art verwenden. Eine Entscheidung aufgrund von Ähnlichkeiten sollte aufgrund der Unterschiedlichkeit der beiden Hunderassen, als auch bei Pferd und Rind, zu einer Ablehnung führen. Dieses lässt sich aber anhand der gegebenen Antworten nicht bestätigen. Das Antwortverhalten bei den Hundemischlingen kann auf Bekanntheit aus dem Alltag beruhen und nicht auf Zugehörigkeit zur selben Art. Für die Beantwortung der Items spielt möglicherweise nicht das Konzept der biologischen Art, sondern andere Parameter eine Rolle.

Im Nachtest zeigen sich bei den meisten Indikatoren geringfügige, nicht signifikante, Veränderungen. Einzig der Möglichkeit von Nachkommen aus einer Kreuzung von Pferd und Pony stimmen mit 9,2% höchst signifikant mehr Befragte der Versuchsgruppe zu, allerdings ist auch eine signifikante Zunahme bei der Kontrollgruppe zu verzeichnen (vgl. Abb. 11 auf der nächsten Seite).

Die Verteilung der Häufigkeiten des Scores „Vorstellungen zum Artkonzept“, gebildet aus den vier Items E16.1 bis E16.4, sowie die Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) werden zu beiden Messzeitpunkten dargestellt (vgl. Abb. 12 auf Seite 110 und Abb. 13 auf Seite 111). Der Score reicht, da es sich hierbei um dichotome Items handelt, von null bis vier.

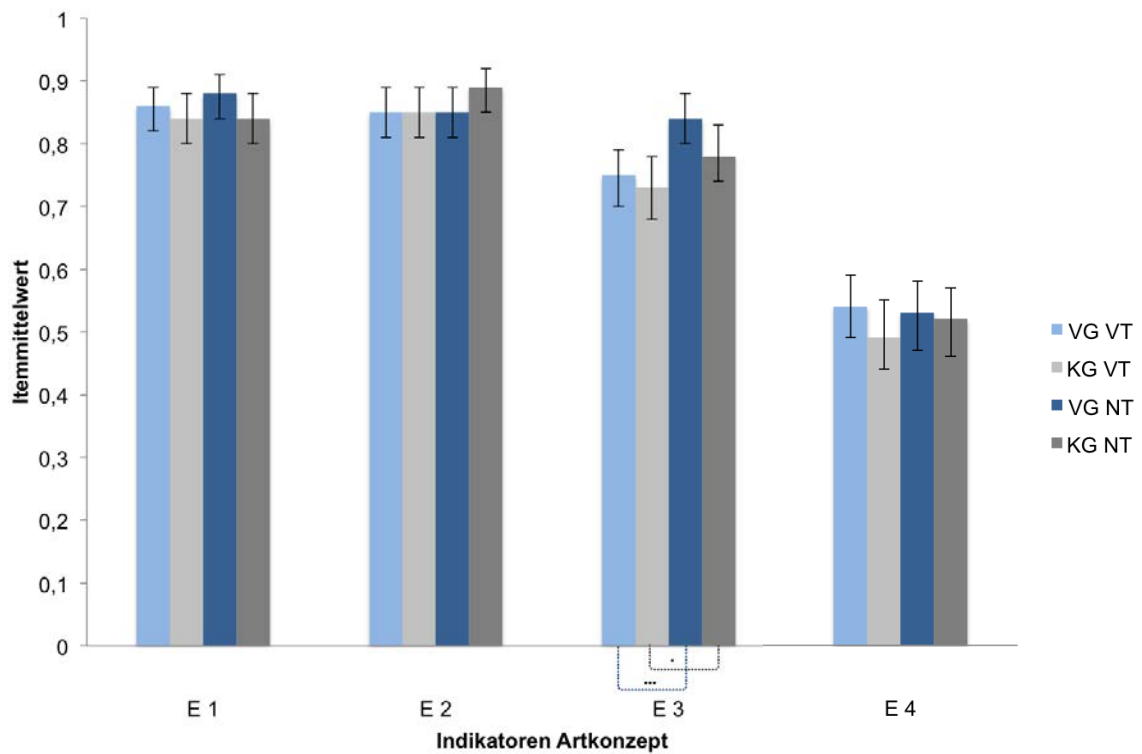


Abbildung 11: Mittelwerte der einzelnen Items der Kategorie „Vorstellungen zum Artkonzept“ der Versuchs- (VG) bzw. Kontrollgruppe (KG) im Vor- (VT) und Nachtest (NT). Signifikante Unterschiede (Chi-Quadrat- bzw. McNemar-Test) sind gekennzeichnet. Fehlerbalken markieren die 95% Konfidenzintervalle.

Tabelle 33: Ergebnisse eines *t*-Tests für unabhängige Stichproben für die „Vorstellungen zum Artkonzept“ in Abhängigkeit von dem Treatment zu beiden Messzeitpunkten.

Messzeitpunkt	t	df	Sig.
Vortest	1,416	695	,157
Nachtest	0,982	696	,326

Die Häufigkeitsverteilung des Scores „Vorstellungen zum Artkonzept“ weist kaum Unterschiede zu beiden Messzeitpunkten und zwischen Versuchs- und Kontrollgruppe auf. Im Mittel werden drei der vier Items richtig beantwortet. Die geringen Mittelwertunterschiede sind nicht signifikant (vgl. Tab. 33 und Tab. 34 auf der nächsten Seite).

Die Indikatoren zu „Vorstellungen zum Artkonzept“ werden zu einem großen Teil auch vor dem Unterricht richtig beantwortet, allerdings lässt das Antwortmuster vermuten, dass die Schüler trotzdem ein fachlich unangemessenes Konzept einer biologischen Art haben. Durch den Unterricht wurde entweder kein besseres Verständnis für das biologische Konzept der Art erreicht oder der Transfer auf die gegebenen Beispiele gelingt den Probanden nicht. Zusätzlich besteht die Möglichkeit eines Deckeneffektes, da drei der Items schon von ei-

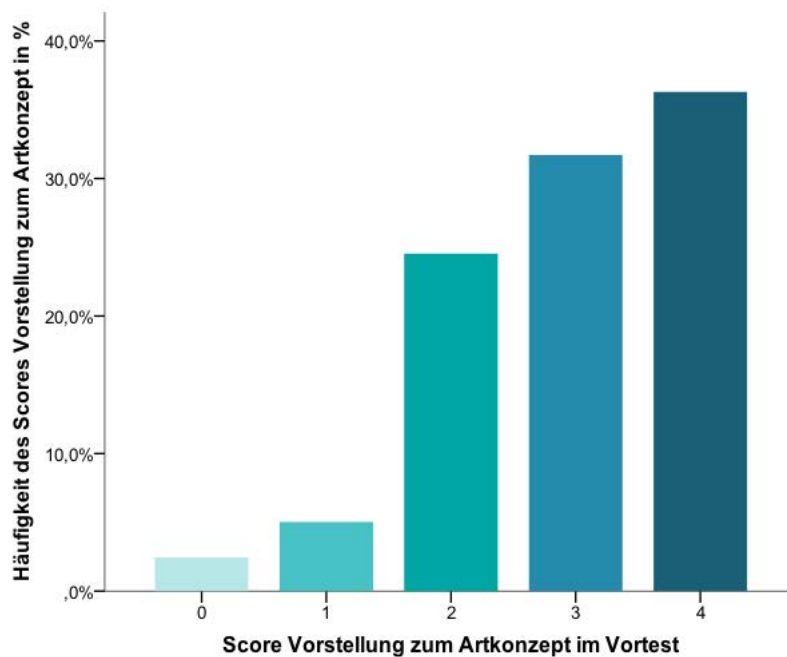


Abbildung 12: Häufigkeiten des Scores „Vorstellungen zum Artkonzept“ der Gesamtgruppe im Vortest. (Versuchsgruppe $n=356$, $M=3,00$, $SD=1,00$; Kontrollgruppe $n=341$, $M=2,89$, $SD=1,03$).

Tabelle 34: Ergebnisse eines t -Tests für abhängige Stichproben für die „Vorstellungen zum Artkonzept“ in Abhängigkeit dem Messzeitpunkt.

Messzeitpunkt	t	df	Sig.
Versuchsgruppe	-1,652	353	,100
Kontrollgruppe	-1,831	330	,068

nem großen Anteil der Stichprobe im Vortest richtig beantwortet wurden und nur eine geringere Steigerung möglich war.

7.5.2 Vorstellung zum Artkonzept in Abhängigkeit von Schulform und Klassenstufe, Geschlecht, Interesse an Biologie und der Glaubensrichtung

Da sich die „Vorstellungen zum Artkonzept“ zu beiden Messzeitpunkten nicht signifikant unterscheiden, erfolgt nur eine Untersuchung der Vorstellungen anhand der Daten des Vortestes (vgl. Tab. 35 auf Seite 112 und Tab. 36 auf Seite 112).

Schüler der Klassenstufe sechs beider Schulformen weisen im Durchschnitt eher eine korrekte „Vorstellung zum Artkonzept“ auf als Schüler der Klassenstufe fünf, allerdings ist dieser Unterschied nur bei Befragten der Gesamtschule statistisch signifikant ($t[143]=-2,51$, $p=,013$, $\eta^2=0,042$).

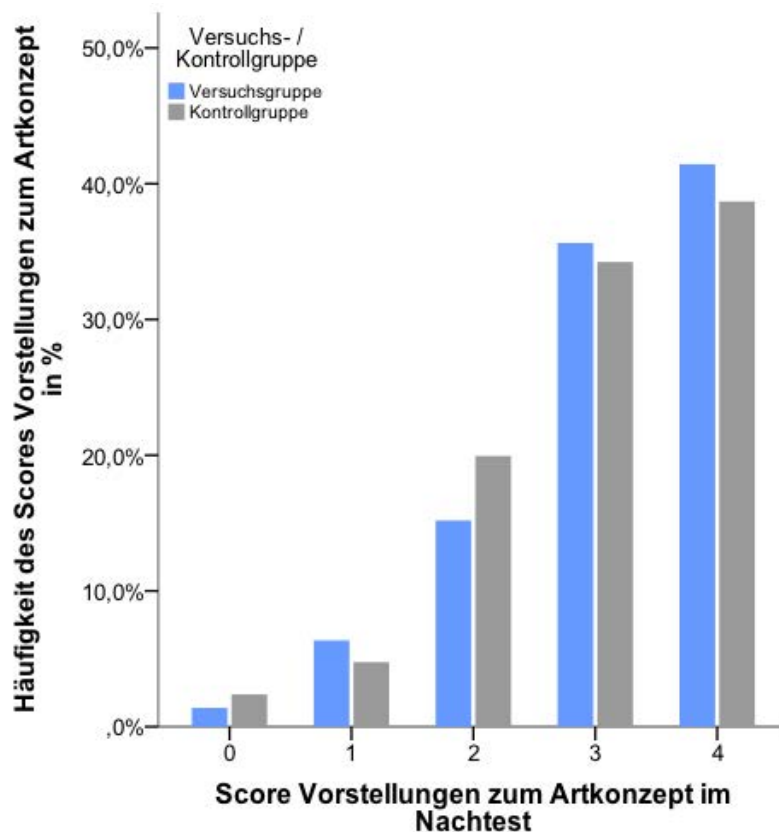


Abbildung 13: Häufigkeiten des Scores „Vorstellungen zum Artkonzept“ von Versuchs- ($n=362$, $M=3,09$, $SD=0,97$, blau) und Kontrollgruppe ($n=336$, $M=3,02$, $SD=1,00$, grau) im Nachtest.

Die Vorstellung zum Konzept „biologische Art“ von weiblichen Probanden ist höchst signifikant fachlich korrekter als die der männlichen Befragten, wobei dieser Effekt als gering einzuordnen ist ($t[693]=3,52$, $p=,000$, $\eta^2=0,018$). Der niedrigste mittlere Summenscore im Hinblick auf ein biologisches Artverständnis tritt bei muslimischen Schülern auf, die sich signifikant mit kleiner Effektstärke von Schülern einer christlichen Konfession (evangelisch-muslimisch: $U=4952$, $z=-3,11$, $p=,002$, $r=-,16$, katholisch-muslimisch: $U=3963$, $z=-3,02$, $p=,003$, $r=-,18$) unterscheiden. Das Interesse an Biologie hat keinen Einfluss ($F[2, 692]=0,022$, $p=,978$) auf die Vorstellungen der Schüler zum Artkonzept.

7.6 VERSTEHEN UND VORSTELLUNGEN ZU EVOLUTIONSMECHANISMEN

7.6.1 Verstehen von Evolutionsmechanismen in Abhängigkeit von der Intervention

Das „Verstehen von Evolution“ wurde mit insgesamt neun Items gemessen. Zur Auswertung wurden die Antwortalternativen künstlich dichotomisiert, wobei die aus evolutionsbiologischer Sicht richtige Antwort mit eins bewertet und

Tabelle 35: Deskriptive Statistik der „Vorstellung zum Artkonzept“ der gesamten Stichprobe im Vortest in Abhängigkeit von Schulform und Klassenstufe

Schulform	Variable	n		M	SD
Gymnasium	Klassenstufe	5	383	2,90	1,05
		6	169	3,04	0,94
Gesamtschule	Klassenstufe	5	42	2,64	0,82
		6	103	3,09	1,02

Tabelle 36: Deskriptive Statistik bzgl. der „Vorstellung zum Artkonzept“ der gesamten Stichprobe im Vortest in Abhängigkeit von dem Geschlecht, dem Interesse an Biologie und der Glaubensrichtung.

Variable		n	M	SD
Geschlecht	weiblich	359	3,08	0,99
	männlich	336	2,81	1,02
Interesse Biologie	hoch	209	2,94	1,01
	mittel	431	2,95	1,01
	gering	55	2,93	1,09
Glaubensrichtung	evangelisch	319	2,99	1,03
	katholisch	254	2,98	1,00
	muslimisch	43	2,51	0,99
	andere	25	3,12	1,09
	keine	54	2,76	0,89

als darwinisch bezeichnet wurde, alle anderen Antwortmöglichkeiten hingegen mit null und als falsch bewertet wurden. Die deskriptive Analyse erfolgt an dieser Stelle eingeschränkt auf den Aspekt fachlich angemessener Antworten und im weiteren Verlauf im Hinblick auf die Analyse der unterschiedlichen „Vorstellungen zu Evolutionsmechanismen“.

Die Beantwortung der Items, die inhaltlich in einem Zusammenhang mit dem Mechanismus von Anpassung stehen, erfolgte in Bezug auf die Häufigkeiten der einzelnen Vorstellungskategorien, unterschiedlich. Der evolutionsbiologisch richtigen Antwortmöglichkeit stimmten die Schüler in einem Bereich von 25,6% (F25) bis 70,3% (F17) zu. Insgesamt vier Indikatoren wurden von mehr als der Hälfte der Befragten richtig beantwortet. Auffallend ist der hohe Anteil darwinischer Antworten bei Item F17, welches thematisch die Vererbung erworbener Merkmale abfragt. Der große Anteil richtiger Antworten kann darin begründet liegen, dass abweichend von den meisten anderen Items hier nach Veränderung über die kurze Zeitspanne einer Generation gefragt wird oder die richtige Antwort, möglicherweise bekannt aus der Alltagserfahrung, eher im Vorstellungsbereich der jüngeren Schüler liegt. Ebenfalls die Zeitspanne einer Generation, allerdings im Kontext der Auswirkung von Mutationen, thematisiert Item F26, wo ebenfalls über die Hälfte (55,4%) der Probanden die richtige Antwort wählten.

Im Nachtest ist, bis auf eine Ausnahme (F21) bei allen Items die Häufigkeit darwinischer Antworten bei der Versuchsgruppe hoch bzw. höchst signifikant größer als bei der Kontrollgruppe und dem Vortest. Der evolutionsbiologisch richtigen Antwortmöglichkeit stimmten die Schüler der Versuchsgruppe in einem Bereich von 34,8 % (F21) bis 84,5 % (F19) zu. Bei insgesamt sieben Indikatoren beantwortete über die Hälfte der Befragten die Aufgabe richtig. Drei Indikatoren (F22, F25, F19) zeigten einen Zuwachs von über 30 % an darwinischen Antworten. Insgesamt entschieden sich die Schüler nach der Unterrichtsintervention deutlich häufiger für richtige Antworten bezüglich des Mechanismus der Evolution. Die Kontrollgruppe zeigte gegenüber dem Vortest bei zwei Aufgaben (F20, F25) signifikante Veränderungen, diese sind aber nicht gleichgerichtet. Bei der Ersten tritt eine Abnahme richtiger Antworten im Nachtest auf, wobei die Veränderungen vom Ausmaß eher als gering einzuordnen sind (vgl. Abb. 14 auf der nächsten Seite).

Die Verteilung des Häufigkeitscores „Verstehen von Evolutionsmechanismen“, errechnet als Summenscore der dichotomisierten Items F17, F18, F19, F20, F22, F24 und F25 sowie die Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) werden zu beiden Messzeitpunkten dargestellt (vgl. 15 auf Seite 115 und 16 auf Seite 117). Eine Kategorisierung der Anzahl richtiger Antworten erfolgte nach einer eigenen Einschätzung, wobei der Score den Wertebereich null (geringes

Verstehen) bis sieben (hohes Verstehen) aufweist (vgl. Tab. 37 auf der nächsten Seite).

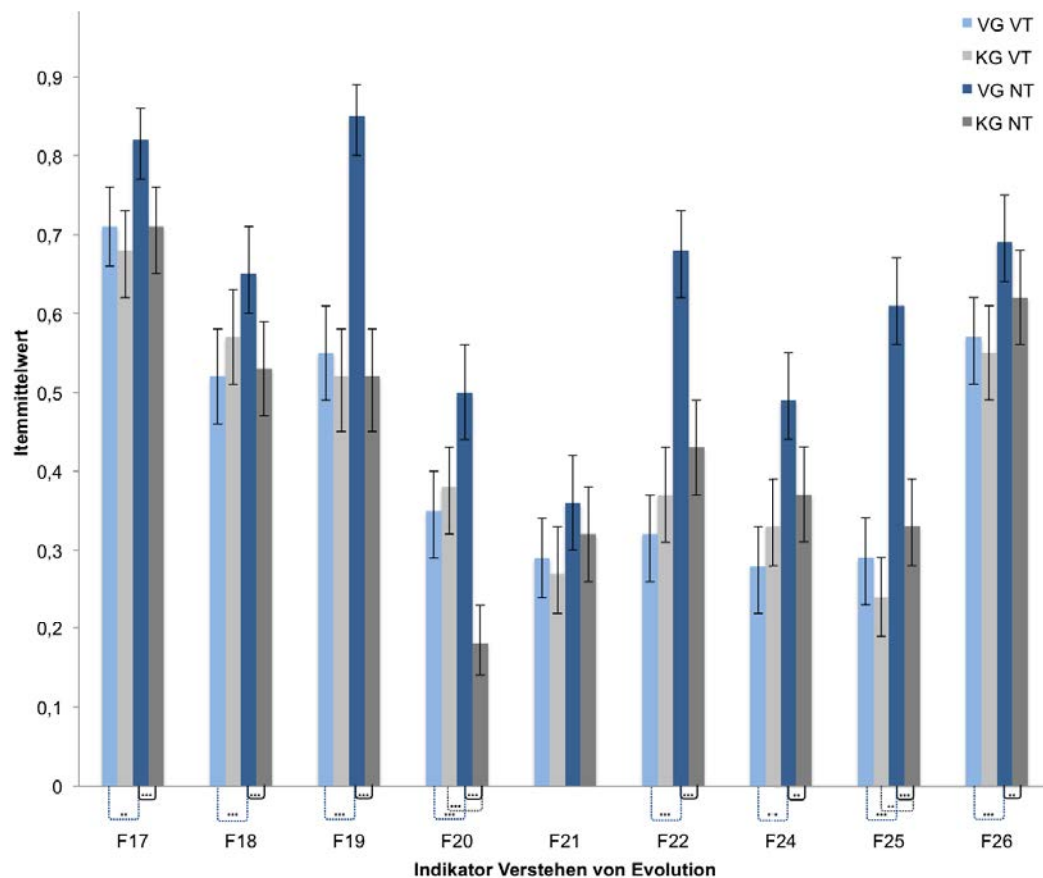


Abbildung 14: Mittelwerte der einzelnen Items der Kategorie „Verstehen von Evolutionsmechanismen“ der Versuchs- (VG) bzw. Kontrollgruppe (KG) im Vor- (VT) und Nachtest (NT). Signifikante Unterschiede (Chi-Quadrat- bzw. McNemar-Test) sind gekennzeichnet. Fehlerbalken markieren die 95% Konfidenzintervalle.

Das „Verstehen von Evolutionsmechanismen“ vor dem Unterricht liegt an der unteren Grenze des als moderat kategorisierten Bereichs, wobei sich Versuchs- und Kontrollgruppe zu diesem Zeitpunkt nicht signifikant unterscheiden. Nach der Unterrichtsintervention tritt ein höchst signifikanter Unterschied ($t[634,00] = -12,51$, $p = ,000$) mit einer großen Effektstärke zwischen den Gruppen auf ($\eta^2 = 0,20$, vgl. Tab. 38 auf der nächsten Seite). Ein Vergleich der beiden Gruppen zu beiden Messzeitpunkten zeigt, dass nur in der Interventionsgruppe höchst signifikante Veränderungen ($t[301] = -15,07$, $p = ,000$) mit großer Effektstärke ($\eta^2 = 0,43$) auftreten, in der Kontrollgruppe hingegen wurden keine signifikante Veränderungen gemessen (vgl. Tab. 39 auf Seite 116). Die Einschätzung des Effekts aufgrund der korrigierten Effektstärke weist ebenfalls mit $d = 1,05$ auf einen großen Effekt hin. Das mittlere „Verstehen von Evolutionsmechanismen“ liegt bei der Versuchsgruppe nach dem Unterricht im oberen moderaten Bereich. Die Ver-

Tabelle 37: Kategorisierung „Verstehen von Evolutionsmechanismen“

Anzahl aus evolutionsbiologischer Sicht richtiger Antworten	Verstehen von Evolutionsmechanismen
6 - 7	hoch
3 - 5	moderat
≤ 2	gering

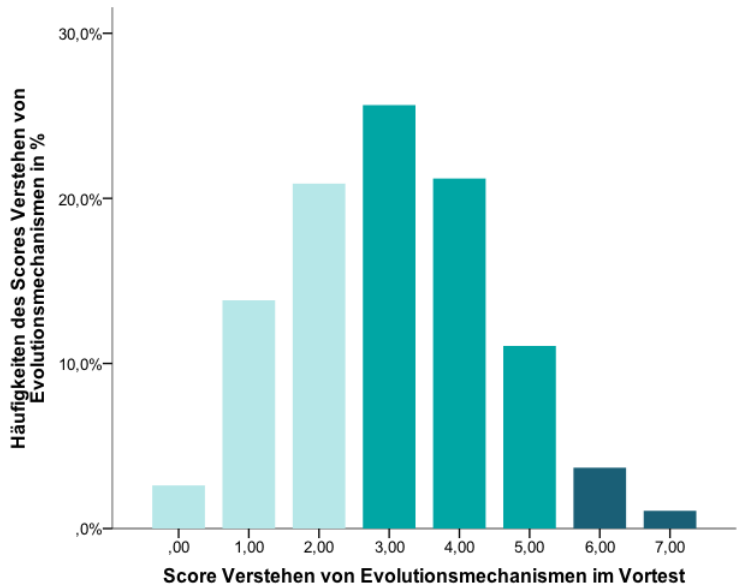


Abbildung 15: Häufigkeiten des Scores „Verstehen von Evolutionsmechanismen“ der Gesamtgruppe im Vortest (Versuchsgruppe $n=333$, $M=2,98$, $SD=1,41$; Kontrollgruppe $n=318$, $M=3,07$, $SD=1,53$).

teilung des Häufigkeitsscores zeigt den Unterschied zwischen beiden Gruppen. Das Maximum des Häufigkeitsscores der Kontrollgruppe liegt bei einem geringen Verstehen, im Vergleich dazu hat sich das Maximum der Versuchsgruppe in den oberen moderateren Bereich verschoben. Ein hohes „Verstehen von Evolutionsmechanismen“ tritt in der Versuchsgruppe häufiger als in der Kontrollgruppe auf.

Tabelle 38: Ergebnisse eines *t*-Tests für unabhängige Stichproben zum „Verstehen von Evolutionsmechanismen“ in Abhängigkeit von dem Treatment zu beiden Messzeitpunkten.

Messzeitpunkt	t	df	Sig.	Effekt η^2
Vortest	-0,84	649	,403	
Nachtest	12,51	634,00	,000	0,198

Tabelle 39: Ergebnisse eines t-Tests für abhängige Stichproben für das „Verstehen von Evolutionsmechanismen“ in Abhängigkeit dem Messzeitpunkt.

Messzeitpunkt	t	df	Sig.	Effekt η^2
Versuchsgruppe	-15,07	301	,000	0,430
Kontrollgruppe	0,56	285	,572	

Tabelle 40: Prozentuale Häufigkeiten der Antwortalternativen von Schülern der Interventions- (VG) und Kontrollgruppe (KG) zu Vererbung von Variation (F24) zu beiden Messzeitpunkten; blau markiert die aus evolutionsbiologischer Sicht richtige Antwortalternative. Signifikante Unterschiede (McNemar/Chi-Quadrat-Test) sind markiert.

Du beobachtest folgende Situation: Am Südpol zeugen ein männlicher Pinguin mit normal dichtem Gefieder und ein weiblicher Pinguin mit sehr dichtem Gefieder ein Junges. Dies hat auch ein sehr dichtes Gefieder. Wie erklärst du diese Situation?

	Vortest VG KG	Nachtest VG KG
Da es am Südpol sehr kalt ist, musste das Junge das dichteste Gefieder erhalten.	28,7% 28,3%	26,3% 32,7%
Da hat das Junge Glück gehabt. Es hätte auch ein nicht so dichtes Gefieder bekommen können.	26,4% 33,0%	46,8% ***/** 34,8%
Weil das Junge sonst erfroren wäre, wuchs das Gefieder stärker.	29,8% 29,2%	16,0% 24,5%
Die Antwort ist anders.	15,2% /* 9,4%	10,9% 8,0%

7.6.2 Vorstellungen zu Evolutionsmechanismen in Abhängigkeit von der Intervention

Die unterschiedlichen Vorstellungen der Schüler sowie Vorstellungsänderungen durch die Unterrichtsintervention werden zunächst durch die deskriptive Analyse der einzelnen Items betrachtet. Es folgt eine Analyse der Verteilung unterschiedlicher Vorstellungen und Konsistenz der Antworten. Als letztes wird die offene Frage des Fragebogens ausgewertet und Erklärungsbestandteile analysiert.

Variation, Vererbung von Variation (F24)

Der Kontext dieser Aufgabe ist der stochastische Prozess der Vererbung, der weder durch die Umwelt, noch die Individuen selbst beeinflusst wird.

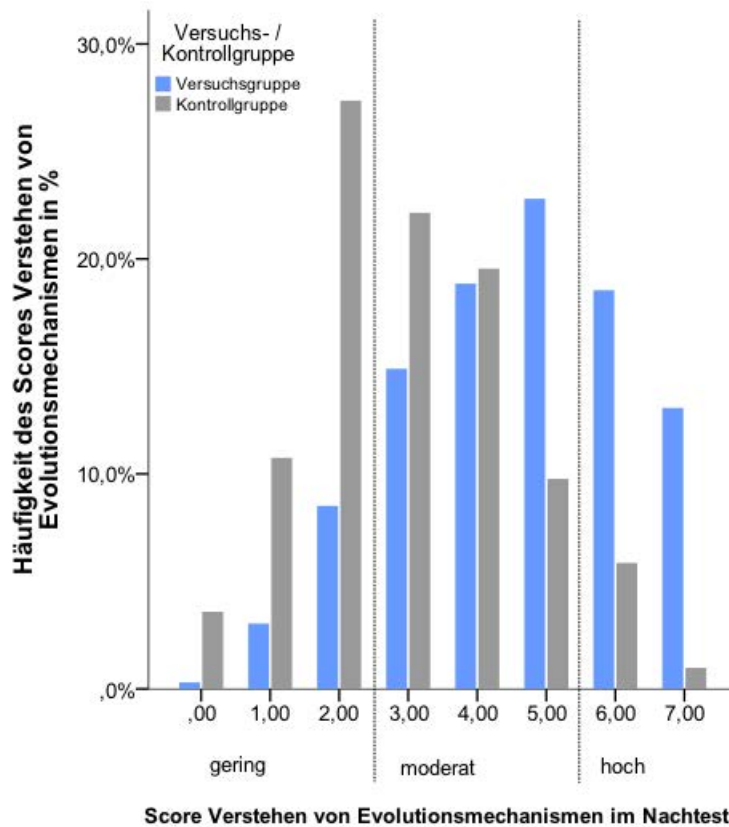


Abbildung 16: Häufigkeiten des Scores „Verstehen von Evolutionsmechanismen“ von Versuchs- ($n=329$, $M=4,57$, $SD=1,63$, blau) und Kontrollgruppe ($n=307$, $M=3,01$, $SD=1,52$, grau) im Nachtest.

Die Probanden stimmen zu fast gleichen Anteilen sowohl der richtigen Antwort als auch den beiden finalistischen Antwortmöglichkeiten zu. Fast ein Drittel der Befragten ist im Vortest der Auffassung, Umweltbedingungen üben einen Zwang auf die Vererbung von Merkmalen aus. Dieser Anteil ändert sich durch die Unterrichtsintervention nicht. Der anderen finalistischen Antwort hingegen, die einen sich auswirkenden Überlebenszwang als Ursache beinhaltet, wird im Nachtest von der Versuchsgruppe höchst signifikant weniger zugestimmt. Damit verbunden ist ein deutlicher, ebenfalls höchst signifikanter, Zuwachs in der Wahl der richtigen Antwort, die von etwas weniger als die Hälfte der Schüler nach der Unterrichtsintervention gegeben wird (vgl. Tab. 40 auf der vorherigen Seite).

Auswirkung von Mutationen (F26)

Die Aufgabe untersucht die Auswirkung von Mutationen auf das Überleben des betroffenen Individuums und geht der häufigen Vorstellung einer ausschließlich nachteiligen Bewertung von Mutationen nach.

Tabelle 41: *Prozentuale Häufigkeiten der Antwortalternativen von Schülern der Interventions- (VG) und Kontrollgruppe (KG) zu Auswirkung von Mutationen (F26) zu beiden Messzeitpunkten; blau markiert die aus evolutionsbiologischer Sicht richtige Antwortalternative. Signifikante Unterschiede (McNemar/Chi-Quadrat-Test) sind markiert.*

Unter den Kindern einer Feldmaus befindet sich eine Maus mit zufällig veränderten Genen.
Was wird mit dieser Maus geschehen?

	Vortest VG KG	Nachtest VG KG
Sie wird auf jeden Fall aufgrund ihrer Veränderung in den Genen früh sterben.	19,7% 25,7%	17,5% 21,2%
Sie könnte trotz oder wegen der Veränderung in den Genen überleben und sogar Nachkommen erzeugen.	56,9% 53,9%	68,7%***/** 58,7%
Sie wird auf jeden Fall überleben, da Veränderungen in den Genen einen Organismus immer stärken. Sie kann Nachkommen zeugen.	21,7% 17,1%	10,2%***/* 16,8%
Die Antwort ist anders.	1,7%	3,6%

Mehr als die Hälfte der jüngeren Schüler stimmten der richtigen Antwort zu, obwohl sie bisher keinen Unterricht zu dem Thema Genetik erhalten haben. Dieser Anteil konnte durch die Intervention höchst signifikant gesteigert werden. Eine immer positive Auswirkung von Mutation wird von fast ebenso vielen Probanden angenommen wie die negative Auswirkung einer plötzlich unvorhersehbaren genetischen Veränderung. Die Auswirkung der Unterrichtsintervention auf diese Sichtweisen ist unterschiedlich. Die erste Vorstellung reduzierte sich auf die Hälften, hingegen ist die negative Bewertung der Mutationen nach dem Unterricht fast unverändert häufig vertreten (vgl. Tab. 41). Die Annahme des sicheren Überlebens eines mutierten Individuums verschiebt sich im Nachtest zu der Ansicht einer Überlebensmöglichkeit.

Vererbung erworbener Eigenschaften: Weismann-Experiment (F17, F18)

Die zwei folgenden Aufgaben fragen nach den Auswirkungen künstlicher Veränderungen von Merkmalen auf die Nachkommen in unterschiedlichen Zeitdimensionen

Ein großer Teil der Probanden wählte im Vortest die fachlich richtige Antwort und lehnte die Vererbung erworbener Merkmale an die nächste Generation ab. Der finalistischen Antwort einer Abnahme der Schwanzlänge bei vorhandener Variation in der nächsten Generation stimmte etwa ein Fünftel der Befragten zu. Der lamarckistischen Vorstellung, dass alle Nachkommen das erworbene Merk-

Tabelle 42: Prozentuale Häufigkeiten der Antwortalternativen von Schülern der Interventions- (VG) und Kontrollgruppe (KG) zu der direkten Vererbung erworbener Merkmale (F17) zu beiden Messzeitpunkten; blau markiert die aus evolutionsbiologischer Sicht richtige Antwortalternative. Signifikante Unterschiede (McNemar/Chi-Quadrat-Test) sind markiert.

Jungen Hunden wurde früher vom Züchter oft der Schwanz abgeschnitten. Wie sehen die Welpen (Kinder) solcher Hunde aus?		Der berühmte Biologie August Weismann machte vor über 100 Jahren ein Experiment. Hierbei schnitt er mehreren Mäusen die Schwänze ab. Wie sehen die Kinder dieser Mäuse aus?	
Vortest	VG KG	Nachtest	VG KG
Die Schwänze sind verschieden lang, aber im Durchschnitt etwas kürzer als bei den Eltern.	19,2% 24,9%	Die Schwänze sind verschieden lang, aber im Durchschnitt etwas kürzer als bei den Eltern.	16,1%/** 27,6%
Die Welpen haben gar keinen Schwanz	7,2% 5,3%	Die Kinder haben gar keinen Schwanz.	1,7%*** 2,6%
Das Abschneiden hat keine Auswirkung. Die Schwänze der Hunde sind etwas unterschiedlich lang, wie bei den Eltern auch.	71,7% 68,9%	Das Abschneiden hat keine Auswirkung. Die Schwänze der Mäuse sind etwas unterschiedlich lang, wie bei den Eltern auch.	80,6%**/** 68,6%
Die Antwort ist anders	1,9% 0,9%	Die Antwort ist anders	1,7% 0,9%

Tabelle 43: Prozentuale Häufigkeiten der Antwortalternativen von Schülern der Interventions- (VG) und Kontrollgruppe (KG) zur Vererbung erworbener Merkmale (F18) zu beiden Messzeitpunkten; blau markiert die aus evolutionsbiologischer Sicht richtige Antwortalternative. Signifikante Unterschiede (McNemar/Chi-Quadrat-Test) sind markiert.

Nehmen wir an, ein Züchter schneidet den Nachkommen dieser Hunde wieder die Schwänze ab und deren Nachkommen auch usw. Dies wiederholt er 20 mal. Wie sehen dann die Kinder dieser Hunde aus?		Nehmen wir an, Herr Weismann schneidet den Nachkommen wieder die Schwänze ab und deren Nachkommen auch usw. Dies wiederholt er 20 mal. Wie sehen dann die Kinder dieser Mäuse aus?	
Vortest	VG KG	Nachtest	VG KG
Die Schwänze sind verschieden lang, aber im Durchschnitt etwas kürzer als bei den Eltern.	23,5% 25,4%	Die Schwänze sind verschieden lang, aber im Durchschnitt etwas kürzer als bei den Eltern.	22,7% 26,2%
Die Welpen haben gar keinen Schwanz	23,0% 17,5%	Die Kinder haben gar keinen Schwanz.	9,7%*** / *** 19,4%
Das Abschneiden hat keine Auswirkung. Die Schwänze der Hunde sind etwas unterschiedlich lang, wie bei den Eltern auch.	52,9% 56,4%	Das Abschneiden hat keine Auswirkung. Die Schwänze der Mäuse sind etwas unterschiedlich lang, wie bei den Eltern auch.	66,6%*** / ** 53,5%
Die Antwort ist anders	0,6% 0,6%	Die Antwort ist anders	1,1% 0,9%

mal aufweisen, wird hierzu im Vergleich von wenigen Schülern zugestimmt (vgl. Tab. 42 auf Seite 119). Die Wiederholung der künstlichen Merkmalsveränderung über mehrere Generationen hat keine Auswirkung auf die Häufigkeit einer finalistischen Erklärung, sehr wohl aber auf die Wahl der anderen. Der Anteil der richtigen Antworten sinkt, hingegen ist die lamarckistische Vorstellung wesentlich häufiger als bei der ersten Aufgabe vertreten. Zum zweiten Messzeitpunkt tritt eine finalistische Vorstellung im Vergleich der beiden Gruppen nur in Bezug auf die einmalige Veränderung der Merkmale höchst signifikant unterschiedlich auf, hingegen sind keine signifikanten Veränderungen innerhalb der Gruppen messbar (vgl. Tab. 43 auf der vorherigen Seite). Nach der Unterrichtsintervention haben richtige Vorstellungen in der Versuchsgruppe in beiden Aufgaben signifikant zugenommen. Gleichzeitig ist damit eine signifikante Abnahme lamarckistischer Vorstellung verbunden.

Anpassung durch natürliche Selektion (F19, F20, F22, F25)

Die vier Aufgaben zur Anpassung durch natürliche Selektion thematisieren Erklärungen der Entstehung einer bei Tieren vorhandenen Angepasstheit in Bezug auf unterschiedliche Merkmale. Die zwei Aufgaben, welche sich auf die Körperfarbe beziehen, enthalten keinen lamarckistischen, sondern zwei finalistische Distraktoren als Antwortalternativen.

Veränderung körperlicher Merkmale (F19)

Die evolutive Entwicklung eines für die Tiere markanten Körperteils, der lange Rüssel der Elefanten bzw. Hals der Giraffen, bildet den Aufgabenkontext.

Vor der Unterrichtintervention haben über die Hälfte der Schüler eine darwinische Vorstellung zur Entwicklung des Elefantenrüssels. Finalistische und lamarckistische Vorstellungen treten zu diesem Zeitpunkt mit gleicher Häufigkeit auf, Schöpfungsvorstellungen hingegen sind geringer verbreitet. Nach der Unterrichtsreihe tritt bei der Versuchsgruppe eine höchst signifikante Zunahme an darwinischen Erklärungen von über 30 % im Vergleich zum Vortest auf. Damit verbunden nehmen alternative Vorstellungen in der Versuchsgruppe höchst signifikant ab. Bei der Kontrollgruppe treten im Vergleich dazu keine signifikanten Veränderungen auf (vgl. Tab. 44 auf der nächsten Seite).

Veränderung des Merkmals Fell- und Körperfarbe (F20, F25)

Im Vortest haben im Kontext „Füchse“ ein Drittel der Befragten eine fachlich richtige Erklärung zur Entwicklung der Fellfärbung. Im Vergleich dazu ist diese bei den Heuschrecken geringer vertreten. Die größte Zustimmung im Fall der Füchse findet die finalistische Erklärung einer Anpassung aufgrund des

Tabelle 44: *Prozentuale Häufigkeiten der Antwortalternativen von Schülern der Interventions- (VG) und Kontrollgruppe (KG) zu der Evolution des Elefantenrüssels bzw. Giraffenhalses (F19) zu beiden Messzeitpunkten; blau markiert die aus evolutionsbiologischer Sicht richtige Antwortalternative. Signifikante Unterschiede (McNemar/Chi-Quadrat-Test) sind markiert.*

Die Vorfahren der Elefanten hatten keinen langen Rüssel. Wie erklärst du die Entstehung des langen Rüssels heute lebender Elefanten?		Die Vorfahren der Giraffen lebten im Wald und hatten kurze Hälsen. Wie erklärst du die Entstehung des langen Halses heute lebender Giraffen?	
Vortest	VG KG	Nachtest	VG KG
Die Vorfahren ohne langen Rüssel starben aus. Danach siedelten dort neu geschaffene Elefanten mit längerem Rüssel.	10,8% 10,6%	Die kurzhalsigen Vorfahren starben aus. Danach siedelten dort neu geschaffene Giraffen.	5,2%*** / *** 10,4%
Die kurzrüsseligen Vorfahren mussten den Rüssel strecken um an die Blätter der Bäume zu gelangen. Durch ständige Streckung wurde der Rüssel länger. Diese Veränderung erbten die Nachkommen.	17,1% 17,7%	Die kurzhalsigen Giraffen mussten den Hals strecken, um an die Blätter der Bäume zu gelangen. Durch ständige Streckung wurde der Hals länger. Diese Veränderung erbten die Nachkommen.	3,4%*** / *** 18,9%
Die Elefanten erkannten, dass sie längere Rüssel für das Überleben brauchten und entwickelten längere Rüssel.	14,6% 15,0%	Die Giraffen erkannten, dass sie längere Hälsen für das Überleben brauchten und entwickelten längere Hälsen.	4,0%*** / *** 16,8%
Die Elefanten hatten unterschiedlich lange Rüssel. Elefanten mit längeren Rüsseln konnten besser die Blätter von hohen Bäumen fressen, wenn es kein Futter am Boden gab. Sie hatten einen Vorteil und pflanzten sich mehr fort.	53,9% 52,5%	Die Giraffen hatten unterschiedlich lange Hälsen. Giraffen mit längeren Hälsen konnten besser die Blätter von hohen Bäumen fressen. Sie hatten einen Vorteil und pflanzten sich mehr fort.	84,5%*** / *** 50,3%
Die Antwort ist anders	3,6% 4,1%	Die Antwort ist anders	2,9% 3,7%

Tabelle 45: Prozentuale Häufigkeiten der Antwortalternativen von Schülern der Interventions- (VG) und Kontrollgruppe (KG) zu der Entwicklung des weißen Fells beim Fuchs bzw. Eisbären (F20) zu beiden Messzeitpunkten; blau markiert die aus evolutionsbiologischer Sicht richtige Antwortalternative. Signifikante Unterschiede (McNemar/Chi-Quadrat-Test) sind markiert.

Früher hatte in Nordeuropa die Hälfte der Füchse weißes Fell, während die andere Hälfte braunes Fell hatte. Heute findet man fast nur noch Füchse mit weißem Fell. Wie lässt sich dies erklären?

Die Vorfahren der Eisbären hatten braunes Fell. Wie lässt sich die Entstehung des weißen Fells der Eisbären erklären?

Vortest	VG KG	Nachtest	VG KG
Die Füchse wollten sich an die Umgebung anpassen, damit sie getarnt sind.	44,3% 45,0%	Die Eisbären wollten sich an die Umgebung anpassen, damit sie getarnt sind.	32,7%*** / *** 63,1%
Füchse mit hellerem Fell konnten besser Beute machen, mehr Nachwuchs versorgen und die Fellfarbe an mehr Kinder vererben.	35,9% 35,7%	Bären mit hellerem Fell konnten besser Beute machen, mehr Nachwuchs versorgen und die Fellfarbe an mehr Kinder vererben.	49,0%*** / *** 18,8%***
Die Füchse erkannten, dass sie weißes Fell zum Überleben brauchten.	10,3% 9,0%	Die Eisbären erkannten, dass sie weißes Fell zum Überleben brauchten.	11,5% 12,8%
Die Antwort ist anders	9,5% 10,2%	Die Antwort ist anders	6,8% 5,4%

Tabelle 46: Prozentuale Häufigkeiten der Antwortalternativen von Schülern der Interventions- (VG) und Kontrollgruppe (KG) zu der Entwicklung grünen bzw. schwarzen Körperfarbe von Heuschrecken bzw. Nachtfaltern (F25) zu beiden Messzeitpunkten; blau markiert die aus evolutionsbiologischer Sicht richtige Antwortalternative. Signifikante Unterschiede (McNemar/Chi-Quadrat-Test) sind markiert.

In einer Gruppe von Heuschrecken ist der Körper der Tiere entweder grün oder hellbraun gefärbt. Dort wo die Heuschrecken leben, haben die Pflanzen normalerweise grüne oder hellbraune Blätter. Vor kurzem hat eine Krankheit die Pflanzen mit hellbraunen Blättern vernichtet. Dies führte dazu, dass es dort viel mehr Heuschrecken mit grünem Körper gibt. Wie erklärst du dir diesen Effekt?		In einer Gruppe von Nachtfaltern ist der Körper der Tiere entweder weißlich hell oder schwarz gefärbt. Dort wo die Nachtfalter leben, haben die Bäume teilweise weiße Flechten auf ihrem Stamm. Vor kurzem hat eine Krankheit viele Flechten vernichtet. Dies führte dazu, dass es dort viel mehr schwarze Nachtfalter gibt. Wie erklärst du dir diesen Effekt?	
Vortest	VG KG	Nachtest	VG KG
Die Heuschrecken passten sich der Veränderung des Lebensraumes an.	52,7%/* 61,3%	Die Nachtfalter passten sich der Veränderung des Lebensraumes an.	26,5%*** /*** 50,3%***
Die Notwendigkeit zum Überleben führte dazu, dass die Heuschrecken ihre Körperfarbe änderten.	16,0% 12,2%	Die Notwendigkeit zum Überleben führte dazu, dass die Nachtfalter ihre Körperfarbe änderten.	10,6%/* 17,5%
Nur die Heuschrecken mit grün gefärbtem Körper entkamen einem Räuber, überlebten und pflanzten sich fort.	27,9% 23,2%	Nur die Nachtfalter mit schwarz gefärbtem Körper entkamen einem Räuber, überlebten und pflanzten sich fort.	60,1%*** /*** 31,3%***
Die Antwort ist anders.	3,4% 3,3%	Die Antwort ist anders.	2,8% 0,9%

Willens der Tiere deutlich weniger Zustimmung als die zweite finalistische Erklärung aufgrund der Erkenntnis einer Anpassungsnotwendigkeit (vgl. Tab. 45 auf Seite 123). Im Vergleich zu anderen Aufgaben ist der Anteil eine andere Antwort sei zutreffend höher, was auf eine Unsicherheit der Befragten in diesem Zusammenhang hin deuten könnte. Die aktive Anpassung der Heuschrecken wurde von über der Hälfte der Probanden als richtige Erklärung angesehen, deutlich geringer wurde die ebenfalls finalistische Erklärung aufgrund einer Notwendigkeit gewählt (vgl. Tab. 46 auf der vorherigen Seite). Im Nachtest sinkt bei beiden Aufgaben die Häufigkeit der im Vortest am häufigsten als richtig angesehenen finalistischen Erklärung höchst signifikant. Ebenfalls höchst signifikant häufiger treten bei der Versuchsgruppe bei beiden Aufgaben fachlich richtige Erklärungen auf, wobei die Zunahme im Falle der Nachtfalter über 30% im Vergleich zum Vortest beträgt. Bemerkenswert sind höchst signifikante Veränderungen darwinischer Antworten im Nachtest der Kontrollgruppe, welche aber bei beiden Aufgaben nicht gleich gerichtet auftreten.

Entwicklung körperlicher Fähigkeiten (F22)

Die Entstehung der Angepasstheit körperlicher Fähigkeiten als Zunahme der Laufgeschwindigkeit bei Geparden bzw. Sprungfähigkeit bei Kängurus bildete den Aufgabenkontext einer weiteren Frage zur Anpassung durch natürliche Selektion.

Im Vortest waren darwinische Vorstellungen zur Erklärung der Anpassung körperlicher Fähigkeiten bei einem Drittel der Schüler vertreten. Bemerkenswert ist hier die im Zusammenhang mit Wildtieren am häufigsten auftretende Vorstellung einer Anpassung durch künstliche Selektion. Die anderen Erklärungen sind mit einer Häufigkeit von weniger als 10% pro Gruppe vertreten. Nach der Unterrichtsintervention bilden darwinische Erklärungen mit einer höchst signifikanten Zunahme von 35% die häufigste Vorstellung der Versuchsgruppe. Die Veränderungen bei allen alternativen Antworten ist bei der Versuchsgruppe zu diesem Zeitpunkt ebenfalls höchst signifikant, allerdings tritt die finalistische Vorstellung einer Anpassung aufgrund von Notwendigkeit ebenfalls häufiger auf (vgl. Tab. 47 auf der nächsten Seite).

Natürliche und künstliche Veränderung von Arten (F21)

Unterschiede zwischen natürlicher und künstlicher Selektion wurden durch die unten dargestellte Aufgabe direkt und allgemein erfragt.

Der Selektion besser angepasster Individuen stimmten etwas mehr als ein Viertel der Probanden im Vortest zu. Über 30% waren allerdings der Ansicht einer zielgerichteten Anpassung, sowohl bei der Züchtung, als auch in der Natur. Diese finalistische Vorstellung nahm bei beiden Gruppen, allerdings bei der

Tabelle 47: Prozentuale Häufigkeiten der Antwortalternativen von Schülern der Interventions- (VG) und Kontrollgruppe (KG) zu der Entwicklung der Laufgeschwindigkeit bzw. Sprungfähigkeit bei Geparden bzw. Kängurus (F22) zu beiden Messzeitpunkten; blau markiert die aus evolutionsbiologischer Sicht richtige Antwortalternative. Signifikante Unterschiede (McNemar/Chi-Quadrat-Test) sind markiert.

Geparden können bis zu 96 km/h laufen, wenn sie Beute jagen. Ihre Vorfahren konnten nur 32 km/h laufen. Wie entwickelte sich die Zunahme der Geschwindigkeit?		Kängurus können heute 12 Meter weit springen. Sie stammen von Tieren ab, die gar nicht springen konnten. Wie entwickelte sich die Fähigkeit große Sprünge zu machen?	
Vortest	VG	Nachtest	VG
	KG		KG
Die Geparden trainierten ihre Laufmuskeln. Die Nachkommen hatten dann kräftigere Muskeln.	7,8% 8,2%	Die Kängurus trainierten ihre Laufmuskeln. Die Nachkommen hatten dann kräftigere Muskeln.	3,1%***/* 7,4%
Geparden wurden gezüchtet. Die Eigenschaft schneller laufen zu können war eine Anpassung an ein Zuchtziel.	53,4% 45,6%	Kängurus wurden gezüchtet. Die Eigenschaft schneller laufen zu können war eine Anpassung an ein Zuchtziel.	17,0%***/** 39,9%
Es war für die Geparden nötig springen zu können, deshalb entwickelte sich diese Eigenschaft.	6,1%/* 7,6%	Es war für die Kängurus nötig springen zu können, deshalb entwickelte sich diese Eigenschaft.	10,3%*** 8,9%
Eine Mutation führte zu höherer Geschwindigkeit. Schnellere Geparden hatten einen Vorteil, sie jagten mehr Beute und vererbten diese Mutation an mehr Nachkommen.	32,1% 35,6%	Eine Mutation führte zu größeren Sprüngen. Springende Kängurus hatten einen Vorteil, sie entkamen eher einem Räuber und vererbten diese Mutation an mehr Nachkommen.	67,9%***/** 41,4%
Die Antwort ist anders	0,6% 2,1%	Die Antwort ist anders	1,7% 2,4%

Tabelle 48: *Prozentuale Häufigkeiten der Antwortalternativen von Schülern der Interventions- (VG) und Kontrollgruppe (KG) zu Artveränderung (F21) zu beiden Messzeitpunkten; blau markiert die aus evolutionsbiologischer Sicht richtige Antwortalternative. Signifikante Unterschiede (McNemar/Chi-Quadrat-Test) sind markiert.*

Die natürliche Veränderung der Arten und die Veränderung der Arten durch Züchtung		
	Vortest VG KG	Nachtest VG KG
Unterscheiden sich nicht, nur nutzen wir manche Arten als Nutztier oder Nutzpflanze.	21,3% 19,0%	14,1% *** 18,4%
Bei beiden erfolgt eine Anpassung an ein vorgegebenes Ziel. Bei der Züchtung durch den Menschen, in der Natur durch Schöpfung.	31,7% 33,1%	41,4% *** 37,1%
Bei der natürlichen Veränderung haben besser an die Umwelt angepasste Lebewesen mehr Nachkommen.	28,5% 27,7%	34,8% 30,2%
Bei der Züchtung haben besser an die Umwelt angepasste Lebewesen mehr Nachkommen.	15,9% 17,5%	6,9% ***/* 12,8%
Die Antwort ist anders.	2,6% 2,7%	2,7% 1,6%

Versuchsgruppe signifikant nach Intervention zu. Der richtigen Antwort wurde zwar ebenfalls häufiger zugestimmt, diese Zunahme ist allerdings geringer und statistisch nicht signifikant (vgl. Tab. 48).

Die Analyse der einzelnen Aufgaben zeigt, dass im Zuge der Unterrichtsintervention fachlich richtige Vorstellungen in der Versuchsgruppe zunehmen. Die Rolle der Zufälligkeit bei der Vererbung und der Charakter von Mutationen als Ursache für Variation werden besser verstanden. Lamarckistische Vorstellungen treten im Kontext der Anpassung durch natürliche Selektion in den Hintergrund. Im Fall des Weismann-Experimentes (F18) über mehrere Generationen kann die relativ häufige lamarckistische Erklärung im Zusammenhang mit der künstlichen Veränderung stehen. Möglicherweise ist die fachlich richtige Erklärung im Zeitrahmen einer Generation den Schülern aufgrund von Alltagserfahrung näher und sie lehnen die Vererbung erworbener Eigenschaften hier ab. Die Zunahme lamarckistischer Antworten scheint in diesem Kontext in einem Zusammenhang mit der Zeit, der Zunahme von Wiederholungen über Generationen, zu stehen. Da im Nachtest bei der Versuchsgruppe finalistische Erklärungen bei allen Aufgaben signifikant geringer als Erklärung gewählt wurden, scheint die Unterrichtsintervention den Abbau finalistischer Vorstellungen zu unterstützen. Die finalistische Vorstellung einer aktiven Anpassung ist bei

Schülern dieser Altersgruppe häufiger vertreten als die ebenfalls finalistische Vorstellung einer notwendigen automatischen Anpassung bzw. anthropomorphen Anpassung aufgrund einer Überlebenserkenntnis. Finalistische Vorstellungen aktiver Anpassung treten nach dem Unterricht zum Thema Anpassung durch Selektion signifikant geringer auf. Allerdings scheint die Vorstellung einer zielgerichteten Anpassung auch nach dem Unterricht noch häufiger vertreten zu sein, wie die Antworten zu dem Vergleich von natürlicher und künstlicher Veränderung der Arten zeigen. Erstaunlich ist, dass die Aufgabe mit den geringsten darwinischen Antworten im Vortest (F25) den höchsten Zuwachs an Zustimmung im Nachtest aufweist. Dies kann darauf hindeuten, dass von den Schülern das Prinzip der Anpassung durch natürliche Selektion transferiert werden kann. Der große Anteil richtiger Antworten bei dem Beispiel der Entwicklung des langen Giraffenhalses hingegen ist unter dem Aspekt der Thematisierung im Unterricht zu betrachten.

Die nachfolgenden Analysen berücksichtigen nur die konstruktrelevanten Items F17, F18, F19, und F22, da diese sowohl darwinische, als auch lamarckistische und finalistische Antwortmöglichkeiten enthielten.

Die Verteilung der Vorstellung beider Gruppen zu Evolutionsmechanismen im Nachtest zeigt, dass nach der Unterrichtsintervention über 75% der Antworten der Versuchsgruppe einer darwinischen Vorstellung entsprechen. Im Vergleich dazu sind in der Kontrollgruppe über die Hälfte der gegebenen Antworten fachlich richtig. Der Anteil an finalistischen und lamarckistischen Antworten ist in der Versuchsgruppe geringer als in der Kontrollgruppe (vgl. Abb. 17 auf Seite 130). Die Mittelwerte der Summenscores beider Gruppen unterscheiden sich in Bezug auf alle drei Vorstellungen höchst signifikant, wobei der Effekt als moderat einzuschätzen ist (vgl. Abb. 18 auf Seite 131 und Tab. 49 auf der nächsten Seite). Die Versuchsgruppe weist im Nachtest bei allen drei Vorstellungsbereichen höchst signifikante Unterschiede im Vergleich der Messzeitpunkte auf. Der Effekt in Bezug auf den Anstieg von darwinischen Vorstellungen ($\eta^2=0,30$) und die Abnahme lamarckistischer Vorstellungen ($\eta^2=0,20$) ist groß. 30% der Varianz der darwinischen Antworten der Versuchsgruppe können bei diesen vier Items durch die Unterrichtsintervention erklärt werden (vgl. Tab. 50 auf der nächsten Seite).

Eine Überprüfung des Antwortverhaltens auf Konsistenz ermöglicht eine Betrachtung unter dem Aspekt der Einheitlichkeit. Vor der Unterrichtsintervention werden die vier Items von nur 33 Schülern einheitlich beantwortet, wovon mit 31 Probanden der größte Teil fachlich angemessene Vorstellungen aufweist. Der Anteil konsistenter Antworten steigt durch den Unterricht so stark an, dass im Nachtest sogar 143 Schüler bei vier Items einheitliche darwinische Vorstellungen aufweisen. Nach dem Unterricht beantworten ebenfalls mehr Schüler

Tabelle 49: *Ergebnisse eines t-Tests für unabhängige Stichproben für den Vergleich der „Vorstellungen zu Evolutionsmechanismen“ von Versuchs- und Kontrollgruppe in Abhängigkeit von dem Treatment zu beiden Messzeitpunkten.*

Messzeitpunkt	Vorstellung	t	df	Sig.	Effekt η^2
Vortest	darwinisch	-0,55	683	,582	
	lamarckistisch	1,14	683	,126	
	finalistisch	2,07	683	,747	
Nachtest	darwinisch	9,72	653	,000	0,126
	lamarckistisch	-6,55	525,84	,000	0,062
	finalistisch	-6,70	653	,000	0,064

Tabelle 50: *Ergebnisse eines t-Tests für abhängige Stichproben für die für „Vorstellung zu Evolutionsmechanismen“ in Abhängigkeit von dem Messzeitpunkt.*

Messzeitpunkt	Vorstellung	t	df	Sig.	Effekt η^2
Versuchsgruppe	darwinisch	-11,85	327	,000	0,300
	lamarckistisch	8,95	327	,000	0,197
	finalistisch	6,33	327	,000	0,109
Kontrollgruppe	darwinisch	-0,44	304	,662	
	lamarckistisch	-0,23	304	,789	
	finalistisch	-0,28	304	,776	

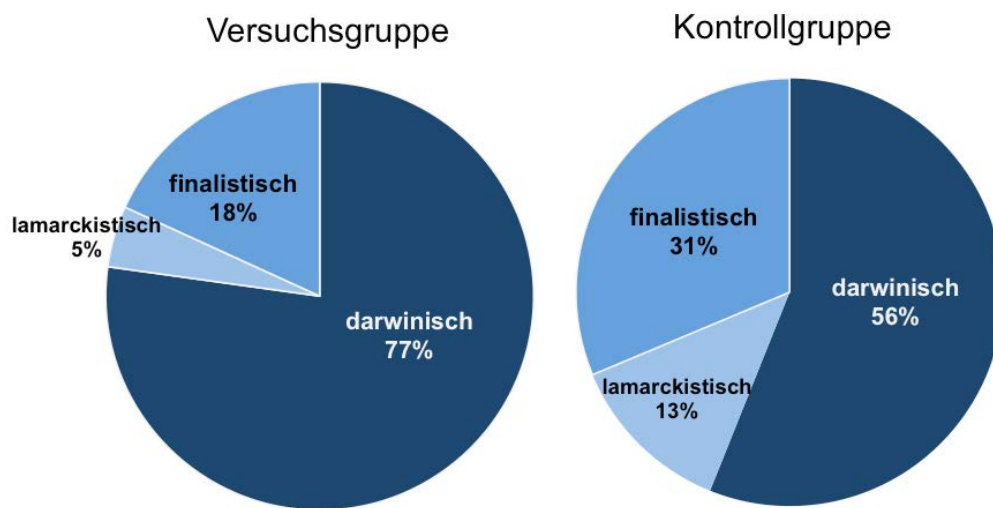


Abbildung 17: Prozentuale Verteilung der Vorstellungen zur Erklärungen der Anpassung einer Kategorie von 4 Items bei Probanden der Versuchsgruppe (n=340, links) und Kontrollgruppe (n=315, rechts) im Nachtest.

zwei bzw. drei Aufgaben konsistent, wobei die Anzahl der Schüler mit einheitlich darwinischen Antworten höher ist als die mit alternativen Vorstellungen.

Allerdings beantworteten 45 Befragte im Nachtest gegenüber 30 Probanden im Vortest die Hälfte der Aufgaben konsistent lamarckistisch. Insgesamt lässt sich folgern, dass konsistente Vorstellungen überwiegend fachlich angemessen sind und durch den Unterricht die Anzahl von Schülern mit konsistenten Vorstellungen gestiegen ist. Die Anzahl an Schülern, welche zur Hälfte einheitlich Antworten gaben, verringerte sich in Bezug auf die finalistischen Antworten drastisch, nahm aber in Bezug auf die lamarckistischen Antworten zu (vgl. Abb. 19 auf Seite 132). Letzteres erstaunt in Anbetracht der gezeigten Verringerung der lamarckistischen Vorstellungen nach dem Unterricht.

Analyse der Erklärungsbestandteile der offenen Fragestellung

Der Fragebogen beinhaltete außer den geschlossenen Fragen zu beiden Testzeitpunkten eine offene Fragestellung, bei der nach der Formulierung einer Erklärung der Entwicklung an die Umgebung farblich angepassten Tieren gefragt wurde. Die Ergebnisse der Auswertung anhand eines mit den Oberkategorien „fachlich richtige“, „fachlich falsche“ und „neutrale“, Erklärungsbestandteile gebildeten Kategoriensystems werden folgend dargestellt. Als „neutrale Erklärungsbestandteile“ werden Teile bezeichnet, die beschreibende nicht aber erklärende Bestandteile, enthalten. Anschließend wird eine kategorisierte Übersicht über die von den Lernenden zur Erklärung verwendeten Vorstellungsbestandteilen aufgeführt und erläutert.

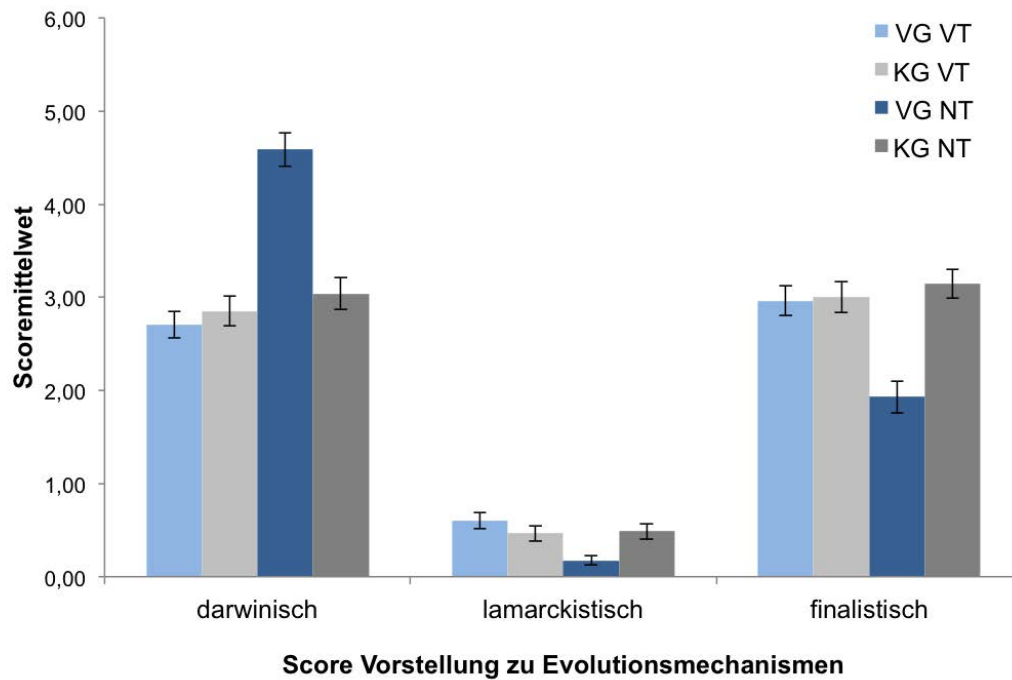


Abbildung 18: Mittelwerte der Scores von „Vorstellungen zu Evolutionsmechanismen“ der Versuchs- (VG) bzw. Kontrollgruppe (KG) im Vor- (VT) und Nachtest (NT).

Insgesamt werden beim Nachtest mit einem Zuwachs von 43% mehr Textstellen ($n=1054$) als beim Vortest ($n=735$) kodiert. Während im Vortest die Anzahl kodierter Stellen zu vergleichbaren Anteilen auf die Treatmentgruppen verteilt sind, treten mit 63% mehr Erklärungsbestandteile bei der Versuchsgruppe im Nachtest auf.

Richtige Erklärungsbestandteile machen mit 46% fast die Hälfte der Erklärungsbestandteile zum zweiten Messzeitpunkt aus. Dieser Zuwachs von 30% ist mit einer gleichzeitigen Abnahme von falschen Erklärungsbestandteilen um 20% bzw. neutrale Beschreibungen um 10% verbunden. Bei der Anzahl an Texten mit kodierten Erklärungen ($n=545$ VT, $n=613$ NT) ist allerdings nur ein Zuwachs von 13% zu verzeichnen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass mehrere Kodierungen pro Erklärung bzw. Text zugeordnet werden können, woraus sich eine Zunahme an Kodierungen pro Text mit der Zeit ergibt (vgl. Tab. 51 auf der nächsten Seite).

Ein Vergleich der Anzahl der kodierten Textstellen bei Versuchs- und Kontrollgruppe zeigt, dass sich diese im Vortest nicht wesentlich voneinander unterscheiden. Der Hauptteil der Kodierung bezieht sich auf Fehlvorstellungen, die jeweils nahezu 30% der Gesamtvorstellungen ausmachen. Der Anteil richtiger Erklärungen hingegen beträgt in beiden Gruppen nur 10% der Erklärungsbestandteile des Vortests. Häufiger treten neutral eingeordnete Textstellen auf, welche beschreibende nicht aber erklärende Bestandteile, enthalten. Im Nach-

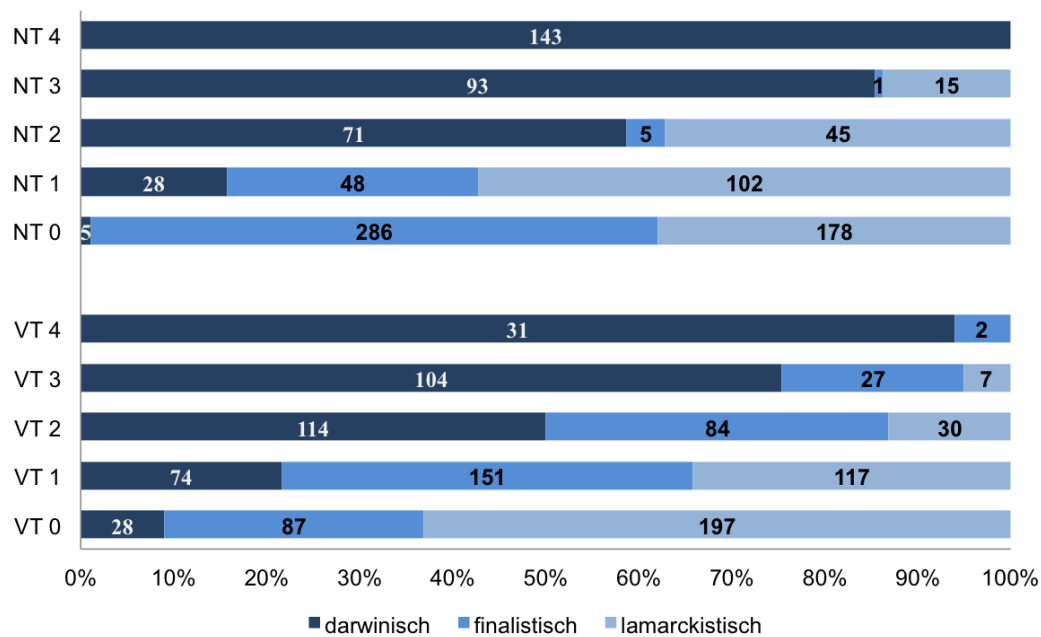


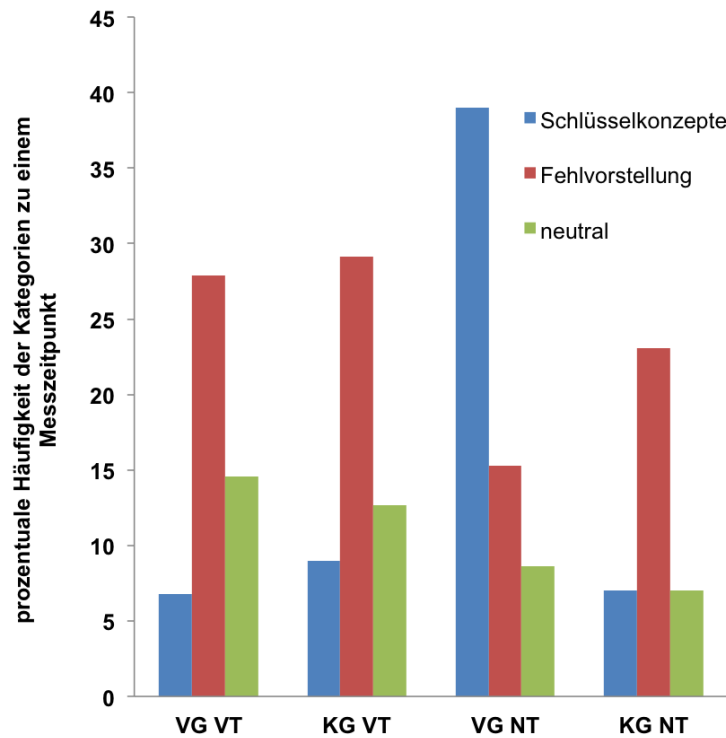
Abbildung 19: Prozentuale Verteilung der Anzahl einheitlich darwinisch, finalistisch und lamarckistisch beantworteter Items der Versuchsgruppe im Vortest (unten) und Nachtest (oben). Zahlenangaben repräsentieren absolute Häufigkeiten an Probanden.

Kategorie	Vortest		Nachtest	
	VG	KG	VG	KG
richtige Konzepte	50	66	411	74
Fehlvorstellung	205	214	161	243
neutral	107	93	91	74

Tabelle 51: Häufigkeit der Kodierungen verschiedener Kategorien der offenen Frage bei Versuchs-(VG) und Kontrollgruppe (KG) zu beiden Messzeitpunkten.

test der Versuchsgruppe ist mit einer Zunahme um 32% bezogen auf alle kodierten Stellen des Messzeitpunktes ein deutlicher Anstieg zu verzeichnen, der mit einer im Umfang von 14% als geringer ausfallenden Verringerung an fachlich falschen Erklärungen einhergeht. Die Kontrollgruppe weist zwar auch ohne Treatment eine Abnahme an Fehlvorstellungen auf, die aber mit einer Abnahme von 7% im Vergleich zu Versuchsgruppe als gering einzustufen ist (vgl. Abb. 20 auf der nächsten Seite).

Die von den Schülern am häufigsten verwendeten fachlich angemessenen Bestandteile zur Erklärung der Entstehung von Farbangepasstheit sind das „selektive Überleben“, die „selektive Fortpflanzung“ und der „Anpassungs- bzw. Tarnungsvorteil“ einiger Individuen oder die Angabe von „Variation“, z.T. durch Präzisierung der Ursache „Mutation“. Diese Erklärungen treten mit einer Häu-



7.6.2.1

Abbildung 20: Prozentuale Verteilung der kodierten Textstellen der offenen Frage des Vortests (VT) und Nachtests (NT) bei Versuchsgruppe (VG) und Kontrollgruppe (KG), prozentuale Angaben beziehen sich auf einen Messzeitpunkt.

figkeit von jeweils über 10% auf und werden als Schlüsselkonzepte angesehen. Häufigstes Schlüsselkonzept mit einem Anteil von über 30% an den gesamten richtigen Erklärungsbestandteilen ist die Angabe „selektiven Überlebens“ (vgl. Tab. 52 auf der nächsten Seite).

Die Bandbreite alternativer Erklärungsbestandteile ist im Vergleich zu den angemessenen Konzepten größer. Als häufigste alternative Vorstellung zur Entstehung der Angepasstheit treten mit jeweils 27% ein „Zwang zur Anpassung“ sowie eine „finalistische Tarnung“ auf, wobei letztere in der Versuchsgruppe seltener vertreten ist. Im Unterschied zu den meisten anderen Fehlvorstellungen, die bei der Interventionsgruppe geringfügig mit der Zeit abnehmen, tritt die Angabe eines Anpassungszwanges häufiger auf. Insgesamt machen die Konzepte „Anpassungsnotwendigkeit“, „Anpassungswille“ und „Anpassungszwang“ mit 27% im Vortest bzw. 36% im Nachtest einen großen Anteil der Fehlvorstellungen aus. Sie charakterisieren insgesamt die verbreitete Vorstellung einer

Tabelle 52: Häufigkeit der Kategorien fachlich richtiger Erklärungsbestandteile der offenen Frage bei Versuchs-(VG) und Kontrollgruppe (KG) zu beiden Messzeitpunkten. Schlüsselkonzepte sind hervorgehoben.

Kategorie	Vortest		Nachtest	
	VG	KG	VG	KG
selektive Fortpflanzung	6	7	69	15
selektives Überleben	12	13	123	21
Tarnungs- Anpassungsvorteil	11	14	39	10
Variation	9	14	46	13
Variation durch Mutation	2	6	69	4
Vererbung	6	10	49	8
Zufall	3	1	4	2
Selektion	0	0	12	1
Umweltänderung	1	1	0	0

Tabelle 53: Häufigkeit der Kategorien fachlich falscher Erklärungsbestandteile der offenen Frage bei Versuchs-(VG) und Kontrollgruppe (KG) zu beiden Messzeitpunkten.

Kategorie	Vortest		Nachtest	
	VG	KG	VG	KG
Mutation	2	0	4	3
lamarckistische Vorstellung	4	1	1	5
finalistische Anpassung	0	0	1	1
aktive Anpassung	14	9	7	10
finalistischer Anpassungsvorteil	17	21	16	25
anthropomorphe Anpassung	14	11	7	11
Anpassungsnotwendigkeit	11	5	5	10
Anpassungswille	12	9	5	15
Anpassungszwang	40	38	57	54
finalistische Tarnung	59	59	30	78
Schöpfung	5	15	1	5
keine Veränderung	1	2	0	0
aktive Tarnung	19	20	11	11
Lebensraum bewirkt direkt Anpassung	4	9	2	7
Nahrung bewirkt Anpassung	3	15	4	8
gezielte Paarung	0	0	10	0

Tabelle 54: Häufigkeit der Kategorien neutraler Erklärungsbestandteile der offenen Frage bei Versuchs-(VG) und Kontrollgruppe (KG) zu beiden Messzeitpunkten.

Kategorie	Vortest		Nachtest	
	VG	KG	VG	KG
Anpassung an Lebensraum	38	39	48	33
Anpassung durch Fortpflanzung	0	0	1	0
Natur	10	6	3	4
Individuelle Anpassung (Chamäleon)	6	4	0	0
Entwicklung über Zeit	18	8	9	9
Tarnung	18	26	9	14
Variation durch Paarung	3	0	4	1
Vererbung	1	1	8	2
Anpassung	6	5	7	7
Entwicklung	7	4	2	4

finalistischen Anpassung, die allerdings auch nach der Unterrichtsreihe noch vertreten ist (vgl. Tab. 53 auf der vorherigen Seite).

Der Anteil an beschreibenden Aussagen nicht kausaler Natur, hat im Vergleich zum Vortest zwar um 18% abgenommen, ist aber anteilig in beiden Interventionsgruppen gleich vertreten (vgl. Tab. 54).

Insgesamt lässt sich die höhere Anzahl an kategorisierten Erklärungsbestandteilen hauptsächlich auf die Zunahme fachlich angemessener Schlüsselkonzepte in der Versuchsgruppe zurückführen. Allerdings fällt auf, dass im Gegenzug der Anteil an alternativen Konzepten in der Versuchsgruppe nicht merklich abnimmt. Eine mögliche Folgerung aus diesen Ergebnissen ist, dass mehr „gemischte“ synthetische Erklärungen mit sowohl richtigen als auch falschen Bestandteilen bei der Interventionsgruppe nach dem Unterricht zur Anpassung durch Selektion auftreten. Eine Analyse der Häufigkeit von Erklärungen mit synthetischen Konzepten zeigt allerdings, dass zumindest aufgrund der Auswertung dieser offenen Frage diese sowohl im Vor- als auch Nachtest gegenüber Erklärungen mit nur fachlichen oder alternativen Konzepten nur gering vertreten sind (vgl. Tab. 55 auf der nächsten Seite).

7.6.3 Verstehen von Evolutionsmechanismen in Abhängigkeit von Schulform und Klassenstufe, Geschlecht, Interesse an Biologie und der Glaubensrichtung

Das Verstehen von Evolutionsmechanismen ist bei älteren Schülern, unabhängig von der Schulform, signifikant höher, wobei der Effekt der Klassenstufe als gering einzuschätzen ist. (Gymnasium $t[515]=-3,01$, $p=,003$, $\eta^2=0,017$, Gesamtschule $t[132]=-3,32$, $p=,001$, $\eta^2=0,077$). Nach der Intervention ist dieser Unter-

Tabelle 55: Häufigkeit verschiedener Konzepte in einer Erklärung. Synthetische Erklärungen enthalten mindestens ein fachliches und ein alternatives Konzept.

	Vortest			Nachtest		
	synthetisch	fachlich	alternativ	synthetisch	fachlich	alternativ
Versuchsgr.	2	29	159	24	155	108
Kontrollgr.	12	25	171	10	25	194

Tabelle 56: Deskriptive Statistik bzgl. des „Verstehens von Evolutionsmechanismen“ der Gesamtgruppe im Vortest und der Versuchsgruppe im Nachtest in Abhängigkeit von Schulform und Klassenstufe.

		Vortest, Gesamtgruppe				Nachtest, Versuchsgruppe		
Schulform	Variable	n	M	SD	n	M	SD	
Gymnasium	Klasse	5	361	2,91	1,44	197	4,84	1,50
		6	156	3,33	1,50	69	4,86	1,54
Gesamtschule	Klasse	5	43	2,40	1,22	20	2,40	0,99
		6	91	3,26	1,50	43	3,88	1,64

schied nur noch bei Probanden der Gesamtschule signifikant ($U=201$, $z=-3,46$, $p=,001$, $r=,44$), Schüler der fünften Jahrgangsstufe haben hier ein unverändertes, im Vergleich zu den anderen Subgruppen geringes „Verständnis von Evolutionsmechanismen“ (vgl. Tab. 56).

Im Fall der Gymnasiasten liegt der fehlende Unterschied im Nachtest daran, dass die Vorstellungsänderung aufgrund der Unterrichtsintervention bei den jüngeren Schülern signifikant höher ist als bei den älteren Schülern ($t[245]=2,03$, $p=,045$, $\eta^2=0,017$). Das Ausmaß weist aber hier nur eine geringe Effektstärke auf. Im Gegensatz dazu ist bei Gesamtschülern die Veränderung bei älteren Schülern zwar größer, aber nicht statistisch signifikant ($U=268$, $z=-1,34$, $p=,180$) (vgl. Tab. 57).

Tabelle 57: Deskriptive Statistik bzgl. der Änderung des „Verstehens von Evolution“ der Versuchsgruppe in Abhängigkeit von Schulform und Klassenstufe

Schulform	Variable	N	ΔM	SD	
Gymnasium	Klasse	5	185	1,96	1,78
		6	62	1,42	1,94
Gesamtschule	Klasse	5	19	0,16	1,54
		6	36	0,78	1,44

Tabelle 58: Deskriptive Statistik bzgl. des „Verstehens von Evolutionsmechanismen“ der Gesamtgruppe im Vortest und der Versuchsgruppe im Nachtest in Abhängigkeit von dem Geschlecht und dem Interesse an Biologie.

		Vortest, Gesamtgruppe			Nachtest, Versuchsgruppe		
	Variable	n	M	SD	n	M	SD
Geschlecht	weiblich	340	3,27	1,43	187	4,57	1,63
	männlich	309	2,74	1,47	141	4,58	1,63
Interesse	hoch	194	2,93	1,56	107	4,87	1,51
Biologie	mittel	413	3,05	1,41	200	4,34	1,66
	gering	42	3,17	1,62	21	5,24	1,51

Tabelle 59: Deskriptive Statistik bzgl. der Änderung des „Verstehens von Evolution“ der Versuchsgruppe in Abhängigkeit von dem Geschlecht und dem Interesse an Biologie.

Schulform	Variable	N	ΔM	SD
Geschlecht	weiblich	170	1,39	1,90
	männlich	131	1,89	1,72
Interesse	hoch	96	2,10	1,55
Biologie	mittel	188	1,26	1,89
	gering	17	2,47	2,00

Die Verstehensleistung weiblicher Schüler ist ohne Unterricht zu dem Thema Evolution signifikant größer als die der männlichen Schüler ($t[647]=4,63$, $p=,000$, $\eta^2=0,032$). Dieser kleine Gendereffekt tritt im Nachtest der Versuchsgruppe nicht auf ($t[326]=-0,81$, $p=,935$), da die männlichen Schüler eine signifikant größere Zunahme des „Verstehens von Evolution“ als die weiblichen aufweisen ($t[246]=2,03$, $p=,045$, $\eta^2=0,017$). Das „Verstehen von Evolution“ ist von Schülern mit hohem Interesse zwar am geringsten, allerdings ist der Unterschied zu Schülern mit geringerem Interesse an Biologie nicht signifikant ($F(2,646)=0,62$, $p=,536$). Nach dem Unterricht unterscheidet sich das Verstehen von Evolution signifikant zwischen Probanden mit hohem und mittlerem Interesse ($U=8845$, $z=-2,54$, $p=,011$, $r=-,15$), hingegen der Unterschied zu dem höheren Verständnis von Probanden mit geringem Interesse nicht (vgl. Tab. 58 und Tab. 59).

Das „Verstehen von Evolution“ unterscheidet sich bei Befragten unterschiedlicher Glaubensrichtung zu beiden Zeitpunkten nicht signifikant (Vortest: $\chi^2(4)=6,24$, $p=,182$, Nachtest: $\chi^2(4)=4,06$, $p=,398$), auch wenn der Scoremittelwert bei Probanden muslimischer Glaubensrichtung am geringsten ausfällt (vgl. Abb. 21 auf der nächsten Seite).

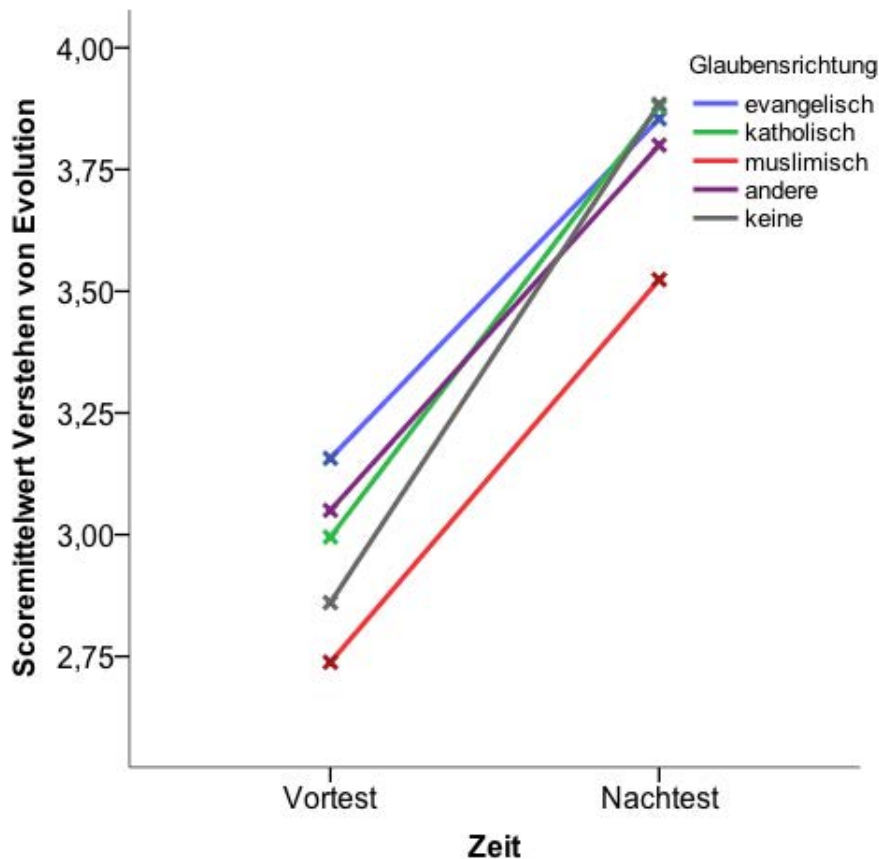


Abbildung 21: Veränderung des Scoremittelwertes „Verstehen von Evolution“ zwischen Vor- und Nachtest in Abhängigkeit von der Glaubensrichtung.

7.7 ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE DER UNTERSUCHTEN SUBGRUPPEN

Bei den Konstrukten „Einstellung zur Evolution“ und „Verstehen von Evolution“ unter den Aspekten „Ablehnung der Vererbung erworbener Merkmale“ und „Verstehen von Evolutionsmechanismen“ treten im Nachtest signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Summenscores der Versuchs- und Kontrollgruppe auf. Dieser Unterschied weist beim Verstehen von Evolutionsmechanismen eine große Effektstärke auf. Die Interventionsgruppen zeigen keine signifikanten Unterschiede im Vortest, so dass von der Untersuchung einer zugrunde liegenden Grundgesamtheit ausgegangen werden kann. Im Nachtest treten bei der Kontrollgruppe ohne Intervention signifikante, aber von dem Effekt her als klein einzuordnende, Veränderungen lediglich bei der „Einstellung zur Evolution“, aber nicht bei dem „Verstehen von Evolution“ auf. Die Veränderungen der Versuchsgruppe sind hingegen signifikant und weisen eine große Effektstärke auf.

Tabelle 60: Mittelwerte der erhobenen Konstrukte der Versuchs- (VG) bzw. Kontrollgruppe (KG) im Vor-(VT) bzw. Nachtest (NT). Signifikante Unterschiede sind unterlegt.

Konstrukt (Anz. Items, Skalenbereich)	Gruppe (n VT/NT)	Vortest M [SD]	Nachtest M [SD]	Sign. abh. p (η^2)	Sign. unab. p (η^2) VT, NT
Einstellung zur Evolution (6, 0-24)	VG (347/355)	17,26 [4,16]	19,24 [3,54]	,000 (0,298)	,585
	KG (332/340)	17,08 [4,47]	17,67 [4,47]	,003 (0,027)	,000 (0,037)
Vererbung erworbener Merkmale (3, 0-12)	VG (360/362)	9,53 [2,15]	10,44 [2,22]	,000 (0,107)	,270
	KG (342/345)	9,70 [2,16]	9,54 [2,44]	,151	,000 (0,036)
Artkonzept (4, 0-4)	VG (356/362)	3,00 [1,00]	3,09 [0,97]	,100	,157
	KG (341/336)	2,89 [1,03]	3,02 [1,00]	,068	,326
Verstehen Evolutions- mechanismen (7, 0-7)	VG (333/329)	2,98 [1,41]	4,57 [1,63]	,000 (0,430)	0,403
	KG (318/307)	3,07 [1,53]	3,01 [1,52]	,572	,000 (0,198)

Am gravierendsten ist die Veränderung beim „Verstehen von Evolutionsmechanismen“, der Faktor Intervention erklärt in diesem Falle 43% der Varianz. Bemerkenswert ist die ebenfalls große Effektstärke bei der Zunahme einer positiven „Einstellung zur Evolution“ bei der Versuchsgruppe. Die „Vorstellung des Artkonzeptes“ weist hingegen sowohl vor als auch nach der Intervention keine signifikanten Unterschiede auf (vgl. Tab. 60).

Unterschiede in der Klassenstufe und somit auch im Alter der Schüler treten bei Schülern der Gesamtschule im Vortest in allen untersuchten Bereichen auf, wobei die älteren Schüler höhere Mittelwerte und somit sowohl eine höhere „Akzeptanz der Evolution“, als auch ein besseres Verständnis aufweisen. Dieser Unterschied tritt bei Schülern des Gymnasiums nur bei der „Ablehnung der Vererbung erworbener Merkmale“ und des „Verstehens von Evolutionsmechanismen“ auf. Die Veränderung ist bei jüngeren Schülern der Gesamtschule aufgrund der Intervention größer als bei älteren Schülern dieser Schulform. Allerdings beruhen die Ergebnisse für die Gesamtschule auf einer im Vergleich zum Gymnasium relativ kleinen Stichprobengröße.

Bei allen Konstrukten treten signifikante Geschlechterunterschiede auf. Weibliche Probanden weisen eine höhere Ablehnung der Vererbung erworbener Merkmale, ein fachlich korrekteres „Artkonzept“ und ein „Verständnis von Evolutionsmechanismen“ auf. Männliche Probanden haben hingegen eine höhere „Akzeptanz der Evolution“ und weisen eine signifikant höhere Zunahme der „Ablehnung der Vererbung erworbener Merkmale“ und ein besseres „Verständnis von Evolutionsmechanismen“ aufgrund der Intervention auf. Der direkte Effekt der Intervention scheint entweder bei männlichen Schülern gene-

rell größer zu sein oder auf dem geringen Verständnis vor der Intervention zu beruhen.

Das Interesse an Biologie scheint sich nicht auf die „Akzeptanz“ und das „Verstehen von Evolution“ auszuwirken. Allerdings weichen die Werte der Probanden mit mittlerem Interesse häufig ab und liegen nicht zwischen den Scoremittelwerten von Schülern mit geringem und hohem Interesse. Möglicherweise stimmen die Selbsteinschätzung der Befragten und ihr Interesse nicht überein. Ein Indiz ist die große Anzahl der Befragten mit mittlerem Interesse an der Biologie. Die Interpretation dieser Ergebnisse ist aus diesem Grunde nicht gesichert.

Christliche Schüler weisen eine höhere „Akzeptanz der Evolution“, eine höhere „Ablehnung der Vererbung erworbener Merkmale“ und ein fachlicheres „Artkonzept“ auf als muslimische Schüler. Allerdings treten diese Unterschiede nicht beim „Verstehen von Evolutionsmechanismen“ auf. Zu berücksichtigen ist allerdings die kleine Stichprobe muslimischer Probanden. Interventionseffekte scheinen nicht glaubensabhängig zu sein. Muslimische Schüler weisen zwar in den meisten Fällen eine geringere „Akzeptanz“ und ein geringeres „Verstehen der Evolution“ auf, die Veränderung durch die Intervention ist aber nicht geringer als bei Schülern anderer Glaubensrichtungen (vgl. Tab. 61 auf der nächsten Seite).

7.8 KAUSALE ZUSAMMENHÄNGE DER KONSTRUKTE „EINSTELLUNG ZUR EVOLUTION“ UND „VERSTEHEN VON EVOLUTION“

Die Ermittlung kausaler Zusammenhänge die „Einstellung zur Evolution“ und das „Verstehen von Evolution“ betreffend, erfolgt durch Korrelationsberechnungen zwischen den Konstrukten sowohl bei der Gesamtgruppe als auch bei unterschiedlichen Subgruppen. Signifikante Korrelationen zwischen den Konstrukten und mit anderen unabhängigen dichotomisierten Variablen bilden nachfolgend die Grundlage für schrittweise multiple Regressionen zur Erstellung von Modellen, bei denen jeweils das „Verstehen von Evolution“ bzw. die „Einstellung zur Evolution“ aufgrund von theoretischen Annahmen, die sich aus dem theoretischen Hintergrund bzw. Stand der Forschung ergeben, die abhängige Variable bildeten.

Das „Verstehen von Evolution“ bei Schülern der Orientierungsstufe steht vor der Intervention nur in einem kleinen bis moderaten, signifikantem positiven Zusammenhang mit der „Ablehnung der Vererbung erworbener Merkmale“, aber weder in einem Zusammenhang mit „Vorstellungen zum Artkonzept“, noch mit „Einstellungen zur Evolution“. Nach dem Unterricht hingegen lassen sich hoch signifikante Zusammenhänge zwischen dem „Verstehen zur Evolu-

Tabelle 61: Übersicht über die Ergebnisse der Mittelwertvergleiche einzelner Konstrukte in Abhängigkeit von Schulform und Klassenstufe, Geschlecht, Interesse an Biologie und der Glaubensrichtung. Signifikante Werte sind unterlegt (n.s. nicht signifikant, VT Vortest, NT Nachtest, GG Gesamtgruppe, VG Versuchsgruppe, KG Kontrollgruppe, m männlich, w weiblich, ev. evangelisch, ka. katholisch, mu. muslimisch, oh. ohne Konfession).

Gruppen	Einstellungen zur Evolution			Vererbung erw. Merkmale		Art-konzept	Verstehen Evolutionsmechanismen	
	VT GG	NT VG	NT KG	VT GG	NT VG	VT GG	VT GG	NT VG
GY Klasse (5, 6)	n.s.	n.s.	n.s.	p=,010 6 > 5	n.s.	n.s.	p=,003 6 > 5	n.s.
GS Klasse (5, 6)	p=,000 6>5	p=,000 6>5	p=,000 6>5	p=,007 6>5	n.s.	p=,013 6>5	p=,001 6>5	p=,001 6>5
Geschlecht (m, w)	p=,015 m>w	n.s.	n.s.	p=,000 w>m	p=,008 w>m	p=,000 w>m	p=,000 w>m	n.s.
Interesse (gering, mittel, hoch)	p=,026 keine Gr.	n.s.	p=,008 hoch>mittel	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	p=,011 hoch>mittel
Konfession (ev., ka. mu., oh.)	p=,000 ev., ka., oh.>mu.	p=,000 ev., ka., oh.>mu.	p=,000 ev., ka., oh.>mu.	p=,023 ev.>mu.	n.s.	p=,005 ev., ka., >mu.	n.s.	n.s.

Tabelle 62: Korrelationen zwischen dem „Verstehen von Evolution“ und der „Einstellung zur Evolution“, der „Ablehnung der Vererbung erworbener Merkmale“ und „Vorstellungen zum Artkonzept“ bei der Gesamtgruppe, sowie gymnasialer Versuchsgruppe (VG) und Kontrollgruppe (KG) im Vergleich beider Testzeitpunkte.

Konstrukte	Sub- gruppen	Vortest		Nachtest		N	Z	p
		r	p	r	p			
Verstehen von	gesamt	,05	,210	,30**	,000	554	-4,74	,000
Evolution / Einstellung	VG	,05	,429	,25**	,000	232	-2,38	,017
zur Evolution	KG	-,01	,851	,16*	,020	208	-2,04	0,41
Verstehen von	gesamt	,26**	,000	,25**	,000	577	0,26	,792
Evolution / Ablehnung	VG	,32**	,000	,25**	,000	243	0,93	,351
erw. Merkmale	KG	,19**	,004	,12	,063	221	0,79	,428
Verstehen von	gesamt	,04	,311	,20**	,000	567	-2,77	,006
Evolution / Artkonzept	VG	,07	,309	,21**	,001	241	-1,72	,085
	KG	,08	,235	,06	,386	215	0,25	,806

tion“ und den jeweils anderen drei Konstrukten nachweisen. Die Stärke des besonders interessierenden Zusammenhanges zwischen dem „Verstehen der Evolution“ und der „Einstellung zur Evolution“ unterscheidet sich signifikant gegenüber dem ersten Messzeitpunkt (vgl. Tab. 62).

Die Zusammenhänge werden detailliert bei Subgruppen in Bezug auf unterschiedliche Schulform, Klassenstufe, Geschlecht, Glaubensrichtung und Interesse an Biologie betrachtet. In keiner dieser Subgruppen tritt bei den Schülern ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem „Verstehen von Evolution“ und der „Einstellung zur Evolution“ vor der Unterrichtsintervention auf. Im Vergleich hierzu ist bei fast allen Schülern unterschiedlicher Subgruppen nach dem Unterricht ein signifikanter positiver Zusammenhang zwischen diesen beiden Konstrukten vorhanden. Lediglich Schüler der Gesamtschule und solche mit einem niedrigen Interesse an Biologie zeigen diesen Zusammenhang nicht. Die Stärke des Zusammenhanges hat zwischen beiden Messzeitpunkten bei Schülern des Gymnasiums, der Klassenstufe 5 und männlichen Befragten signifikant von dem Betrag her mit der Zeit zugenommen. In den meisten Fällen ist der Zusammenhang von der Größe zwar als moderat anzusehen, allerdings weisen Schüler der Klassenstufe 6 einen geringen Zusammenhang zwischen dem Verstehen und der Einstellung zu Evolution auf (vgl. Tab. 63 auf der nächsten Seite).

Befragte der untersuchten Subgruppen, mit Ausnahme der muslimischen Schüler, weisen auch schon vor der Unterrichtsintervention hoch signifikante Zusammenhänge zwischen dem „Verstehen von Evolution“ und der „Ableh-

Tabelle 63: Korrelationen zwischen der „Einstellung zur Evolution“ und dem „Verstehen von Evolution“ bei verschiedenen Subgruppen der Versuchsgruppe im Vergleich beider Testzeitpunkte.

Variable	Sub- gruppen	Vortest		Nachtest		N	Z	p
		r	p	r	p			
Schulform	Gymnasium	,05	,429	,25**	,000	232	-2,38	,017
	Gesamtschule	,23	,100	,17	,213	,53	0,34	,737
Klassenstufe	5	,04	,541	,33**	,000	192	-3,16	,002
	6	,16	,117	,24*	,020	93	-0,16	,543
Geschlecht	weiblich	,14	,07	,26**	,001	162	-1,20	,231
	männlich	,06	,534	,34**	,000	122	-2,63	,009
Glaubensrichtung	christlich	,12	,074	,27**	,000	228	-1,85	,064
	muslimisch	,22	,307	,48*	,018	24	-1,01	,311
Interesse	hoch	,17	,115	,49**	,000	90	-2,84	,005
Biologie	gering	-,09	,745	-,03	,911	17	-0,16	,869

nung der Vererbung erworbener Merkmale“ auf. Diese nehmen allerdings von der Anzahl her über die Zeit ab und sind nur noch bei Schülern des Gymnasiums, der Klassenstufe 5, männlichen Probanden, Befragten christlichen Glaubens und einem hohen Interesse an Biologie nach der Unterrichtsintervention messbar. Die Stärke des Zusammenhangs ist als moderat, bei Schülern der Gesamtschule, der Klassenstufe 6 und einem niedrigen Interessen sogar als groß, einzuordnen (vgl. Tab. 64 auf der nächsten Seite).

Zwischen dem „Verstehen von Evolution“ und einer „Vorstellung bezüglich des Artkonzeptes“ gibt es zum ersten Messzeitpunkt keine, zum zweiten Messzeitpunkt allerdings die meisten signifikanten Zusammenhänge bei einzelnen Subgruppen. Die Stärke dieses Zusammenhanges, die im kleinen bzw. moderaten Bereich liegt, nimmt im Vergleich der beiden Messzeitpunkte signifikant zu (vgl. Tab. 65 auf der nächsten Seite). Eine Ausnahme bilden hier männliche Probanden.

Bei den meisten untersuchten Subgruppen steht das „Verstehen von Evolution“ vor dem Unterricht nur in einem signifikanten Zusammenhang mit der „Ablehnung der Vererbung erworbener Merkmale“. Nach dem Unterricht hingegen lassen sich positive Korrelationen zwischen dem „Verstehen von Evolution“ sowohl mit der „Vorstellung eines biologischen Artkonzeptes“, als auch mit der „Einstellung zur Evolution“ finden. Schüler der Gesamtschule und mit niedrigem Interesse an der Biologie weisen allerdings auch nach dem Unterricht keine signifikanten Beziehungen zwischen diesen drei Konstrukten auf. Die Abnahme an Subgruppen, die nach dem Unterricht einen Zusammenhang

Tabelle 64: Korrelationen zwischen dem „Verstehen von Evolution“ und der „Ablehnung der Vererbung erworbener Merkmale“ bei verschiedenen Subgruppen der Versuchsgruppe im Vergleich beider Testzeitpunkte.

Variable	Subgruppen	Vortest		Nachtest		Vergleich		
		R	p	R	p	N	Z	p
Schulform	Gymnasium	,32**	,000	,25**	,000	243	0,93	,354
	Gesamtschule	,49**	,000	,19	,173	53	1,91	,056
Klassenstufe	5	,31**	,000	,14*	,048	199	1,85	,064
	6	,42**	,000	,31**	,002	97	0,96	,336
Geschlecht	weiblich	,27**	,000	,09	,237	168	1,70	,090
	männlich	,41**	,000	,32**	,000	127	0,84	,399
Glaubensrichtung	christlich	,37**	,000	19**	,003	239	2,25	,025
	muslimisch	,31	,136	-,18	,407	24	1,61	,107
Interesse	hoch	,35**	,000	,30**	,004	94	,045	,649
Biologie	niedrig	,67**	,003	-,07	,803	17	2,35	,019

Tabelle 65: Korrelationen zwischen „Vorstellungen zum Artkonzept“ und dem „Verstehen von Evolution“ bei verschiedenen Subgruppen der Versuchsgruppe im Vergleich beider Testzeitpunkte.

Variable	Subgruppen	Vortest		Nachtest		Vergleich		
		R	p	R	p	N	Z	p
Schulform	Gymnasium	,07	,309	,22**	,001	241	-1,72	,085
	Gesamtschule	-,03	,857	,07	,620	54	-0,52	,603
Klassenstufe	5	,06	,436	,27**	,000	199	-2,22	,027
	6	,02	,833	,19	,059	96	-1,24	,215
Geschlecht	weiblich	-,09	,240	,19*	,013	167	-2,65	,008
	männlich	,18*	,039	,31**	,000	127	-1,09	,275
Glaubensrichtung	christlich	,03	,690	,21**	,001	239	-2,14	,033
	muslimisch	-,20	,368	,53*	,010	23	-2,25	,025
Interesse	hoch	-,04	,726	,27**	,010	93	-2,18	,030
Biologie	niedrig	,15	,574	,08	,747	17	,18	,860

zwischen der „Ablehnung der Vererbung erworbener Merkmale“ und dem „Verstehen von Evolution“ aufweisen, lässt sich möglicherweise dadurch erklären, dass für diese Probanden Evolution nach dem Unterricht in keinem Zusammenhang mit erworbenen Merkmalen steht. Insgesamt lässt sich feststellen, dass durch die Unterrichtsintervention für die meisten Schüler das „Verstehen der Evolution“ im Zusammenhang mit ihrer „Einstellung zur Evolution“ steht, wobei die Unterrichtsreihe nur ersteres thematisierte. Aus diesem Grunde sowie aus theoretischen Überlegungen, wird das „Verstehen von Evolution“ in den nachfolgenden Modellen, bei nachweisbarer signifikanter Korrelation, als unabhängige Variable der „Einstellung zur Evolution“ in Regressionsberechnungen eingefügt.

Das Modell für das „Verstehen der Evolution“ im Vortest der Gesamtgruppe, welches die Ablehnung der „Vererbung erworbener Merkmale“ ($\beta=0,23$, $p<,000$), das Geschlecht ($\beta=0,15$, $p<,000$) und die Klasse ($\beta=-0,13$, $p<,001$) enthält, erklärt 10,6% der Varianz ($F[3,608]=24,03$ $p<,000$) des Verstehens. Für die „Einstellung zur Evolution“ werden durch das Modell 13,7% der Varianz ($F[6,632]=16,73$ $p<,000$) durch die muslimische Glaubensrichtung ($\beta=-0,24$, $p<,000$), die „Ablehnung der Vererbung erworbener Merkmale“ ($\beta=0,17$, $p<,000$), das Geschlecht ($\beta=-0,12$, $p<,001$), ein hohes Interesse an Biologie ($\beta=0,10$, $p<,009$) und die Klassenstufe ($\beta=-0,08$, $p<,028$) erklärt.

Die Ablehnung der „Vererbung erworbener Merkmale“ trägt stärker als die Klassenstufe und das weibliche Geschlecht zum „Verstehen der Evolution“ bei. Das Ablehnen der „Vererbung erworbener Merkmale“, eine höhere Klassenstufe, sowie die Zugehörigkeit zum weiblichen Geschlecht wirkt sich positiv auf das „Verstehen der Evolution“ aus. Den höchsten negativen Beitrag im Hinblick auf eine die Evolution akzeptierenden Einstellung zeigt die Zugehörigkeit zu einer muslimischen Glaubensrichtung. Die „Ablehnung der Vererbung erworbener Merkmale“ wirkt sich positiv auf die „Einstellung zur Evolution“ aus. Die Einstellung der Schüler gegenüber der Evolution wird, im Vergleich zum „Verstehen der Evolution“, von mehreren Faktoren, die jeweils nur geringes Gewicht aufweisen, bestimmt. Insgesamt werden aber etwa nur ein Zehntel der Varianz des Verstehens bzw. der Akzeptanz der Evolution im Vortest durch die untersuchten Parameter geklärt (vgl. Abb. 22 auf der nächsten Seite, Tab. 66 auf der nächsten Seite und Tab. 67 auf Seite 147).

Das Modell für das „Verstehen der Evolution“ im Nachtest der Gesamtgruppe, welches die Teilnahme an der Intervention ($\beta=0,40$, $p<,000$), die Schulform ($\beta=0,17$, $p<,000$), die „Ablehnung der Vererbung erworbener Merkmale“ ($\beta=0,14$, $p<,000$) und das Artkonzept ($\beta=0,13$, $p<,000$) enthält, erklärt 27,0% der Varianz ($F[5,585]=43,37$ $p<,000$) des „Verstehens der Evolution“. In Bezug auf die „Einstellung zur Evolution“ werden durch das Modell,

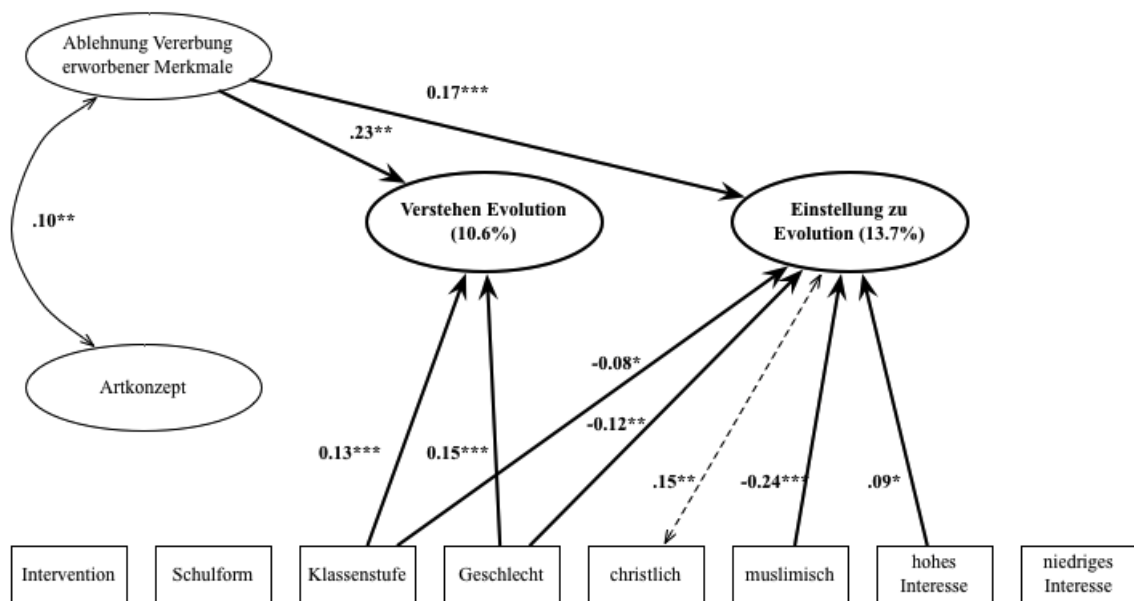


Abbildung 22: Modell der Zusammenhänge zwischen Konstrukten (oval) und unabhängigen Variablen (rechteckig) der Gesamtgruppe im Vortest aufgrund von Korrelationen und multiplen Regressionen. Korrelationen bzw. standardisierte Regressionskoeffizienten und erklärte Varianz sind angegeben (Pfeile entsprechen Regressionen, Doppelpfeile Korrelationen, Einfluss manifester ggf. dichotomisierter Variablen (Klassenstufe 6, weibliches Geschlecht mit eins kodiert) als gestrichelte Linie, Sterne markieren das Signifikanzniveau).

welches das „Verstehen von Evolution“ ($\beta=0,23$, $p<,000$), muslimischer Glaube ($\beta=-0,24$, $p<,000$), die „Ablehnung der Vererbung erworbener Merkmale“ ($\beta=0,14$, $p<,000$) und ein hohes Interesse an Biologie ($\beta=0,09$, $p<,023$) enthält, 19,2% der Varianz ($F[8,582]=17,34$ $p<,000$) erklärt.

Im Nachtest ist der Anteil geklärter Varianz der abhängigen Variablen, vor allem das „Verstehen von Evolution“ betreffend, deutlich angestiegen. Den größten Beitrag in Bezug auf das „Verstehen von Evolution“ macht die Teilnahme an der Unterrichtsintervention aus, welche aber keine direkte Auswirkung auf die Einstellung zur Evolution hat. Der Beitrag von Schulform, „Ablehnung erworbener Merkmale“ und „Vorstellung zum Artkonzept“ zur Varianzerklärung ist um mehr als die Hälfte geringer als der Beitrag der Intervention. Allerdings

Tabelle 66: Multiple Regression des „Verstehens der Evolution“ der Gesamtgruppe im Vortest.

	B	SE B	β	Sig.
(Konstante)	1,12	0,27		,000
Abl. Vererbung erworbener Merkmale	0,16	0,03	0,23	,000
Geschlecht (weiblich)	0,43	0,12	0,15	,000
Klasse (6)	-0,41	0,12	-0,13	,001

Tabelle 67: *Multiple Regression der „Einstellung zur Evolution“ der Gesamtgruppe im Vor-test.*

	B	SE B	β	Sig.
(Konstante)	14,22	0,85		,000
muslimisch	-4,18	0,78	-0,24	,000
Abl. Vererbung erworbener Merkmale	0,33	0,08	0,17	,000
Geschlecht (weiblich)	-1,01	0,32	-0,12	,001
hohes Interesse	0,90	0,34	0,10	,009
Klasse (6)	-0,71	0,32	0,08	,028
christlich	0,17	0,49	0,02	,730

Tabelle 68: *Multiple Regression des „Verstehens der Evolution“ der Gesamtgruppe im Nach-test*

	B	SE B	β	Sig.
(Konstante)	0,69	0,34		,041
Intervention	1,38	0,13	0,39	,000
Schulform (GY)	0,74	0,16	0,17	,000
Abl. Vererbung erworbener Merkmale	0,11	0,03	0,14	,000
Artkonzept	0,23	0,06	0,13	,000
hohes Interesse	0,24	0,14	0,06	,085

ist bei Schülern des Gymnasiums das Verständnis der Evolution aus fachlicher Sicht angemessener als bei Schülern der Gesamtschule. Im Vergleich zum Vor-test stehen weder die Schulform, noch die Klassenstufe in einer Beziehung weder zum „Verstehen der Evolution“ noch zur „Akzeptanz der Evolution“. Den größten Beitrag zur Varianzerklärung der „Einstellung zur Evolution“ leistet neben dem negativen Beitrag des muslimischen Glaubens ein „Verstehen der Evolution“. Die Auswirkung eines besseren Verständnisses der Evolution auf eine höhere Akzeptanz der Evolution tritt als kausale Beziehung nicht im Vor-test der Stichprobe auf und kann im Zusammenhang mit der Auswirkung der Unterrichtsintervention auf das Verstehen der Evolution gesehen werden (vgl. Abb. 23 auf der nächsten Seite, Tab. 68 und Tab. 69 auf Seite 149).

Bezüglich des Nachtests werden nachfolgend Schüler der Versuchs- und Kontrollgruppe miteinander verglichen. Die Analyse wird hierbei auf die Schulform „Gymnasium“ beschränkt, da bei der Schulform „Gesamtschule“ keine signifikanten Korrelationen der Konstrukte untereinander auftraten. Außerdem sollen Verzerrungen aufgrund ungleicher Subgruppengröße die Schulform und Klassenstufe betreffend verhindert werden.

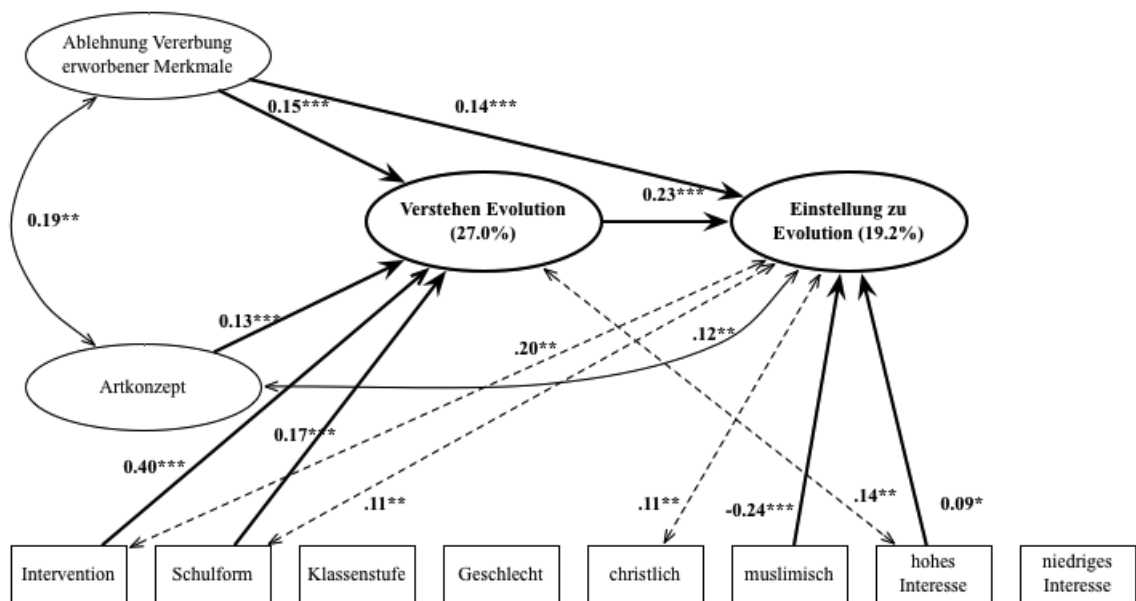


Abbildung 23: Modell der Zusammenhänge zwischen Konstrukten (oval) und unabhängigen Variablen (rechteckig) der Gesamtgruppe im Nachtest aufgrund von Korrelationen und multiplen Regressionen. Korrelationen bzw. standardisierte Regressionskoeffizienten sind angegeben (Pfeile entsprechen Regressionen, Doppelpfeile Korrelationen, Einfluss manifester ggf. dichotomisierter Variablen (Intervention, Gymnasium mit eins kodiert) als gestrichelte Linie, Sterne markieren das Signifikanzniveau).

Das Modell für das „Verstehen der Evolution“ im Nachtest der Versuchsgruppe der gymnasialen Teilstichprobe, welches die Ablehnung der „Vererbung erworbener Merkmale“ ($\beta = 0,24$, $p < ,000$) und das „Artkonzept“ ($\beta = 0,20$, $p < ,001$) enthält, erklärt 10,6% der Varianz ($F[2,244] = 14,45$, $p < ,000$) des Verstehens. In Bezug auf die „Einstellung zur Evolution“ werden durch das Modell, welches das Verstehen von Evolution ($\beta = 0,28$, $p < ,000$), die muslimische Glaubensrichtung ($\beta = -0,23$, $p < ,000$) und die „Ablehnung der Vererbung erworbener Merkmale“ ($\beta = 0,13$, $p < ,037$) enthält, 18,2% der Varianz ($F[4,239] = 13,31$, $p < ,000$) erklärt (vgl. Abb. 24 auf Seite 150). Bei der gymnasialen Kontrollgruppe lässt sich durch Regression nur für die „Einstellung zur Evolution“ ein signifikantes Modell erstellen, welches die „Ablehnung der Vererbung erworbener Eigenschaften“ ($\beta = 0,17$, $p < ,010$), ein hohes Interesse an Biologie ($\beta = 0,04$, $p < ,032$) und das „Verstehen der Evolution“ ($\beta = 0,14$, $p < ,036$) enthält und 9,2% der Varianz ($F[4,221] = 5,61$, $p < ,000$) der „Einstellung zu Evolution“ erklärt (vgl. Abb. 25 auf Seite 151).

Bei der Versuchsgruppen werden 10,6% der Varianz des „Verstehens der Evolution“ durch die „Ablehnung der Vererbung erworbener Merkmale“ und fachliche „Vorstellungen zum Artkonzept“ erklärt, wobei der Anteil beider Konstrukte vergleichbar ist. Im Gegensatz dazu leisten diese beiden Konstrukte keinen

Tabelle 69: *Multiple Regression der „Einstellung zur Evolution“ der Gesamtgruppe im Nachtest.*

	B	SE B	β	Sig.
(Konstante)	13,90	0,90		,000
Verstehen Evolution	0,53	0,10	0,23	,000
muslimisch	-3,95	0,74	-0,24	,000
Abl. Vererbung erworbener Merkmale	0,23	0,07	0,14	,000
hohes Interesse	0,75	0,33	0,09	,023
Intervention	0,57	0,33	0,07	,085
christlich	-0,44	0,47	-0,09	,344
Schulform (GY)	0,24	0,38	0,03	,525
Artkonzept	0,09	0,15	,02	,546

Beitrag zum „Verstehen der Evolution“ der gymnasialen Kontrollgruppe. Die Varianzerklärung der „Einstellung zu Evolution“ ist in der Versuchsgruppe nahezu doppelt so hoch wie in der Kontrollgruppe, wobei bei der Versuchsgruppe der positive Beitrag des Verstehens der Evolution wesentlich größer ist. Ohne Unterricht wirkt sich in geringem, aber signifikantem Maße ein hohes Interesse an der Biologie positiv auf die „Einstellung zur Evolution“ aus. Diese Beziehung tritt in der Versuchsgruppe nicht auf.

Im Nachtest bedingt die Teilnahme an der Intervention ein besseres „Verstehen der Evolution“, deren Varianzaufklärung gegenüber dem Vortest deutlich größer ist. Eine „Ablehnung der Vererbung erworbener Merkmale“ und fachliche „Vorstellungen zum Artkonzept“ leisten in der Versuchsgruppe ebenfalls einen positiven Beitrag zum „Verstehen der Evolution im Nachtest“. Ein besseres „Verstehen der Evolution“ wirkt sich positiv auf die „Einstellung der Evolution“ aus. Dieser Zusammenhang tritt aber nicht in der Kontrollgruppe auf, möglicherweise ist hier das Verständnis zu gering, so dass es in keiner Beziehung zu einer Akzeptanz von Evolution steht.

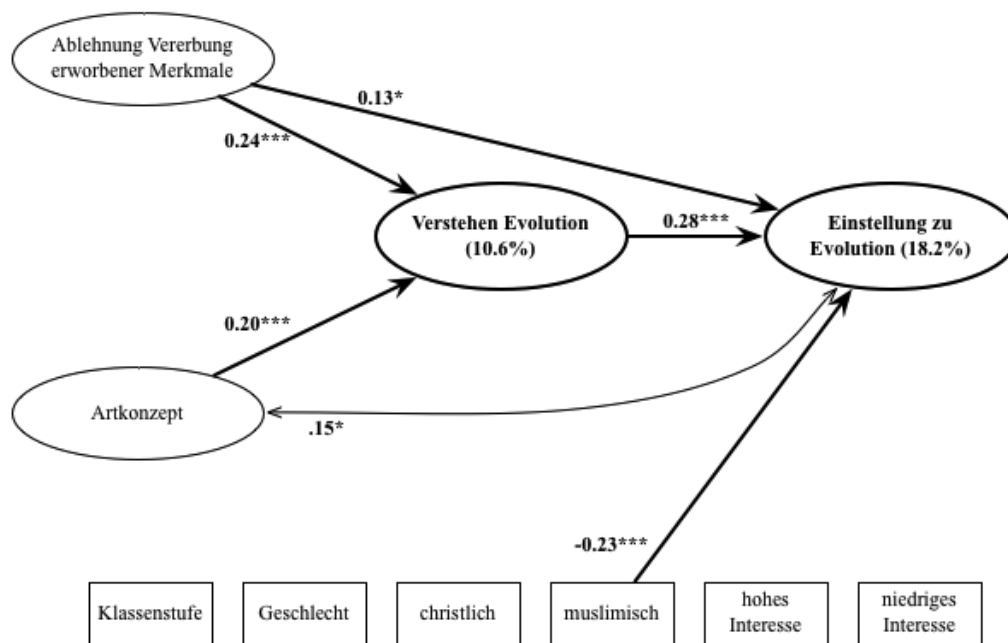


Abbildung 24: Modell der Zusammenhänge zwischen Konstrukten (oval) und unabhängigen Variablen (rechteckig) der gymnasialen Versuchsgruppe im Nachtest aufgrund von Korrelationen und multiplen Regressionen. Korrelationen bzw. standardisierte Regressionskoeffizienten sind angegeben (Pfeile entsprechen Regressionen, Doppelpfeile Korrelationen, Einfluss manifester ggf. dichotomisierter Variablen als gestrichelte Linie, Sterne markieren das Signifikanzniveau).

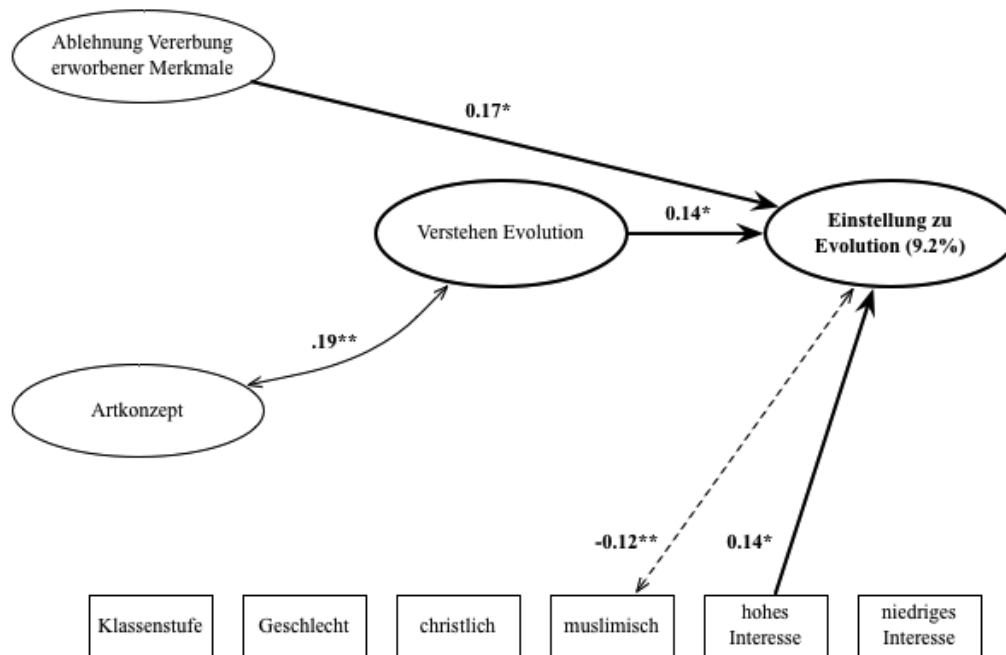


Abbildung 25: Modell der Zusammenhänge zwischen Konstrukten (oval) und unabhängigen Variablen (rechteckig) der gymnasialen Kontrollgruppe im Nachtest aufgrund von Korrelationen und multiplen Regressionen. Korrelationen bzw. standardisierte Regressionskoeffizienten sind angegeben (Pfeile entsprechen Regressionen, Doppelpfeile Korrelationen, Einfluss manifester ggf. dichotomisierter Variablen als gestrichelte Linie, Sterne markieren das Signifikanzniveau).

ERGEBNISSE DER EMPIRISCHEN UNTERSUCHUNG – QUALITATIVE ERHEBUNG

8.1 EINSTELLUNGEN UND VORSTELLUNGEN DER SCHÜLER ZUR EVOLU- TION UND ZU EVOLUTIONSMECHANISMEN ANHAND DER ANALYSE DER EINZELNEN THEMENGEBIETEN DES LEITFADENS

Die Aussagen der Schüler werden folgend in ihrer inhaltlichen Bandbreite und Häufigkeit deskriptiv analysiert. Dabei werden die induktiv erstellten Kodierungen erläutert und ggf. mit Schülerzitaten aus den Interviews verdeutlicht. Angaben in Klammern ohne Prozentangabe beziehen sich auf die Häufigkeit der Nennungen, bei Interviewzitaten auf die Zeilennummern unter Angabe des Probanden.

8.1.1 *Interviews vor dem Unterricht zur Anpassung durch Selektion*

8.1.1.1 *Allgemeine Einstellungen und Interesse am Biologieunterricht*

Von den 27 interviewten Schülern gaben zwei Drittel eine positive Einstellung gegenüber dem Biologieunterricht an, welche häufig als „mögen“ verbalisiert wurde. Als neutral wurde die Einstellung von einem Drittel der Schüler eingeordnet, Angaben wie „so mittel“ und „nicht so mein Lieblingsfach“ traten hier häufig auf. In Bezug auf interessierende Themenbereiche im Biologieunterricht bezogen sich mit 75% die meisten Befragten auf Tiere. Einige der Schüler gaben auch explizit an, Pflanzen nicht so interessant zu finden. Nur einmal wurde Interesse an Themen mit Humanbezug angeführt. Eine Erklärungsmöglichkeit hierfür ist, dass die meisten Lernenden dieser Altersstufe nur tierische und pflanzliche Themen unterscheiden und den Mensch hierbei nicht in Betracht ziehen, was auch mit dem Lehrplan korrespondiert.

Schüler der Jahrgangsstufe 5/6 haben dem Fach Biologie gegenüber eine überwiegend positive Einstellung und führen Interesse vornehmlich Themen mit Bezug zu Tieren an.

8.1.1.2 Wissen und Akzeptanz von Evolution

Fossilien, Belege für Evolution

Die Schüler sortierten die Gegenstände Ammonit, Trilobit, Faustkeil, Löwenfigur, Amethyst, Granit in unterschiedliche Gruppen. Mit 52% bildeten etwas mehr als die Hälfte aus den Gegenständen die drei Gruppen a. Fossilien, b. Mineralien bzw. Steine und c. Artefakte als menschengemachte Objekte. 37% der Lernenden legten zwei Gruppen, wobei hierbei fast alle eine Unterscheidung in „Fossilien“ und „Nicht-Fossilien“ trafen, nur ein Schüler hingegen ordnete die Gegenstände in „natürlich“ und „künstlich“ ein. Drei Schüler (11%) sortierten die Gegenstände anders. Die von den Schülern angegebenen Kriterien zur Sortierung bildeten sechs Kategorien. Insgesamt gaben neun Schüler an, „Merkmale“ vor allem das Aussehen betreffend, wie Muster, Farbe, Form oder Oberfläche, als Kriterium für die vorgenommene Sortierung zu verwenden. *„Man könnte Gruppen nach dem Muster bilden, also z.B. nach den Farben oder nach den Formen z.B. das sind ja so eher normale Steine mit Muster...“* (10-22, S6 V). Dies war die am häufigsten gewählte Kategorisierung. Fünf Schüler entschieden über die Sortierung auf Grundlage einer Einschätzung des „Alters der Gegenstände“. *„Ich würde die Gegenstände nach dem Alter sortieren. Das ist früher von den Dinos glaube ich, so eine Schnecke...“* (9-16, S11 V). Bei jeweils vier Schülern wurde die Einordnung als „Artefakt“ oder „Tier“ als Sortierkriterium verwendet. Dabei wurden als „Artefakt“ solche Aussagen kodiert, die Bezug darauf nahmen, ob die Gegenstände natürlich entstanden sind oder von Menschen angefertigt wurden. *„Als Gruppen solche Fossilien (Ammonit und Trilobit) und hier Steine die von Menschen bearbeitet wurden, weil das (Artefakte) sieht jetzt auch nicht besonders so danach aus wie ein natürlicher Stein...“* (14-16, S4 V). Drei Schüler nahmen eine Zuordnung nach „Fossilien“ und „Kristallen“ vor und ein Schüler traf die Zuordnung nicht aufgrund von gemeinsamen Merkmalen oder möglichen bekannten Gruppen, sondern aufgrund seines „persönlichen Schönheitsempfindens“. Die Lernenden, die durch Sortierung drei Gruppen bildeten, verwendeten nicht alle das gleiche Kriterium. Mit 85% bildete ein Großteil der Schüler bei der Sortierung eine Gruppe mit Fossilien.

Bei der Frage, was Fossilien sind, gaben 70% der Schüler eine Erklärung hierfür an, hingegen gaben 30% der Schüler entweder keine Erklärung oder eine, die in keinem fachlichen Zusammenhang steht. Die gegebenen Erklärungen wurden in vier Kategorien eingeordnet.

Am häufigsten waren die Schüler mit 30% der Meinung, dass Fossilien „versteinerte Überreste von Lebewesen“ sind. *„Fossilien sind versteinerte Gebilde aus der Urzeit, also versteinerte pflanzliche oder tierische Gebilde.“* (26-29, S1 V). Ebenfalls häufig trat mit 22% die Angabe auf, dass es sich bei Fossilien nicht um die versteinerten Lebewesen selbst, sondern um einen „Abdruck in Stein“ handelt.

„Die haben mal gelebt und sind dann gestorben und dann gab es Abdrücke auf den Steinen...“ (14-16, S5V). Somit waren über die Hälfte der Lernenden der Ansicht, Fossilien sind in Stein konservierte Überreste entweder der Lebewesen selbst oder deren Abdrücke, wobei ein Bezug zu einer Konservierung durch Stein angegeben wurde. Die restlichen Erklärungen weisen diesen Bezug hingegen nicht auf. Fünf Befragte sind der Ansicht, es handle sich um „tote Tieren im Schlamm“ oder „Knochen bzw. Überreste von Tieren“. *„Fossilien das sind Tiere, die z.B. im Schlamm stecken geblieben sind und dann da gestorben sind und dann sind die dann da gefunden worden...“* (12-19, S8V) *„Fossilien das sind, wenn man jetzt z.B. irgendwo gräbt und da dann z.B. irgendwelche Knochen findet, die schon man weiß das die schon sehr alt sein müssen“* (26-29, S25V). Diese Erklärungen gehen von Fossilien als unveränderten tierischen Materialien aus, obwohl bei der vorhergehenden Sortierung unter den dargebotenen Gegenstände Versteinerungen waren.

Zusätzlich gegebene Information bezieht sich auf die lange Entstehungszeit von Fossilien und ein entsprechendes Alter, wobei Zeitangaben wie „früher“, „vor ganz vielen Jahren“ oder „Urzeit“ genannt wurden. Der Prozess der Fossilienentstehung wird von vier Schülern genauer durch einen Schichtungsprozess beschrieben. *„Wenn die gestorben sind die Tiere, dann sind die glaube ich nach, also da war ja vielleicht auch noch wenn jetzt Lava oder so, dann sind die in den Boden sozusagen reingewachsen, weil die Lava über die gegangen ist und dann sind die in den Boden eingewachsen und darüber kam dann immer mehr Erdschichten, also Schlamm oder so, und dann findet man die...“* (22-33, S6V). Fast alle Schüler beziehen sich auf tierische Fossilien. Es waren auf Nachfrage hin mit 15% nur relativ wenige Schüler der Auffassung, es gäbe keine Pflanzenfossilien. Tierfossilien werden hier vermutlich eher von den Schülern selbst angeführt, da sie bekannter sind und somit den Schüler wahrscheinlicher schon einmal begegnet sind oder da sie im Interview als Gegenstand selbst verfügbar waren.

Die Sortierung der Gegenstände zeigt, dass die Schüler dieser Altersstufe Fossilien abgrenzen und somit weder als unnatürlich bzw. menschengemacht, noch als einfachen Stein auffassen. Die angegebene Grundlage für eine Sortierung von „Fossilien“, „Artefakten“ und „Mineralien“ kann sich bei Schülern auch bei gleicher Zuordnung unterscheiden. Angegebene Zeitdimensionen sind in diesem Zusammenhang unkonkret und zeigen eine große Bandbreite. Dies ist ein Hinweis darauf, dass die Schüler über Zeiträume der Fossilisation keine genaue Vorstellung haben.

Evolutionsgeschichte

Die Zuordnung der Bildkarten mit sieben verschiedenen Lebewesen zu einer Zeitlinie unter dem Aspekt ihres Auftretens auf der Erde erfolgte von den

Tabelle 70: *Durchschnittliche Position der Lebewesen bezogen auf sieben mögliche Positionen der Zeitlinie.*

Lebewesen	Tyranno- saurus	Meeres- salat	Mammut	Neander- taler	Seestern	Schild- kröte	Tausend füßler
Position	1,9	3,1	3,7	4,2	4,7	4,9	5,3

Schülern in unterschiedlicher Weise. 33% der Befragten legten alle Organismen einzeln in eine Reihenfolge, 67% bildeten mindestens eine Gruppe durch das Zusammenlegen von mindestens zwei Lebewesen, was die Annahme eines zeitgleichen Auftretens impliziert. Hierbei traten am häufigsten eine oder zwei Gruppen auf, drei Gruppen waren eher selten. Mammut und Neandertaler wurden am häufigsten kombiniert, diese Gruppe trat bei der Hälfte der Schüler auf. Nahezu die Hälfte der Befragten (44%) legten die Dinosaurier einzeln als erstes Bild nahe dem Zeitpunkt Null, der Entstehung der Erde, an die Zeitlinie. Viele Schüler gehen somit von einem frühen Auftreten der Dinosaurier in der Erdgeschichte aus. Mit 41% fast ebenso häufig wird die Alge als Vertreter der Pflanzen zeitlich als erstes eingeordnet, wobei in vielen Interviews dann der Dinosaurier zeitlich folgend platziert wurde. Als Position für Mammut und Neandertaler wurde oft in Kombination die Mitte der Zeitlinie gewählt, nur wenige (22%) ordnen die Entstehung der beiden Organismen, und damit auch letztendlich die Entstehung von Menschen, relativ spät in der Geschichte der Evolution ein. Allerdings tritt die Vorstellung einer sehr frühen Entstehung von Menschen selten auf, nur zwei Schüler ordneten den Neandertaler früh und als erstes von den zur Auswahl stehenden Lebewesen ein. Markant ist die Häufigkeit der Annahme einer späten Entstehung des Tausendfüßlers, welcher von 52% der Schüler, einzeln oder in einer Gruppe, als letztes eingeordnet wird. Im Umfeld hierzu werden Seestern und Schildkröte häufig angeordnet. Die ermittelten durchschnittlichen Positionen der einzelnen Lebewesen verdeutlichen die frühe zeitliche Einordnung der Dinosaurier und den Abstand zu dem Auftreten der anderen Lebewesen. Mit relativ großem Abstand werden aquatische Pflanzen eingeordnet. Die Positionen der restlichen fünf Lebewesen sind im Mittel vergleichsweise ähnlich und weisen auf die Annahme eines zeitlichen Auftretens in kürzeren Zeitabständen in der Erdgeschichte hin (vgl. Tab. 70).

Einige Schüler geben Begründungen für ihre Auswahl an. In der Vorstellung der Schüler scheinen die Dinosaurier sehr früh auf der Erde gelebt zu haben, die zeitliche Einordnung erfolgt häufig in der Nähe des Nullpunktes der Zeitlinie. „... der Dinosaurier als erstes, nicht ganz zu Anfang der Erde, aber kurze Zeit später. Dann Mammut und Neandertaler haben zeitgleich gelebt. Danach der ganze Rest.“ (38-45, S27V). Die Schüler haben hier keine konkreten Zeitvorstellungen

über die Erdgeschichte, sie verbinden mit Dinosauriern ein Leben vor langer Zeit. *„Ich habe die Dinosaurier als erstes gelegt, weil manchmal im Film zeigen die, dass Dinosaurier die ersten, ganz früher, vor ich sag jetzt mal 2000 Jahren, gelebt haben. Deswegen denke ich, dass es die ersten sind, weil das ist ja auch schon eine ganz schön lange Zeit.“* (38-47, S7V). Einige Befragte haben die Vorstellung, dass Pflanzen früh entstanden sind bzw. die Entwicklung der Lebewesen im Meer begann und ordnen das Auftreten der Alge als erstes ein. *„... Als erstes gab es noch keine Pflanzen, aber dann gab es erst Bakterien und immer so weiter und dann kamen die Pflanzen...“* (20-25, S3V). Zu dieser Einordnung von Pflanzen kann auch die Kenntnis der Schöpfungsgeschichte führen. *„... Wir haben ja Religion und da haben wir dann gelesen, dass zuerst nur Pflanzen da waren und danach kamen dann die Tiere und Menschen kamen ja erst als allerletztes“* (34-39, S15V). Allerdings wird Wissen, wie die Kenntnis des Meeres als Entstehungsort von Leben, nicht angewandt und trotzdem Dinosaurier als erstes eingeordnet. *„Erst mal gab es die Dinos, aber ich glaube da gab es auch schon Schildkröten... dann Seesterne glaube ich in den Meeren, weil aus den Meeren kam ja alles Leben.“* (30-38, S1V). Viele Schüler ordnen die anderen wasserlebenden Organismen, wie Seesterne und Schildkröte, relativ spät ein. Das Auftreten von wirbellosen Tieren, wie Seesterne und Tausendfüßler wird spät eingeschätzt, was verwundert, da der Seesterne im Vergleich zu den anderen Organismen im Bau relativ einfach erscheint. Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass die Schüler wenig Kenntnis oder Bezug zu diesen Tieren haben und sie aus Unsicherheit als Letztes einordnen. Eine andere Erklärung ist die späte Einordnung von Tieren die heute noch existieren und das frühe Einordnen von Tieren die ausgestorben sind. Insgesamt elf Schüler erklären, ausgestorbene Tiere früh und rezente spät eingeordnet zu haben. *„Als allerstes würde ich den Dinosaurier nehmen (Dinosaurier nahe Nullpunkt), weil die schon vor langer Zeit ausgestorben sind und weil es die heute ja natürlich nicht mehr gibt. Dann würde ich ein Mammut und den Menschen nehmen (Mitte der Zeitlinie) und die Tiere eigentlich ziemlich nach vorne (Richtung heute) tun, weil es die ja auch noch heute gibt und die kann man heute auch noch viel sehen“* (26-33, S2V). Die Gruppierung von Mammut und Neandertaler zeigt, dass viele Kinder Kenntnis über das zeitgleiche Vorkommen der beiden Lebewesen haben. *„... der Neandertaler der hat ja die Mammuts erlegt...“* (36-49, S20V). *„Hier die Steinzeitjäger habe ich, weil wir hatten das ja in Geschichte, dass die dann auch Mammuts gejagt haben.“* (30-37, S23V).

Die meisten Schüler haben die Vorstellung eines sehr frühen Auftretens von entweder Dinosauriern oder Pflanzen. Die Vorstellung der frühen Entstehung der Dinosaurier weist darauf hin, dass die Jugendlichen nicht das Entstehen von Pflanzen vor den Tieren annehmen bzw. keine Vorstellung der Zeitdimensionen haben. Wissen wird, wie das Beispiel der Angabe der Entstehung von Le-

ben im Meer zeigt, nicht zur Anwendung genutzt und einfache wasserlebende Organismen nicht früh eingeordnet. Die Sortierung erfolgt zum Teil aufgrund des Wissens über ausgestorbene bzw. rezente Tiere. Die Distanz zwischen Dinosaurier und Neandertaler lässt die Folgerung zu, dass die Schüler nicht die Vorstellung einer zeitlichen Koexistenz von Dinosaurier und Mensch haben.

Entstehen, Veränderung und Aussterben von Lebewesen

Zeitpunkt der Entstehung von Leben

Werden die Schüler gefragt, ob es auf der Erde Leben geben hat, seitdem diese existiert, so sind nur 33% der Meinung, das Leben ist später als die Erde entstanden. Im Gegensatz dazu vertreten fast doppelt so viele Lernende (60%) die gegensätzliche Position und sind der Auffassung es habe immer Leben auf der Erde gegeben. *„Ich denke es hat schon immer seit dem es die Erde gibt Lebewesen gegeben.“* (18-19, S5V)

Einige Schüler geben weitere Erklärungen, die sich auf die „Bedingungen auf der Erde“, die „Art der ersten Lebewesen“ oder eine „Abfolge im Auftreten von Lebewesen“ beziehen. Acht Schüler bezeichnen die ersten Lebewesen als klein. Diese Angabe tritt aber sowohl bei denjenigen auf, die eine spätere Lebensentstehung annehmen, als auch bei solche welche dies ablehnen. *„Ja es hat meiner Meinung nach immer Lebewesen auf der Erde gegeben, so kleine am Anfang nicht so riesige.“* (22-23, S10V). Manche Schüler benennen diese kleinen ersten Organismen genauer als Bakterien. *„Es hat nicht ganz immer Leben auf der Erde gegeben. Am Anfang ist die Erde entstanden, da war die noch ganz aus Wasser und ganz dunkel und da konnte es noch kein Leben geben, da lebte noch nichts drauf. Dann hinterher kamen die ersten Bakterien, dann haben sie sich immer mehr vergrößert, zu Fischen, dann sind die auch hinterher an Land gegangen. Und wir sozusagen sind eigentlich noch ziemlich junge Lebewesen, die Menschen.“* (20-21, S18V). In Kombination mit der Ablehnung, dass es immer Leben auf der Erde gegeben hat, wird bei vier der Befragten erklärend beschrieben, dass Bedingungen auf der Erde zu Anfang „lebensfeindlich“ waren, wobei Bezug zu Vulkanausbrüchen, Luftzusammensetzung oder Temperatur genommen wird. Die Entwicklung verschiedener Lebewesen beschreiben drei Befragte als Entwicklung von Bakterien vom Meer ausgehend über einen „Wasser-Land-Übergang“ zu landlebenden Tieren bzw. dem Menschen.

Meist fehlende Angaben darüber, wie die ersten Lebewesen entstanden sein könnten, deuten darauf hin, dass die Schüler keine etablierte Vorstellung hierzu haben. Ein Hinweis hierauf ist die Beschreibung, dass Bakterien sich einfach gebildet haben. *„Es waren ja irgendwann die Einzeller am Meer die haben sich wahrscheinlich irgendwie gebildet. Aber das so etwas eigentlich passiert ist, das war*

einfach nur ein Glücksfall würde ich sagen. Ja, ich würde sagen Zufall.“ (64-67, S4V). Vier Schüler gehen in ihren Erklärungen auf die Entstehung von Lebewesen aus unbelebter Materie ein, die Angaben hierzu sind allerdings sehr uneinheitlich und beziehen sich auf Wärme, Nährstoffe oder Säuren. Schüler mit der Vorstellung der Existenz von Leben seit der Entstehung der Erde geben meistens vergleichsweise kurze Antworten ohne weitere Erklärungen. Eine Antwort deutet darauf hin, dass dieser Schüler die Vorstellung hat, es habe schon immer Leben in sehr kleiner, bakterienartiger Form gegeben, diese aber vielleicht versteckt vorkamen. Aus diesen kleinen Formen haben sich dann komplexere Formen entwickelt. *„Ja, ich denke mal es gab schon immer irgendwas, auch wenn es nur ganz klein ist, was man nicht sehen kann, was irgendwo her in der Luft ist oder irgendwo her schwimmt.“ (22-23, S10V)*

Fast zwei Drittel der Schüler haben die Vorstellung, Leben existiert, seit dem es die Erde gibt. Die Vorstellung von der späteren Entstehung von Leben kann mit dem Wissen von „lebensfeindlichen Bedingungen“ verbunden sein. Vorstellung einer Entwicklung von Leben, ausgehend von kleinen Bakterien im Wasser bis hin zu landlebenden Wirbeltieren, tritt allerdings nicht nur in Kombination mit der Ablehnung einer Vorstellung von Leben auf unserem Planeten seit dessen Entstehung auf. Das heißt, die Ablehnung der späteren Entstehung von Leben tritt nicht zwingend mit einer Ablehnung von Evolution auf, sie scheint das Problem der Entstehung von Leben, welches vielleicht für diese jungen Schüler nicht erklärbar ist, zu verschieben. Dahinter könnten sich einfache Schöpfungsvorstellungen, einmalige Erschaffung von Leben und Erde und anschließende evolutive Veränderung verbergen, dies ist aber nicht durch die Aussagen belegbar. Eine Alternative ist, dass die Schüler sich bisher mit der Entstehung von Leben nicht beschäftigt haben und aus diesem Grunde auch hierzu keine näheren Angaben machen können, vor allem wenn sie dies nicht mit entsprechendem Wissen verknüpfen können.

Veränderung von Lebewesen im Laufe der Erdgeschichte

Der überwiegende Teil der Schüler (81%) ist der Auffassung, Lebewesen haben sich im Laufe der Erdgeschichte verändert und akzeptiert somit die Tatsache der Evolution. Im Zusammenhang mit der Zustimmung werden in einigen Fällen Entwicklung oder Anpassung genannt. *„Lebewesen verändern sich mit der Zeit, die entwickeln sich“ (24-25, S8V).* Nur ein Schüler lehnt die Veränderung mehr oder weniger ab und ist der Ansicht, dass sich die Lebewesen nur geringfügig geändert haben. Dies deutet auf eine Vorstellung der Konstanz von Arten hin. Bei drei Schülern lässt sich nicht eindeutig zuordnen, ob die Schüler die Vorstellung einer Veränderung von Lebewesen haben. Die Aussagen wurden als „unklare Akzeptanz von Evolution“ kodiert, da sie die Verschiedenheit von

Tieren heute im Vergleich zu den von früher mit dem Aussterben von Tieren erklären. „... das sind nicht die gleichen Tiere die wir heute auch noch haben, es gab noch andere Tiere wie Dinosaurier die sind ausgestorben.“ (20-21, S5V). Selten differenzieren die Schüler in ihrer Aussage weiter. Acht Schüler geben Beispiele für ausgestorbene oder veränderte Lebewesen an. Hierbei werden häufig als Lebewesen Dinosaurier, aber auch Mammuts, Säbelzahn tiger und der Mensch angeführt. „Nicht alle Lebewesen sahen so aus wie heute. Ich würde sagen Mammuts gab es ja und die sehen nicht so aus wie Elefanten, nicht so ganz, weil die hatten ja Fell und die Elefanten haben ja nicht so großes Fell nur Haut.“ (36-39, S9V) „Die Arten sehen nicht immer aus wie früher, ich denke die verändern sich auch, weil der Mensch war früher ja eigentlich noch ein Affenwesen und überall behaart und jetzt sind wir fast gar nicht behaart.“ (67-68, S1V)

Die Schüler zeigen eine hohe Akzeptanz der evolutiven Veränderung von Lebewesen, die vermutlich aus vorunterrichtlichem Wissen entstammt. Dies lässt darauf schließen, dass die Schüler keine grundsätzlichen Essentialisten sind und kann eine Grundlage für den weiteren Unterricht zu dem Themenbereich Evolution bieten. Als Beispiele werden Lebewesen genannt, die den Schülern dieser Altersstufe bekannt sind. Dieses zeigen auch die Antworten in Bezug auf das Aussterben von Lebewesen und der zeitlichen Einordnung von Lebewesen nach ihrem Auftreten auf der Erde.

Aussterben von Lebewesen

Fast alle Schüler stimmen der Aussage zu, es habe in früheren Zeiten Lebewesen gegeben, die es heute nicht mehr gibt und akzeptieren folglich ein Aussterben von Arten. Nur ein Schüler stimmt aufgrund von Nichtwissen nicht zu. Die meisten Schüler (93%) führen in diesem Zusammenhang mindestens ein Beispiel für ein ausgestorbenes Lebewesen an, wobei mit 66% am häufigsten Dinosaurier genannt werden. Achtzehn Schüler nennen hierbei nur ein Beispiel und fast die Hälfte der Schüler mit mehreren Beispielen gibt die Kombination von Dinosauriern und Mammuts an. Die Variation an angegebenen Gründen für das Aussterben von Lebewesen ist größer als die angeführten Beispiele von Organismen, wobei mit 37% als häufigster Grund eine Umweltkatastrophe, welche in Kombination mit Dinosauriern angeführt wird, genannt wird. In die Kategorie „Umweltkatastrophe“ werden Meteoriten- bzw. Kometeneinschlag oder ein Vulkanausbruch zusammengefasst. Die Erklärungen sind unterschiedlich sowohl in Qualität als auch in ihrer Ausführlichkeit. „... die sind dann ausgestorben ich glaube durch einen Vulkanausbruch da hat es irgendwie Asche geregnet, da sind die erstickt und dann haben da noch welche auf anderen Kontinenten überlebt, Krokodile, die haben sich dann aber etwas verändert und die leben ja heute auch noch.“ (24-27, S23V) „Ich glaube da war im Weltall ein Meteorit und der hat die Erde verdunkelt von

der Sonne, also konnte da auch nichts mehr wachsen. Es war dunkel und kalt und ja die Pflanzenfresser haben keine Pflanzen mehr gefunden.“ (26-29, S24V). Die anderen Erklärungen können fünf Kategorien zugeordnet werden, die jeweils etwa gleich häufig bei vier bis sechs Schülern auftreten. In die Kategorie „Klimawandel“ fallen Aussagen, bei welcher eine Änderung des Klimas benannt wird, wie z.B. Erderwärmung oder Eiszeit. Über die Hälfte dieser Erklärungen wird in Verbindung mit dem Beispiel Mammut angegeben. *„Diese Mammuts die sind ja z.B. wegen dieser Eiszeit, die haben ja eigentlich in dieser Eiszeit gelebt und es wurde dann immer wärmer und das können die dann nicht vertragen, deswegen sind die ausgestorben.“* (22-27, S20V). Ebenfalls auf eine Veränderung der Umwelt bezieht sich die Kategorie „keine Anpassungsfähigkeit“, wonach sich Lebewesen bei veränderter Umwelt nicht anpassen bzw. weiterentwickeln konnten. *„... vielleicht verändert sich die Welt und die können sich nicht mehr anpassen.“* (40-47, S9V) Aus dieser Umweltänderung resultiert z.T. ein Anpassungszwang und ggf. sterben die Arten aus. Erklärungen, die sich auf die „Nachkommen“ beziehen, umfassen meistens nicht die konkrete Angabe einer Ursache für die geringere Zahl an Nachkommen. *„Sie sind vielleicht ausgestorben, weil sie vielleicht immer weniger Tiere gezeugt haben und weil sie dann irgendwie auseinander gelebt sind und das sie dann eben einzeln gegangen sind und das sie dann nicht überlebt haben.“* (22-25, S5V). Ähnlich ist es bei den Aussagen, die der Kategorie „Nahrung“ zugeordnet wurden, wonach Nahrungsmangel zum Aussterben führt, aber kein direkter Zusammenhang zu einer Ursache für Nahrungsmangel hergestellt wurde. Relativ häufig wurde auch der „Mensch“, direkt z.B. durch Jagd oder indirekt über die Veränderung der Umwelt, als Ursache für das Aussterben von Lebewesen angesehen. *„Tiere sterben aus, weil jetzt irgendwie die Menschen kamen und weil sich die Welt halt auch immer mehr verändert hat und das die sich halt da anpassen müssen und weil es dann irgendwie halt nicht mehr so ist.“* (28-33, S17V)

Fast alle Schüler haben die Vorstellung von im Laufe der Erdgeschichte ausgestorbenen Arten und können hierfür Beispiele anführen. Die Nennung von unterschiedlichen Gründen wie „Klimawandel“, „Anpassungsfähigkeit“, „Anzahl Nachkommen“, „Nahrung“ und „Mensch“ in den Erklärungen kann entweder eine gewisse Unsicherheit oder eine Kontextabhängigkeit bei den Schülern anzeigen, bei der für verschiedene Lebewesen auch unterschiedliche Erklärungen angeführt werden. Die häufige Erklärung des Aussterbens von Dinosauriern durch eine Umweltkatastrophe ist durch entsprechendes Vorwissen plausibel, die Herkunft des Wissens hingegen unterschiedlich und in den meisten Fällen nicht nachvollziehbar. Bis auf einzelne Nennungen werden als Beispiele Vertreter der Wirbeltiere angegeben. Im Gegensatz zu den Dinosauriern lebten Mammut und Säbelzahn tiger noch im jüngster Vergangenheit. Die Angabe von Klimaänderungen könnte im Zusammenhang mit der Vorstellung von Eiszei-

ten stehen. Wissen der Schüler über Stein- bzw. Eiszeiten könnten die Schüler möglicherweise im unterrichtlichen Zusammenhang erworben haben.

Entstehung von neuen Arten im Laufe der Erdgeschichte

Der überwiegende Teil der Schüler (88%) gab an, dass Lebewesen im Laufe der Erdgeschichte auch neu entstanden sind, so dass heute Arten auf der Erde existieren, die nicht immer dort existiert haben. Nur ein Schüler war der Ansicht, die meisten Tiere die heute auf der Erde existieren, habe es schon immer gegeben und legt damit die Interpretation nahe eine Vorstellung von der „Konstanz der Arten“ zu haben. Zwei Schüler gaben zu diesem Thema an, keine Meinung aufgrund fehlender Kenntnis zu haben. *„Ich weiß nicht, ob es Tiere und Pflanzen heute gibt die es früher nicht gab.“* (34-35, S14V). Mehr als ein Drittel der Schüler geben in ihren Aussagen neben der Akzeptanz von „Neuentstehung“ zusätzlich an, dass „neue Arten durch Veränderung von Arten“ entstehen. In einigen Fällen ist diese Auffassung indirekt aus dem angeführten Beispiel ersichtlich. *„Ja es sind auch Arten im Laufe der Geschichte neu entstanden. Früher gab es ja diese Mammuts und jetzt gib es halt die Elefanten, die gab es früher nicht...“* (28-29, S20V). Die angeführten Beispiele für im Laufe der Erdgeschichte neu entstandene Arten, wie Hamster, Hasen Pferde, Scheine oder Hunde beschränken sich bis auf eine Ausnahme auf Beispiele aus dem Haustierbereich.

Ein Schüler hatte das Konzept einer „artfremden Kreuzung“ als Erklärung zur Entstehung von neuen Arten. Eine Schülerin ist sogar in der Lage den Begriff Mutation, welcher im Fragebogen des Vortests vorkam, in die Aussage zu transferieren und in ihre Vorstellung von Vorfahren sinnhaft zu integrieren. *„... abgesehen von Mutation wird das wahrscheinlich nicht gehen. Jedes Tier hat einen Vorfahren z.B. die Dinosaurier, da sind jetzt Vögel die Nachfahren. Und dann die ersten Säugetiere, das sind die Vorfahren der jetzigen Säugetiere, also auch der Menschen. Ja, aus Vorfahren kann durch Mutation eine neue Gruppe von Lebewesen entstehen. Eine Mutation ist von jetzt auf gleich eine Veränderung die von jetzt auf gleich das Erbgut verändert. Das stand in dem Fragebogen den wir bekommen haben, nein vorher wusste ich das nicht so ganz.“* (38-47, S4V)

Der überwiegende Teil der Probanden akzeptiert die Neuentstehung von Arten im Laufe der Erdgeschichte. In Erklärungen wird die Veränderung von Arten zu neuen Arten angegeben, der ein Konzept von „Vorfahren“ und „Transformation von Arten“ im Laufe der Zeit zugrunde liegt. Entsprechend werden auch Ähnlichkeiten zwischen heutigen Arten und ihren Vorfahren formuliert. Allerdings wird nur die Veränderung einer Art, nicht aber eine Artaufspaltung direkt oder indirekt gesehen. Die Angabe sich noch nie mit diesem Thema beschäftigt zu haben, lässt eher auf spontan generierte Überlegungen schließen,

als auf bestehende, fixierte Konzepte. Es liegt nahe, dass dies auch bei anderen Schülern der Fall ist, auch wenn es meistens nicht explizit geäußert wird.

Die Akzeptanz von Evolution als Tatsache ist in der Schülergruppe relativ hoch. Der überwiegende Teil akzeptiert nicht nur, dass Lebewesen im Laufe der Erdgeschichte ausgestorben, sondern auch neu entstanden und veränderbar sind. Die Vorstellung einer im Vergleich zur Entstehung der Erde späteren Entstehung von Leben ist in der Probandengruppe nicht so verbreitet, verhindert aber nicht die Akzeptanz einer Evolution.

Evolution des Menschen

Werden die Schüler nach Dinosauriern und Neandertalern bzw. Menschen gefragt, so lehnen mit 66% die meisten die Koexistenz von beiden ab bzw. geben an, den Menschen habe es nicht immer gegeben (33%). Lediglich zwei Schüler sind der Auffassung der Mensch ist früh im Verlauf der Erdgeschichte entstanden. *„Immer hat es den Menschen nicht auf der Erde gegeben, aber früh. Nicht seit dem die Erde existiert, erst ein bisschen später.“* (36-39, S8V). Fast alle Schüler, die zu dem Neandertaler befragt wurden, hatten schon von diesem gehört, nur zwei gaben an, diesen nicht zu kennen. Häufig wurden weitere erklärende Angaben, was der Neandertaler sei, ergänzt. Erklärende Bezeichnungen bezogen sich auf den zeitlichen Kontext und bezeichneten den Neandertaler als „Urzeitmensch“ *„... ich weiß nur es ist ein Urmensch der nicht direkt mit uns verwandt ist“* (48-51, S7V), auf die „Primitivität“, in dem der Neandertaler als Urmensch bzw. primitiver Mensch bezeichnet wurde *„der Neandertaler war eine Vorbildung von einem Menschen.“* (50-55, S20V) oder auf den Aspekt der „Entwicklung“, in dem der Neandertaler als Affenmensch oder unserer Vorfahre *„... das waren auch unsere Ur Vorfahren. ... der war so in der Mitte vom Affen, Mitte von Affe zu Mensch“* (36-3, S18V) bezeichnet wurde. Der Entwicklungsaspekt impliziert im Gegensatz zum zeitlichen Kontext bei den Schülern Verwandtschaft von modernem Menschen und Neandertalern. In diesem Zusammenhang gehen mehrere Schüler auf die Veränderung des Menschen in Form einer zeitlichen Entwicklung und die „Abstammung von Affenwesen“ ein. *„... Menschen gab es nicht immer auf der Erde, also die haben sich aus Affen entwickelt... die Urzeitmenschen waren auch anders als wir heute, die hatten keine richtige Sprache oder so etwas...“* (36-39, S11V).

Die Schüler kennen Neandertaler und nehmen in Erklärungen Bezug auf den zeitlichen Kontext oder Entwicklung. Fast alle Schüler zeigen in ihren Aussagen eine grundsätzliche Akzeptanz der Humanevolution auf, auch wenn diese noch nicht durch konkretes Wissen geprägt ist. Kennzeichnend hierfür sind Aspekte der Entwicklung sowie die Annahme von verschiedenen Menschenformen und Abstammung von „Affenwesen“.

Nutzen und Schöpfung

Die Auffassung der Schülergruppe, ob Tiere und Pflanzen zum Nutzen der Menschen geschaffen wurden, unterschied sich deutlich, wobei in etwa zu gleichen Teilen sowohl Akzeptanz, Ablehnung, als auch gemischte Aussagen auftraten. Anzumerken ist, dass nicht alle Probanden im Interview eine Position in Bezug zu der Aussage äußerten, in manchen Fällen wurde nur eine Sinnbeschreibung für Arten angeführt. Der spätere Zeitpunkt der Entstehung des Menschen wurde von der Hälfte der Schüler, welche die Entstehung von Lebewesen zum Nutzen des Menschen ablehnen, als logischer Grund hierfür angeführt. *„Ich würde sagen es stimmt nicht, dass Tiere und Pflanzen zum Nutzen der Menschen geschaffen worden sind, weil Dinosaurier die waren ja auch schon vor Menschen auf der Erde und da gab es keine Menschen, da konnte man die Tiere und Pflanzen ja noch gar nicht verwenden.“* (68-71, S22V). Die zur Diskussion gestellte Aussage umfasst eigentlich zwei Aspekte, den Sinn der Lebewesen in Bezug auf den Menschen und den Schöpfungsaspekt. Die Schüler nahmen in ihren Aussagen fast ausschließlich auf den ersten Aspekt Bezug, keine Angabe bezog sich direkt auf eine Schöpfung. Lediglich ein Schüler schreibt der Natur die Rolle des Schöpfers zu. *„... Also das hat die Natur so eingerichtet. Ich würde sagen, Tiere haben sich zu ihrem eigenen Nutzen entwickelt...“* (70-73, S4V). Ein Drittel der Schüler ließ erkennen, dass sie die Vorstellung einer grundlegenden „Sinnhaftigkeit von Lebewesen“ haben, welche auch mit einer „Aufgabe von Lebewesen“ beschrieben wird. Diese Sinnhaftigkeit wird allerdings nicht nur in Bezug auf den Menschen gesehen. Die Zuschreibung einer Sinnhaftigkeit trat allerdings nicht nur bei Schülern auf, die einen Nutzen für Tiere und Pflanzen zum Nutzen der Menschen akzeptierten. *„... die Mammuts und Dinosaurier vielleicht um uns zu zeigen, dass wir vorsichtig mit dem Klima umgehen müssen, weil wir sonst irgendwann auch wieder aussterben.“* (51-56 S1V) *„Ich würde das so aufstellen, dass eine Fliege dazu da ist um Spinnen zu ernähren, dass die Spinne dazu da ist vielleicht um Vögel zu ernähren und die Vögel, so etwas wie Hühner oder so und für die Menschen dann. Ja, nach meiner Meinung haben die Lebewesen einen Sinn.“* (30-33, S3V). Die Schüler differenzierten den „Nutzen“ in Abhängigkeit von der Organismengruppe. Pflanzen wurden eher als nützlich angesehen als Tiere. Der „Nutzen“ der Pflanzen kann mit deren Bedeutung, vor allem auch unter dem Aspekt der Photosynthese und als Nahrungsgrundlage in Zusammenhang stehen. *„Tiere ja nicht nur zum Nutzen der Menschen, die Tiere brauchen ja auch Nahrung und da sind die Pflanzen dann auch für die sozusagen erschaffen. Ja, die Pflanzen sind für die Tiere, für alles Leben. Ja die Pflanzen sind von großer Bedeutung.“* (50-53, S23V). *„Ja, ich meine die Pflanzen könnten erschaffen worden sein, damit die Menschen das essen können. Ja, stimmt, es gibt auch Giftpflanzen, z.B. die Vogelbeeren, da sagen ja viele, das ist für Menschen giftig, das ist dann etwas für die Tiere, also Vögel.“*

Dann denke ich mal das ist für die Tiere und für die Menschen halt“ (50-55, S16V)
Zwei Schüler verwiesen in ihren Aussagen auch darauf, dass Lebewesen zwar „Nutzen“ für Menschen haben, aber auch ein eigenes Leben. Allerdings lehnt keiner der Schüler, die eine Form von „Nutzen“ beschreiben, die Aussage ab, Tiere und Pflanzen sind zum Nutzen der Menschen erschaffen, lediglich die Hälfte ist gemischter Ansicht.

Die Auffassung, ob Tiere und Pflanzen zum Nutzen der Menschen geschaffen sind oder nicht, ist bei Schülern zu Beginn der Sekundarstufe I unterschiedlich. Akzeptanz, Ablehnung und Unentschiedenheit sind zu gleichen Anteilen vertreten. Die Antworten legen nahe, dass bei der Aussage für die Schüler der Nutzaspekt von den zwei möglichen implizierten Aspekten „Schöpfung“ und „Nutzen“ im Vordergrund steht. Der Aspekt der „Schöpfung“, der durch das Wort „geschaffen“ angesprochen wird, scheint für sie hier nicht relevant zu sein, da keiner der Probanden darauf eingeht. Allerdings unterscheiden sich die Antworten der Schüler stark. Ein Drittel der Schüler geht von einer grundsätzlichen „Sinnhaftigkeit von Lebewesen“ aus. Ein Nutzen wird eher für Pflanzen als für Tiere angenommen.

Zehn der insgesamt 26 Schüler, die zur Schöpfungsgeschichte der Bibel befragt wurden, gaben an, diese nicht genauer zu kennen, wovon drei diese trotzdem ablehnten. Schüler, die eine eigene Meinung hierzu angeben, sind unterschiedlicher Meinung, ob die Schöpfungsgeschichte den wahren Verlauf beschreibt. Hierbei trat mit 37% eine Ablehnung nur geringfügig häufiger auf als Akzeptanz, Unsicherheit oder eine geteilte Meinung, welche jeweils bei 32% der Befragten geäußert wurde. In den meisten Fällen wurde eine Ablehnung nicht weiter begründet, nur drei Schüler gaben Beweise oder Unglaubwürdigkeit als Grund für die Ablehnung an. Eine Ausnahme bildet das ausführliche folgende Zitat: *„Ja ich kenne die Geschichte in der Bibel, aber ich glaube jetzt nicht wirklich daran, weil es gibt eben wissenschaftliche Beweise und durch die ganzen Dinosaurierfunde und so weiter kann es schwer so gewesen sein, dass jedes Lebewesen so auf der Erde von Anfang an kam, so wie es Gott sie schuf, dass es noch immer so ist.“ (68-69, S4V).* Ebenso wurde die Akzeptanz der Schöpfungsgeschichte durch die Angabe zu glauben, dass es so war, erläutert, aber weniger begründet. Ein Proband erklärte seine Akzeptanz durch Mangel an einer alternativen Erklärungsmöglichkeit *„... Ich könnte mir vorstellen das es so war, weil wie sollen die ersten Menschen sonst entstanden sein...“ (56-61, S7V).* Fehlende Erklärungsmöglichkeiten können bei den Probanden auch zu Unsicherheiten führen, wie das folgende Zitat zeigt. *„Irgendwer muss das ja alles gemacht haben, das kann ja nicht auf einmal dagewesen sein. Ich würde sagen zur Hälfte ja stimmt die Geschichte der Bibel, zur Hälfte nein.“ (64-69, S25V).* Eine geteilte Meinung spiegelte sich in der Akzeptanz von einer „einmaligen Schöpfung mit anschließender Entwick-

lung“ wieder „... Ich glaube Gott hat die Welt schon erschaffen, aber ich glaube nicht, er hat den Dinosaurier erschaffen oder so. Also es hat irgendwie so Vorfahren gegeben.“ (62-65, S24V).

Die Kenntnis der Schöpfungsgeschichte ist bei der Probandengruppe mit 40% nicht stark verbreitet. Akzeptanz und Ablehnung sind fast gleich häufig vertreten. Die meisten Aussagen der Probanden weisen auf eine unreflektierte Position hin, die Schüler haben vermutlich über diese Fragestellung bisher noch nicht nachgedacht, was sich auch in Unsicherheit und unbegründeten Aussagen zeigt. Kaum ein Schüler zeigt eine ausgeprägte kreationistische Sicht. Die Unsicherheit könnte einen Ansatzpunkt für weiteren Unterricht bieten.

8.1.1.3 Vorstellung zu Entstehung von Anpasstheit (Evolutionismen)

Entstehung des Giraffenhalses

Elf Schüler gaben im Interview an, sie hätten keine Vorstellung zur Entstehung des langen Giraffenhalses. Von diesen gaben allerdings nur vier Schüler keine weiteren Erklärungen an. Einige Schüler (15%) hatten keine konkrete Erklärung, sondern nur eine Beschreibung, in der sie „Entwicklung“ oder „Anpassung“ als Aspekt nannten und auf Nachfragen keine weitere Vorstellung angaben. „... Ich glaube der lange Hals hat sich von der mit kurzem Hals entwickelt. Es ist ja so ähnlich wie auch die Menschen. Die Menschen waren ja früher Affen und die haben sich ja immer weiter entwickelt. Ich glaube so hätten auch die, das die Giraffen gemacht haben. Nein, eine genauere Vorstellung habe ich nicht.“ (71-83, S27V). Fünf Schüler (19%) nahmen in ihren Erklärungen Bezug auf den Zeitraum, in dem Veränderungen stattfinden. In ihrer Vorstellung benötigt die evolutive Veränderung des Merkmals „Zeit“ und verläuft über „mehrere Generationen“. Die nähere Beschreibung einer schrittweisen Veränderung, die bei drei Schülern auftrat, lässt häufig die Deutung einer „schrittweise gleichen Veränderung aller Individuen“ einer Population zu. „... Also immer in der nächsten Generation, dass dann der Hals immer länger wird. Nein, sie brauchen die Blätter der Bäume nicht, sie können auch Gras fressen. Es ist gekommen weil die Blätter nahrhafter sind.“ (52-65, S3V). Die „Vererbung erworbener Merkmale“ lehnten einige Schüler ab, auch wenn sie keine andere Erklärungsmöglichkeit angeben konnten. „... Manche sagen ja weil die sich immer so strecken müssen, dass die was vom Baum essen können, dass sich dann der Hals auch so streckt, aber das glaube ich nicht, dass er sich dann so lang zieht. Ich habe glaube ich schon mal etwas im Fernsehen gesehen. Aber ich glaube das mit dem Strecken nicht. Aber wie weiß ich nicht.“ (88-107, S19V)

Im Vergleich zu Fragmenten richtiger Erklärungsbestandteile, die als Schlüsselkonzepte verstanden werden können, fanden sich bei den Schülern häufiger

aus fachlicher Sicht falsche Erklärungsbestandteile. Die Kategorisierung dieser Bestandteile wird nachfolgend näher dargestellt.

Schlüsselkonzepte: Die Angabe, ein Merkmal erweist sich als vorteilhaft und führt zum wahrscheinlicheren Überleben, wird als „selektives Überleben“ kodiert und findet sich in der Aussage eines Schülers. Das Erklären des Auftretens neuer Variation auf genetischer Grundlage wird als „Mutation“ kodiert und tritt bei zwei Schülern auf, auch wenn diese den Terminus nicht verwenden. *„Vielleicht war es auch so zu sagen nur Zufall, dass dann ein eben so eine Giraffe mit einem kurzen Hals, dass dann zwei ein Junges gekriegt haben, und dass dann z.B. am Hals, wie heißt das noch mal, ein Wirbel mehr gekriegt hat. Vielleicht durch Zufall ja so, dass es sozusagen wie eine falsche Geburt oder so war. Sozusagen behindert oder so. Es hatte einen Vorteil.“* (70-87, S10V). Zwei Schüler erklärten die Entwicklung des Halses ausgehend von Unterschieden in der Halslänge, dies wird als Schlüsselkonzept „Variation“ eingeordnet. Die Angabe einer genetischen Ursache wird als „Erbanlagen“ bei drei Schülern kodiert. Als häufigstes Schlüsselkonzept trat bei fünf Schülern zu diesem Zeitpunkt in den Aussagen der Aspekt „Kreuzung und Vererbung“ auf. *„... (kurzhalsigen Vorfahren) könnten sich weiterentwickelt haben, wenn sich jetzt Tiere mit längeren Hälsen immer wieder gepaart haben und dann sind die irgendwann so groß geworden, die Hälse...“* (90-99, S6V). Insgesamt traten bei fünf Schülern nur Schlüsselaspekte in den Aussagen auf und keine aus fachlicher Sicht falsche Bestandteile, die Erklärungen der anderen Befragten beinhalteten Aspekte von Fehlvorstellungen und könnten gemischte Erklärungen sein.

Aspekte von Alternativvorstellungen: Zwei Schüler gaben in ihren Antworten, die mehrere verschiedene Aspekte von Fehlvorstellungen aufweisen, an, die Änderung sei gelenkt *„...dann hat die Natur irgendwann gemerkt, das muss anders sein und dann also hat sich das dann auch entwickelt“* (84-95, S25V) oder vorgegeben *“...so soll es sein“* (78-85, S20V). Die meisten in diesem Kontext auftretenden Fehlvorstellungen sind lamarckistischer oder finalistischer Art. Als lamarckistisch wurden Aussagen eingeordnet, wenn in den Erklärungen die „Vererbung erworbener Merkmale“ angenommen wurde oder die „Merkmale durch Gebrauch bzw. Nichtgebrauch verändert“ wurden. Im Zusammenhang mit der Entstehung des Giraffenhalses wurde von neun Schülern eine Verlängerung durch Streckung des Halses angeführt. Zwei Drittel dieser Erklärungen enthielten eine Formulierung, die auf die „Vererbung dieser durch Gebrauch erworbenen Merkmale“ schließen lassen. *„... Vielleicht haben die sich ja immer gestreckt um an die Bäume zu kommen. Ich glaube es gibt irgendwie so ein Menschenvolk da machen sich die Frauen immer Ringe um die Hälse. Vielleicht, wenn die sich immer strecken, vielleicht ist da ungefähr das gleiche geschehen. Ja ich glaube schon das sie das auch an die Nachkommen vererben können.“* (74-85, S24V). Die Aussagen

zeigen nicht nur eine lamarckistische Vorstellung, sondern gleichzeitig auch kein Populationsverständnis. Änderungen treten aktiv erworben, individuell auf. Die dem Oberbegriff finalistisch zugeordneten Aussagen traten bei mehr als der Hälfte der Schüler (63%) auf. Sie lassen sich weiter nach angegebener Ursache differenzieren. Von zehn Schülern und damit am häufigsten wurde ein „äußerer Zwang als Ursache“ für die Veränderung angeführt, Aussagen enthielten meistens als Verb „müssen“. *„... Also das ist dann so, dass die zum Überleben, da müssen die ja dann fressen meistens. Und dann brauchen die ja dann, also Giraffen brauchen jetzt z.B. einen längeren Hals, damit die dann überleben können und dann müssen die dann irgendwie sich daran anpassen, was die fressen und wie die dann daran kommen.“* (52-57, S15V). Vier Schüler begründeten die Entwicklung durch einen längeren Hals aufgrund des sich daraus ergebenden „Vorteils“, wobei diese Erklärung in Kombination mit einer anderen finalistischen Subkategorie auftrat. Die Zuschreibung von „Wunsch“ oder „Willen“ eines Tieres als Grund zu einer evolutionären Anpassung fand sich in drei Aussagen. Diese Erklärungen sind zusätzlich als anthropomorphe Vorstellungen einzuordnen. In zwei Fällen trat hierbei eine Kombination mit lamarckistischen Vorstellungen auf, da der Wunsch bzw. Wille zum Erwerb des Merkmals führt. *„... vielleicht wollten die auch an die Bäume kommen und dann haben die die ganze Zeit so hoch den Kopf gemacht, dass die, dass der sich verlängert hat. Ja vielleicht könnte durch das Strecken der Hals länger geworden sein und deswegen haben sie heute einen langen Hals.“* (79-90, S26V). Finalistische und lamarckistische Erklärungen traten auch gemischt bei fünf Probanden auf, wobei dabei meistens angenommen wurde, dass ein Zwang zur Streckung führt. *„... die Bäume sind ja ziemlich hoch und dass die da fressen konnten mussten die sich immer strecken und so und dann wurde der vielleicht länger...“* (80-87, S22V). Die meisten Schüler (37%) gaben Erklärungen, die eine der beschriebenen Aspekte alternativer Vorstellungen aufwiesen. Gemischte Erklärungen, die sowohl aus fachlicher Sicht falsche Ansätze, als auch mindestens ein als Schlüsselkonzept bezeichneten Aspekt beinhalteten, traten bei sechs (22%) der Lernenden auf. Fast ebenso häufig treten bei 19% entweder keiner der genannten Aspekte oder nur Schlüsselkonzepte auf.

Die relativ häufige Angabe, keine Vorstellung bzw. Erklärung für die Entwicklung des Giraffenhalses zu haben, deutet darauf hin, dass die Schüler kein bewusstes Konzept bzw. keine abrufbare Erklärung haben, sondern spontan aufgrund vorhandenen Wissens Erklärungen konstruieren. Die Benennung einer Entwicklung scheint für einige Schüler eine ausreichende Erklärung zu sein und es ist ihnen nicht bewusst, keine Erklärung, sondern nur eine Beschreibung gegeben zu haben. Die Aussagen, die sich auf den Zeitraum für Veränderung beziehen, wie die Angabe einer „schrittweisen Veränderung“, lassen den Interpretationsspielraum von fehlendem Populationsverständnis, der Annahme

einer „gradueller typologischer Anpassung“ bzw. die Vorstellung einer „individuellen Anpassung“ bei den Schülern offen. Als häufigstes Schlüsselkonzept tritt der Aspekt „Kreuzung und Vererbung“ auf. Aussagen beziehen sich in diesem Zusammenhang zwar auf eine intraspezifische Kreuzung, allerdings kann darunter auch eine gezielte Paarung verstanden werden und somit die Aussage einen finalistischen Aspekt beinhalten. Insgesamt treten die als Schlüsselkonzepte bezeichneten Aspekte „selektives Überleben“, „Mutation“, „Variation“, „Erbanlagen“, sowie „Kreuzung und Vererbung“ vor dem Unterricht eher einzeln auf. Aspekte von alternativen Vorstellungen sind im Kontext der Entstehung des Giraffenhalses am häufigsten finalistischer oder lamarckistischer Natur, wobei erstere doppelt so häufig auftreten. Gemischte Konzepte, die unter dem Aspekt von bei den Schülern vorhandenen, zugrundeliegenden konsistenten Rahmengerüsten (frameworks) interpretiert werden können, treten in diesem Kontext eher selten auf. Allerdings enthalten viele Aussagen auch die Angabe, keine Vorstellung zu diesem Kontext zu haben, was auf die spontane Konstruktion von Erklärungen auf der Basis vorhandener Wissensselemente und Plausibilitätsüberlegungen verstanden werden kann.

Braunbären am Nordpol

Zu dem Fragekontext, ob bei einer am Nordpol ausgesetzten Gruppe von Braunbären nach einem langen Zeitraum Veränderungen aufträten, liegen 24 Schüleraussagen vor. Die Ablehnung einer möglichen Veränderung der Braunbären ist fast doppelt so hoch wie deren Annahme, wobei sich viele der Aussagen auf die unmittelbaren Nachkommen bezogen und zwei davon auch im weiteren Verlauf widersprüchlich sind. Von den Befragten, die eine Veränderung in Form einer Anpassung annehmen, erklärten nur zwei der Schüler dieses entweder anhand „individueller Anpassung als Entwicklung“ oder aufgrund eines „Anpassungszwangs“ aufgrund von Tarnung. Beides ist aus fachlicher Sicht nicht angemessen. Sechs Schüler lehnten eine schnelle Veränderung ab, so dass die nächste Generation nicht völlig verändert erscheint. Die Akzeptanz einer Veränderung wurde von fünf Schülern damit erklärt, dass der Anpassungsprozess einen „längeren Zeitraum“ erfordert und vier Schüler beschrieben eine „schrittweise Veränderung“ als graduellen Anpassungsprozess. „... die Kinder haben dann nicht alle plötzlich ein weißes Fell, die mutieren dann, dann wird das Fell vielleicht immer heller und heller und das es dann irgendwann weiß ist.“ (54-65, S23V). Die Ablehnung einer Anpassung kann bei zehn Schülern im Zusammenhang mit der Vorstellung von „konstanten Erbanlagen“ gesehen werden. Diese Schüler gaben an, die Nachfahren wären so wie ihre Eltern.

Im Kontext der Veränderung von Braunbären ist die Vorstellung von konstanten Erbanlagen interessant, die eine Variation ausschließt und zu einer

Ablehnung der Veränderung in diesem Kontext und letztendlich von Veränderung von Arten führt. Eine Akzeptanz der Veränderung der Braunbären am Nordpol und somit einer Artveränderung über einen längeren Zeitraum kann mit der Vorstellung einer „graduellen gleichartigen Anpassung aller Individuen“ verbunden sein. Finalistische Erklärungen werden in diesem Kontext selten formuliert. Möglicherweise treten Formulierungen in Bezug auf einen Anpassungszwang deshalb seltener auf, weil die Schüler in diesem Fall eher vom Sterben der Braunbären am Nordpol ausgehen und aus diesem Grunde eine Anpassung ablehnen.

Umweltänderungen beim Birkenspanner

Bei dem Eintreten einer Umweltveränderung, hier das Absterben der hellen Flechten auf Baumstämmen, waren sich lediglich zwei der zweiundzwanzig Schüler nicht sicher, welche Meinung sie im Hinblick einer Auswirkung der Umweltänderung vertreten. Vier Befragte waren der Auffassung, die Umweltveränderung habe keine Auswirkung auf den Birkenspanner, so dass sich kein Unterschied ergäbe. Letzteres spiegelt die Vorstellung einer „Unveränderbarkeit der Arten bei Umweltveränderung“ wieder. Ebenso wie die folgenden Erklärungsbestandteile „aktive Anpassung“ (4mal), „Suchen eines passenden Lebensraumes“ (3mal), „anthropomorphe Beschreibungen“ (2mal) und Tarnungszwang (1mal) werden diese als fachlich nicht angemessene Vorstellung angesehen. Die „aktive Anpassung“ wurde Textstellen zugeordnet, in denen beschrieben wurde, dass das Tier sich an die Umgebung anpasste *„... Und wenn jetzt der (helle Form) z.B. da wäre, würde man den sofort erkennen und den sieht man nicht so. Der hat sich getarnt. Also der hat sich dann angepasst.“* (120-127, S6V). Das „Suchen eines passenden Lebensraumes“ bezieht sich sowohl auf das individuelle Aufsuchen einer passenden Umgebung, als auch auf das Abwandern in neue Umgebungen. *„Ich würde sagen, dass sie sich einen Baum aussuchen, wo sie sich überhaupt aufhalten können...“* (94-105, S12V). Beide „anthropomorphe Beschreibungen“ sowie die Angabe eines „Tarnungszwanges“ sind finalistischer Natur. Im Gegensatz dazu treten auch Konzepte auf, die als Schlüsselkonzepte kodiert werden, da sie ein Hinweis auf ein aufkeimendes Verständnis sein können. Hierbei wurde am häufigsten ein „selektives Überleben“ angeführt, welches sich entweder auf das bessere Überleben der dunkleren Variante aufgrund von Tarnung oder Anpassung (6mal), oder auf das Aussterben der helleren Variante (4mal) bezog. *„... Hier kann der sich auch gut tarnen, weil das ist dann dunkler, weil der auch dunkel ist. Dann hatte das für den die Folge, dass der dann mehr, besser entdeckt werden konnte. Als Folge würde der dann entdeckt und wurde mehr dann gefressen. ich glaube dann gäbe es mehr dunkle als helle...“* (68-79, S15V). Ein Schüler folgerte nicht nur unterschiedliches Überleben, sondern auch unterschiedliche

Fortpflanzung, hier als „selektive Fortpflanzung“ kodiert. *„...die Dunklen die konnten dann wahrscheinlich auch mehr Beute fangen und die, die sind dann vielleicht auch nach einiger Zeit ausgestorben, weil sie nicht genug Beute gefunden haben und sich nicht richtig fortgepflanzt haben. Nach einiger Zeit würde ich mehr Dunkle finden, weil die Hellen eher gesehen werden...“ (118-125) S25V*). Diese dargestellten Schlüsselkonzepte lassen sich bei insgesamt neun Schülern (41%) finden. Etwas häufiger verwendeten Schüler (45%) Fehlkonzepte, wobei drei Schüler mehr als ein aus fachlicher Sicht nicht angemessenes Konzept verwenden. Interessant ist das geringe Auftreten gemischter Erklärungen. Nur 14% verwendeten sowohl Schlüssel- wie auch Fehlkonzepte, hingegen mit 59% mehr als die Hälfte nur Schlüsselkonzepte (27%) oder nur Fehlkonzepte (32%). Allerdings gab fast ein Drittel (27%) der Schüler entweder keine Erklärung und führten Tarnung als Grund an, was nicht als Erklärung sondern als reine Beschreibung zu werten ist.

In dem Kontext der Veränderung des Birkenspanners zeigt sich wiederholt, dass die Schüler reine Beschreibungen zum Teil als Erklärungen auffassen. Gemischte Erklärungen treten in diesem Kontext in geringer Häufigkeit auf, was auch in der Diskussion um Frameworks interessant ist. Die häufige Nennung des Konzepts „selektives Überleben“ deutet darauf hin, dass dieses Konzept relativ einfach zu fassen ist und intuitiven Erfahrungen nicht widerspricht. Die weitere Auswirkung im Hinblick auf Fortpflanzung wird aber nur von wenigen Schülern als Folge eines selektivem Überlebens selbstständig gefolgert.

Umweltänderung als Anstieg des Meeresspiegels bei einer fiktiven Art in Insellage

Bei der Entwicklung eines Szenarios in Bezug auf Auswirkungen einer Umweltveränderung auf eine fiktive Art, zog die überwiegende Mehrheit der Probanden (78%) die Möglichkeit des Aussterbens in Betracht. Diese wurde aber meistens als eine von mehreren Alternativen angegeben. Die Vorstellung einer „Konstanz der Arten“ kann in einem Zusammenhang mit dem „Aussterben“, welches von fünf Befragten angegeben wurde, gesehen werden, wenn die Ablehnung einer Veränderung trotz sich massiv veränderter Umwelt formuliert wird. *„Wenn der Meeresspiegel ansteigt, gehen die Schwörnchen unter. Würde man sie noch nach langer Zeit finden sehen sie genauso aus.“ (140-143, S19V)*. Im Gegensatz hierzu ging über die Hälfte der Schüler (59%) davon aus, dass sich die Schwörnchen verändern bzw. „Anpassung“ zu einer Veränderung führt. Es wurden entweder konkrete Merkmale genannt, die in Verbindung mit einer Anpassung an das Wasserleben stehen, wie die Umbildung zu Schwimmflossen (6mal), eine vergrößerte Lunge (2mal), wasserdichtes Fell (1mal), oder allgemeiner neue Fähigkeiten wie Schwimmen (5mal) angeführt. Ebenfalls wurde

eine Änderung der Nahrung von drei Probanden in Erwägung gezogen. Zwei folgerten eine geringere Körpergröße in Verbindung mit einem kleineren Lebensraum.

Obwohl viele Schüler, wie oben angeführt, die Ansicht haben, eine Veränderung der Art könnte als Folge einer Umweltänderung auftreten, wurde nur in wenigen Aussagen konkreter die Vorstellung der Schüler deutlich wie diese Änderung erfolgt. Es wurden entweder anthropomorphe oder finalistische Konzepte in geringem Maße bei den Befragten deutlich oder die „Vererbung erworbener Merkmale“ (2mal) bzw. „Lernen“ (2mal) oder „Gewöhnung“ (1mal) zur Erklärung verwendet. *„... Wenn da ganz viel unter Wasser liegt kann es auch sein, das dieses Tier dann irgendwie merkt das es vielleicht irgendwie mal im Wasser ist und dann immer ein bisschen paddelt und das sich irgendwie Schwimmhäute entwickeln...“* (124-131, S20V). Vorher angeführte Schlüsselkonzepte traten in diesem Kontext nicht auf. Ein Schüler führte den „Zufall“ an, als „Glück“ benannt.

Bei den Aussagen zur möglichen Veränderung einer fiktiven Art als Folge einer Umweltänderung wird erneut deutlich, dass die meisten Schüler nicht von einer „Artkonstanz“, sondern von einer „Veränderung oder Aussterben von Arten“ ausgehen. Die Angabe eines Vorfahren deutet hier auf das Vorhandensein eines Abstammungskonzeptes hin. Nur in sehr geringem Maße werden Vorstellungen über den Mechanismus dieser Veränderung angegeben. Der Grund hierfür ist möglicherweise der Kontext einer Vorhersage oder der unkonkrete Rahmen, da nicht eine konkret erfolgte Merkmalsveränderung vorgegeben wird.

Vorkommen von Farbvarianten bei Bänderschnecken

Die meisten Schüler (14) gingen von einem unterschiedlichen Vorkommen der Farbvarianten in Abhängigkeit vom Lebensraum, am Beispiel Wiese und Wald, aus. Nur vier waren der Meinung, das Auftreten von verschieden farbigen Schnecken ist überall gleich. Von den Schülern, die von einem unterschiedlichen Vorkommen der Farbvarianten ausgingen, beschrieben sechs eine „Anpassung an den Untergrund“ und insgesamt acht benannten direkt oder indirekt „Tarnung“ als Grund für das unterschiedliche Vorkommen. *„Ich glaube die man im Wald und auf der Wiese findet sind eher unterschiedlich, weil die auf der Wiese, die müssen sich ja auch irgendwie schützen und tarnen, dass sie dann vielleicht mehr grünlich sind und Waldboden ist ja mehr braun, dass die dann mehr braune Häuser haben.“* (62-71, S18V). Drei Schüler führten die Angepasstheit auf einen „Zwang“ zurück, ihre Aussagen sind durch Formulierungen mit „müssen“ gekennzeichnet. Weitere fachlich nicht angemessene Vorstellungen bezogen sich darauf, dass die „Umwelt direkt die Färbung bewirkt“ (6mal) *„... auf der Wiese da ist es ja nicht so geschützt, da sind auch keine Bäume und dann würde die*

*Sonne eher darauf brennen und dann würde sich vielleicht die Farbe verändern und im Wald würde die dann eher dunkler werden, weil es ja da nicht so viel Sonne gibt und die Bäume sehr viel Schatten spenden.“ (90-105, S8V) oder einzelne hatten die Ansicht, die „Färbung ist geschlechtsabhängig“, ändert sich während der „Individualentwicklung“ oder als aktive Anpassung durch „Suchen eines passenden Lebensraumes“. Immerhin sechs Schüler beschrieben eine „Variation“ in dem Merkmal Gehäusefarbe. Hierbei stellen zwei einen Zusammenhang mit Erbanlagen und einer mit Paarung her. Allerdings wird nicht in allen Fällen die Unterschiedlichkeit als Begründung für die Ansicht, es sei eine Art Bänderschnecken die Variationen aufweist, verwendet. Zwei Schüler jedoch führen einen Vergleich zum Menschen in diesem Zusammenhang an und begründen ihre Meinung mit Unterschiedlichkeit innerhalb einer Art. *„Ich glaube, dass ist eine Art. Wie bei uns Menschen. Wir sind ja auch eine Art, wir sehen ja auch alle anders aus.“ (64-76, S2V).* In einem Fall wurde die vorhandene Variation als von Gott erschaffen erklärt. Insgesamt vierzehn Schüler gaben Vermutungen über zukünftige Veränderungen einer Population verschieden gefärbte Schnecken in einem bestimmten Lebensraum an. Die Vorstellungen hierzu waren uneinheitlich. Die Hälfte der Schüler ging davon aus, dass keine Merkmalsveränderung auftritt. Die andere Hälfte hingegen ging von einer Farbveränderung in der Population aus, allerdings in einigen Fällen kombiniert mit anderen alternativen Vorstellungen. Bemerkenswert ist zu diesem Zeitpunkt das Auftreten einer grundlegenden Vorstellung von „Selektion“ bei drei Schülern durch die Angabe, dass selektiv nur einige Tiere überleben und /oder sich fortpflanzen. *„... wenn es jetzt im Wald ist, dann können sich die Braunen natürlich besser tarnen und die Gelben, die fallen sofort auf und werden dann von ihren Feinden leichter gefressen. Dann gäbe es halt eben immer weniger und die anderen Schnecken würden sich, also die Braunen, würden sich leichter fortpflanzen und dann gäbe es mehr Braune als Gelbe. Sagen wir mal, das waren vierzig Schnecken, zwanzig Gelbe und zwanzig Braune, dann würde ich so schätzen es wären so höchstens so fünf Gelbe dann später dabei und mehr Braune. Ja, das käme durch den Fressfeind und anders herum genauso.“ (88-104, S4V).**

Die Annahme des unterschiedlichen Vorkommens an Bänderschneckenvarianten in Abhängigkeit vom Lebensraum ist in der Probandengruppe verbreitet, wobei die Unterschiede von den Schülern mit „Tarnung“ oder „Anpassung“ erklärt werden. Hiermit tritt eine indirekt finalistische Vorstellung auf, wobei eine Anpassung an den Untergrund mit dem Ziel, eine Tarnung zu erreichen, erfolgt. Das Ergebnis eines Anpassungsprozesses wird z.T. als ausreichende Erklärung angesehen, in einigen Fällen durch weitere Erläuterungen ergänzt.

Artentstehung

Die Entstehung einer Art, hier einer fiktiven unbekannten Spezies dem sogenannten „Schwörnchen“ auf einer abgelegenen Insel, konnten mit 41% viele Schüler nicht erklären und gaben an, das nicht zu wissen bzw. keine Idee zu haben. Hiervon äußerten sich sieben zu keinen weiteren Überlegungen. In den Erklärungen von insgesamt 14 Schülern finden sich fachlich nicht angemessene Bestandteile, hierunter am mit insgesamt neun Nennungen am häufigsten die Vorstellung einer „artfremden Kreuzung“ als eine Form von „Mischung“. *„Da haben vielleicht mal Schwein und Eichhörnchen gelebt und da haben sich mal zwei gepaart und die Kinder von denen die waren dann wahrscheinlich so ein Mittel-ding. und die haben sich dann auch immer weiter fortgepflanzt...“* (126-129, S25V). Vier Schüler zogen die Möglichkeit einer konkreten Kreuzung in Erwägung um sich dann gegen diese zu entscheiden. *„Als erstes denkt man daran, dass vielleicht ein Eichhörnchen und ein Schwein sich gepaart haben, aber das geht ja eigentlich gar nicht. Nein, aber eine andere Idee habe ich auch nicht.“* (92-97, S5V). Ein Drittel der Aussagen verband das Konzept der „artfremden Kreuzung“ mit einer vorherigen „Migration“ von Arten auf die Insel. Andere Erklärungsansätze wie anthropomorphe Vorstellungen aufgrund einer „bewussten Entscheidung“ der Tiere (2mal), eine „aktive Anpassung“ (1mal), lamarckistische Anpassung durch „Gewöhnung“ (1mal), finalistischer „Anpassungszwang“ oder eine „naturgemacht“ (1mal) traten in diesem Zusammenhang relativ selten auf. Fast die Hälfte der Schüler (45%) erklärte die Entstehung der unbekannten Art auf der Insel durch „Migration“. Diese „Migration“ wurde allgemein als Einwanderung, Aussetzen, oder konkreter als aus dem die Insel umgebenden Meer erfolgtem Landgang angegeben. In Verbindung damit steht das Konzept einer „Veränderung von Arten“, häufig einfach als „Anpassung“ oder „Entwicklung“ beschrieben. Die Jugendlichen scheinen hier die Vorstellung der „Veränderung eines eingewanderten Vorfahren“ zu haben.

Der Anteil der Schüler, die zu dem Fragekontext nach eigener Angabe keine Erklärung hatten, ist hier im Vergleich zu den anderen Themenkomplexen mit 40% relativ hoch. Das häufige Auftreten von „Migration“ als Erklärungsbestandteil steht im Zusammenhang mit dem Kontext Insellage. Die Schüler gehen von einer „Entwicklung“ der Insel aus, die erst unbewohnt ist und dann durch eingewanderte Arten besiedelt wird, wobei diese sich dort verändern. Diese Erklärungen beinhalten die Vorstellung von „Vorfahren“ und „Veränderungen der Arten im Laufe der Zeit“. Die Angabe einer „artfremden Kreuzung“ kann auf den Aufgabenkontext zurückführbar sein, da das Tier mit Hilfe von Ähnlichkeiten zu bekannten Tierarten geschildert wurde. Eine alternative Möglichkeit ist das Fehlen konkreter Vorstellungen oder eines Bezuges zu diesem abstrakten Fragenkomplex. Die häufige Angabe dies nicht zu wissen kann zur spontanen Generation einer Möglichkeit führen, die in anderen Zusammenhän-

gen nicht auftritt oder abgelehnt wird.

Auftreten neuer Variation

Die meisten Schüler (13) hatten keinen Erklärungsansatz für das plötzliche Auftreten der dunklen Variante des Birkenspanners.

Die Erklärungen der zehn Schüler lassen sich zu insgesamt fünf verschiedenen Kategorien ordnen. Drei Schüler erklärten hier nicht das Auftreten einer dunklen Variation. Zwei gingen von einer „Migration“ der dunklen Form aus anderen Gebieten aus und ein Schüler von einer dunklen „Färbung aufgrund von Schmutzablagerung“. Vier führten die Farbänderung auf die „Aktivitätszeit“ des Tieres zurück, hierbei diente Anpassung als Erklärung. *„Die dunkle Form tritt vielleicht wegen der Nacht auf, weil es da ja auch dunkel ist.“* (110-115, S22V). Ein Schüler erkannte einen Zusammenhang zum Beispiel der Giraffe und ging von gemeinsamen Prinzipien aus. Allerdings erklärten vier Schüler das plötzliche Auftreten der dunklen Form durch „Abweichung“ bzw. „Mutation“ oder als „zufälliges Ergebnis einer Paarung“. *„Vielleicht gab es auch Birkenspanner die nicht so viele weiße Flecken hatten, die also mehr schwarz als weiß waren. Die haben sich vielleicht gepaart und da ist etwas Dunkles bei rausgekommen.“* (78-81, S5V)

Die Schüler dieser Altersgruppe haben kaum Vorstellungen über die Ursache von Variationen, viele der Befragten können hierzu keine Erklärungsmöglichkeit angeben. Es existieren in diesem Zusammenhang anscheinend auch nicht viele Alternativvorstellungen. Eine mögliche Erklärung ist ein typologisches Denken der Schüler, Variationen und Variabilität wird nicht wahrgenommen, ebenso wenig zufällige plötzliche Veränderungen von Individuen. Arten werden als statisch und stabil angesehen. In einigen Erklärungen wird deshalb das Problem auch nicht geklärt, sondern nur verschoben wie z.B. bei Einwanderung einer dunklen Form.

8.1.1.4 Artkonzept

Variationen und Artkonzept bei Bänderschnecken

Die Mehrzahl (57%) der 21 Schüler, die eine Aussage in Bezug auf die Anzahl der auf der Abbildung dargestellten Arten von Bänderschnecken machen, war der Meinung, es handelte sich um Tiere einer Art. Insgesamt 38% der Schüler waren der Auffassung, auf der Abbildung seien Tiere verschiedener Arten dargestellt. Diese Schüler setzen häufig die Anzahl an Farbvarianten gleich der Artanzahl. *„Ich meine, dass sind mehrere Arten, weil durch die Farbe sind die schon anders. Ja, ich würde das nach dem Aussehen, nach der Farbe bestimmen.“* (92-105, S9V)

Tabelle 71: Prozentuale Zustimmung bzw. Ablehnung der Möglichkeit von Nachkommen aus inter- und intra-spezifischen Kreuzungen

	intraspezifische Kreuzungen		interspezifische Kreuzungen	
	Dogge / Chihuahua	Dogge / Wolf	Fuchs / Wolf	Rind / Wolf
Zustimmung (in%)	78	77	48	6
Ablehnung (in%)	22	23	52	94

Etwas mehr als die Hälfte gibt die Zugehörigkeiten der Bänderschneckenvarianten zu einer Art an. Für diese Schüler können Individuen einer Art demnach in ihrem Erscheinungsbild relativ stark variieren. Der Anteil der Schüler, welche die Ansicht der Zugehörigkeit zu mehreren Arten vertreten, ist aber ebenfalls hoch. Für einige Schüler scheint ein Zusammenhang zwischen den sichtbaren Unterschieden in einem Merkmal mit der Zugehörigkeit zu unterschiedlichen Arten zu bestehen. Dies kann auf ein fehlendes Verständnis innerartlicher Variation hindeuten.

Anwenden des Artkonzeptes: Kreuzung und Nachkommen von Tieren

Die Zustimmung zu der Möglichkeit der Entstehung von Nachkommen aus intra- bzw. interspezifischen Kreuzungen war in der Probandengruppe sehr unterschiedlich. Die fachlich angemessene Zustimmung einer möglichen Kreuzung von Individuen einer Art war in beiden Fällen vergleichbar. Hier stimmten über drei Viertel der richtigen Antwort zu. Dazu fällt im Vergleich das Antwortverhalten bei Kreuzungen von Individuen zweier verschiedener Arten sehr heterogen aus. Im Fall von Wolf und Rind lehnten fast alle Befragten die Möglichkeit einer Kreuzung ab. Hingegen wurden im Fall von Fuchs und Wolf beide Antwortalternativen etwa in gleichem Maß gewählt (vgl. Tab. 71).

Eine Begründung der Antworten erfolgte von den Schülern unterschiedlich, wobei Begründungen in Bezug auf Systematik und Verwandtschaft auftraten. In Klammern ist nachfolgend die Anzahl der Kodierungen und die Anzahl der Schüler angegeben. Am häufigsten trat in diesem Zusammenhang mit 23 Nennungen bei 18 Befragten eine Begründung aufgrund „Abstammung“ bzw. „Verwandtschaft“ oder die „Zugehörigkeit zu Arten“, welche insgesamt 22mal von 15 Schülern angeführt wurde, auf. Vier Schüler argumentierten über „Rasenzugehörigkeit“. *„Dogge und Wolf könnten sich paaren, die könnten sich theoretisch paaren, weil der Hund stammt ja in direkter Linie vom Wolf ab und der ist ja auch ziemlich groß.“* (125-136, S1V Abstammung). *„Nein Rind und Wolf könnten sich nicht paaren, weil das ganz verschiedene Tierarten sind.“* (144-171, S19V Arten). Andere Begründungszusammenhänge bezogen sich auf Ähnlichkeiten bzw. Un-

terschiede zwischen den Tieren. Hierbei werden Begründungen in Bezug auf „Körpergröße“ (13, 9 S.), „Nahrung / Lebensraum“ (11, 9 S.), „Aufbau“ (4, 2 S.), „Typ“ (2, 2 S.) oder allgemein die „Menge an Unterschieden“ angeführt (11, 9 S.). *„Nein Rind und Wolf könnten sich nicht paaren. Das sind ja eigentlich zwei ganz verschiedene Organismen, die Kuh ist ein Wiederkäuer und der Wolf schlingt eigentlich alles so runter, was er kriegen kann...“* (125-136, S1V Nahrung). *„... Wolf und Fuchs geht eher nicht, weil der Fuchs eigentlich im Aufbau zwar schon ähnlich ist wie der Wolf, aber eben nicht gleich...“* (106-121, S5V Aufbau). *„Fuchs und Wolf denke ich ginge auch, weil die sind ja auch nicht gerade größenunterschiedlich.“* (116-129, S7V Körpergröße).

Außerdem traten Begründungen auf, die als nicht fachlich gesehen werden, wobei das „Verstehen“ bzw. „Vertragen“, ob sich die Tiere begegnen oder kennenlernen, oder sie Wild- oder Haustiere sind, eine Rolle spielte. Erstere sind anthropomorphe, individuelle Begründungen. Für einige Schüler spielte in ihrer Entscheidung auch die „Vorstellbarkeit“ eine Rolle, es wird angeführt, es entstünde eine „komische Mischung“ oder eine Mischung sei nicht vorstellbar. Zwei Schüler sind der Ansicht, eine Kreuzung sei generell immer möglich. *„Auch Fuchs und Wolf wenn die sich gut verstehen. Ich denke, dass das eigentlich überall geht.“* (103-112, S2V Verstehen). *„Nein, ich glaube nicht Dogge und Wolf, weil der Wolf hat ja noch so seine Instinkte und wenn er, ich glaube der würde sich nicht irgendwie mit jemand paaren den er gar nicht kennt...“* (120-135, S24V Kennenlernen). *„Ich kann mit das einfach nicht vorstellen, Chihuahua und ein Dogge paaren sich und dann das Kind könnte ich mir gar nicht vorstellen.“* (136-156, S9V). Die wenigsten Schüler verwenden für die verschiedenen Kreuzungen einheitliche Begründungen. Häufiger treten unterschiedliche Begründungszusammenhänge bei einem Schüler auf.

Die Schüler stimmen der Möglichkeit von Nachkommen aus intraspezifischen Kreuzungen überwiegend zu, während die Zustimmung bei den interspezifischen Kreuzungen uneinheitlich ausfällt. Die häufig richtige Angabe im Kontext der innerartlichen Kreuzung kann auf den Bekanntheitsgrad der gewählten Beispiele zurück zu führen sein. Den meisten Schülern sind Hunde aus dem Alltag bekannt und möglicherweise ebenfalls die Abstammung des Hundes vom Wolf. Die starke Ablehnung einer zwischenartlichen Kreuzung bei dem Beispiel Rind und Wolf ist auf die markante Unterschiedlichkeit der Arten zurück zu führen. Sind die verschiedenen Arten im äußeren Erscheinen und Lebensweise ähnlicher, wie das bei Fuchs und Wolf der Fall ist, wird eine zwischenartliche Kreuzung eher akzeptiert. Mögliche Kreuzungen werden nicht konsistent in allen Fällen auf das Konzept „Verwandtschaft“ bzw. „Art“ zurückgeführt, es werden in unterschiedlichen Kontexten unterschiedliche Begründungen von den Schülern gewählt.

8.1.2 Interviews nach dem Unterricht zur Anpassung durch Selektion

8.1.2.1 Bezug zum Unterricht, Begriffe und Zusammenhänge

Themen im Unterricht

Auf die Frage, nach der Thematik des Biologieunterrichts ein- bis zwei Wochen nach dem erfolgten zur Anpassung durch Selektion, gaben diese mit 65% an, sie hätten über „Veränderung von Genen, Arten oder Tieren“, die „Anpassung“ oder „Evolution“ gesprochen und nahmen zum Teil auch Bezug auf ein Beispiel. Deutlich weniger Schüler (30%) gaben an, sie hätten „Kreuzung“, „Zucht“ und „Selektion“ behandelt, wobei nicht direkt der Begriff Selektion genannt wurde, sondern auch Überleben oder Fortpflanzung von Individuen mit bestimmten Merkmalen angegeben wurde. „Selektion“ trat hier allerdings fast immer in Kombination mit Angaben von Veränderung auf. Andere Begriffe wie z.B. „Variation“ oder „Mutation“ wurden in diesem Zusammenhang eher selten genannt. Die seltene Nennung von „Tarnung“ erstaunte, da Tarnung relativ häufig bei der Erklärung von Angepasstheit verwendet wurde. *„Wir haben viel mit Züchtung gemacht, ja also z.B. auch mit Selektionstheorie von Darwin, also auch natürliche Selektion oder künstliche Selektion bei der Züchtung kommt ja die künstliche Selektion vor. Und wir haben auch so noch ein bisschen etwas erfahren, dass sich doch manche Tiere mit welchen paaren kann was man jetzt eigentlich nicht so direkt denkt eigentlich.“* (2-3, S18N, Zucht, Selektion, Kreuzung, Darwin)

Das zentrale Thema des Unterrichts scheint für mehr als die Hälfte der Schüler die „Veränderung von Lebewesen“ gewesen zu sein. Allerdings war die Bandbreite der Antworten groß. Die konkrete Angabe eines übergeordneten Themas des über einen längeren Zeitraum erfolgten Unterrichts fällt den Jugendlichen in diesem Alter nicht leicht, eher werden einzelne Elemente angeführt.

Verständnis Anpassung

In Bezug darauf, was Schüler unter Anpassung verstehen, beschrieben mit 44% die meisten Schüler eine „Anpassung an die Umwelt“, wobei Natur bzw. Umgebung genannt wurden. Ebenfalls, wenn auch deutlich weniger häufig (15%), wurde Anpassung in Zusammenhang mit einem „Vorteil“ genannt, wobei die Erklärung nicht finalistisch war, sondern nur ein Tarnungsvorteil beschreibend genannt, oder „Vererbung“ bzw. „Paarung“ angeführt wurde. Andere Erklärungen mit fachlich richtigen Bestandteilen (Schlüsselkonzepte) traten nur vereinzelt auf. Als alternative Vorstellungen lassen sich in den Aussagen Aspekte eines „finalistischen Vorteils der Anpassung“ (3mal), das „Aufsuchen der passenden Umgebung“ (3mal) oder die Angaben „Tiere passen sich selbst

aktiv an die Umgebung an“ (2mal) finden. Im Vergleich zu anderen Kontexten sind diese Nennungen an dieser Stelle relativ selten. Einige Schüler verdeutlichten ihre Aussage durch das Nennen von Beispielen für angepasste Tierarten. Als prominenteste Vertreter wurden Schneehase (4mal), Eisbär (3mal) und wandelndes Blatt (3mal) aufgeführt, dies sind alles Beispiele die im Unterricht auftraten.

Anpassung wird von den Schülern nicht als Prozess, sondern als Ergebnis und somit als ein statisches Endprodukt aufgefasst und angegeben. Im Zusammenhang mit Anpassung wird ein Bezug zur Umgebung beschrieben.

Erklärung der Begriffe Mutation, Variation, Vererbung, natürliche Selektion und Evolution

Die Schüler verbanden mit Evolution nach dem Unterricht die „Entwicklung und Veränderung von Arten“. Diese beiden Kategorien traten mit je fünf bzw. vier Nennungen am häufigsten unter den insgesamt gebildeten acht Kategorien auf. Allerdings gaben nur 15 Schüler eine Erklärung von Evolution im Interview an, wie z.B. *„... und Evolution das sich halt das immer verändert, wie z.B. die Menschen stammen vom Affen ab und der Affe hat sich ja immer weiter entwickelt.“* (8-9, S27N Veränderung). Natürliche Selektion wurde von drei Schülern mit „selektivem Überleben“ oder „Züchtung“ erklärt. Allerdings verwendeten hier sechs Schüler „Paarung“ in ihrer Erklärung. Dieser überraschend relativ häufige auftretende Zusammenhang kann unter dem Aspekt der Abgrenzung dieses natürlichen Prozesses zur künstlichen Selektion gesehen werden, welcher aus der Unterrichtssequenz resultieren könnte. *„Natürliche Selektion ist das die Tiere sich praktisch selber züchten, das sie sich selber auswählen und dadurch diese Unterschiede.“* (8-9, S4N, Paarung). Viele Schüler nannten im Zusammenhang mit „Variation“ das Vorhandensein von Unterschieden, eine Verschiedenheit der Individuen oder auch der Merkmale, wobei allerdings eine genauere Erklärung nicht erfolgte. *„Variation das sind irgendwelche bestimmten Merkmale“* (12-13, S20N). Die meisten Angaben erfolgten bei der Beschreibung der „Mutation“. Von den insgesamt 29 Kodierungen entfielen zwei Drittel (66%) auf die Erklärungen, Mutation sei eine plötzliche Veränderung. Sieben Schüler gingen noch auf die Zufälligkeit von Mutationen ein. *„Mutation das ist eine unvorhersehbare Veränderung der Erbsubstanz.“* (8-9, S17N).

Angaben der Schüler zum Begriff „Evolution“ beziehen sich auf die Entwicklung und Veränderung von Lebewesen und zum Begriff „Variation“ auf Unterschiede der Lebewesen. Von den Begriffen wird am häufigsten „Mutation als plötzliche Veränderung“ genannt. Diese Erklärung entspricht meistens der Definition aus dem Unterricht, die von den Schülern reproduziert wird. Es erstaunt, dass diese Definition im Vergleich zu den anderen Begriffsdefinitionen deutlich

Tabelle 72: Häufigkeit der Nennung von Begriffen und Anzahl versch. Begriffsverbindungen

	verbundene Begriffe	Nennungen insgesamt
Züchtung	3	38
Zuchtziel	6	35
künstl. Selektion	6	34
Vererbung	7	23
Anpassung	5	22
Umwelt	4	19
natürl. Selektion	3	18
Art	6	12
Variation	5	10
Mutation	5	7
Evolution	3	4
Merkmale	2	2

häufiger von den Schülern angegeben wird. Möglicherweise spielt die geringere Vorerfahrung mit dem Begriff, der in der Alltagssprache vermutlich weniger vorkommt als z.B. der Begriff Anpassung, eine Rolle. Die Schüler können die Begriffe aus dem Unterricht nicht alle überzeugend erklären oder definieren, so wird natürliche Selektion nur im Zusammenhang mit Paarung erklärt.

Zusammenhang der Begriffe Anpassung, Art, Vererbung, künstliche Selektion, Züchtung, Zuchtziel, Mutation, Variation, Vererbung, natürliche Selektion und Evolution

Die Zusammenhänge zwischen Begriffen wurden bei ihrer Nennung unabhängig von einer Erklärung kodiert. Insgesamt wurden bei den 27 hierzu befragten Schülern insgesamt 121 Zusammenhänge angeführt. Im Mittel wurden von jedem Schüler 4,48 Zusammenhänge genannt. Die Anzahl der Zusammenhänge, die einzelne Schüler aufführen, ist mit einer Bandbreite von ein bis acht Zusammenhängen mit bis zu zwölf verschiedenen Begriffen sehr unterschiedlich. Am häufigsten wurden mit 37% vier Verbindungen von einem Schüler zwischen Begriffen hergestellt. Von 22% der Befragten wurden drei Zusammenhänge angeführt. Deutlich weniger bildeten mehr Zusammenhänge, fünf, sechs oder sieben Beziehungen traten nur bei jeweils 11% der Lernenden auf.

Am häufigsten wurden mit jeweils über dreißig Nennungen die Begriffe „Züchtung“, „Zuchtziel“ und „künstliche Selektion“ in Verbindung mit anderen Begriffen gebracht, hierbei wurden sehr häufig Verbindungen untereinander

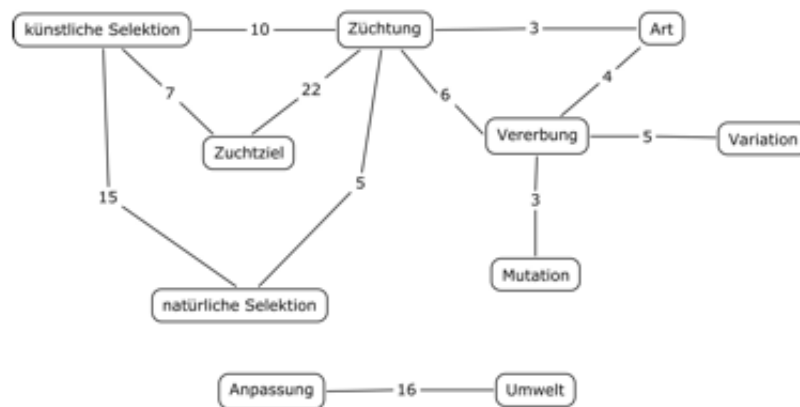


Abbildung 26: Häufigkeit der genannten Begriffszusammenhänge

der hergestellt, wie die häufige Nennung der Verbindung zwischen „Züchtung“ und „Zuchtziel“ zeigt. An zweiter Stelle in Bezug auf die Häufigkeit traten mit je über zwanzig Nennungen „Vererbung“ und „Anpassung“ auf. Anpassung wurde fast nur in Beziehung zur Umwelt genannt, Vererbung hingegen wurde nicht so exklusiv mit einem, sondern mit vier verschiedenen Begriffen, Züchtung, Variation, Art und Mutation, in vergleichbarer Häufigkeit in Verbindung gebracht. Wie in Tabelle 72 auf der vorherigen Seite ersichtlich, beziehen sich mehr als drei Viertel (79%) der genannten Zusammenhänge auf elf verschiedene Beziehungen zwischen zehn unterschiedlichen Begriffen. Andere Relationen traten nur vereinzelt auf.

Im Mittel bilden die Schüler 4,48 Zusammenhänge zwischen den Begriffen Anpassung, Art, Vererbung, künstliche Selektion, Züchtung, Zuchtziel, Mutation, Variation, Vererbung, natürliche Selektion und Evolution, wobei zu 79% elf verschiedene Begriffsrelationen gebildet werden. Zwischen Züchtung und den beiden Selektionsformen wird vergleichbar häufig ein Zusammenhang hergestellt, was möglicherweise durch die Ähnlichkeiten in den Termini verursacht wird (vgl. Abb. 26). Die Reihenfolge der Einführung der Begriffe in der Unterrichtssequenz kann ebenfalls relevant sein, so dass der Begriff Züchtung mehr eingebunden wird.

Im Vergleich zur „Anpassung durch natürliche Selektion“ wurde „Züchtung durch künstliche Selektion“ im zeitlichen Verlauf der Unterrichtsreihe zuerst behandelt, wobei alle Begriffe explizit im Unterricht definiert wurden. Der häufig angeführte Zusammenhang zwischen „Anpassung“ und „Umwelt“ kann als Beschreibung ohne weitere Erklärung aufgefasst werden. Positiv in Bezug auf einen Lernzuwachs durch Unterricht ist das Auftreten von Zusammenhängen mit den Begriffen Vererbung, Art, Mutation und Variation zu bewerten. Allerdings scheinen die Begriffe Mutation und Variation, ebenso selten wie natürliche Selektion und Anpassung für die Schüler eine Relation zu bilden.

Offensichtlich werden von den Lernenden in der Interviewsituation nicht die Verbindungen des am Ende des Unterrichts erarbeiteten Concept maps reproduziert.

Simulation der natürlichen Selektion

Die Computersimulation EvoDots

Aufgrund von technischen Problemen in einer Schule beim Computereinsatz im Unterricht konnten zu der EvoDots-Simulation nicht alle Schüler befragt werden. Immerhin konnten aber mehr als drei Viertel der Schüler (80%) im Interview nach dem Unterricht ihre Vorgehensweise bei der Durchführung der Simulation beschreiben. Dabei wurde fast von allen Schülern eine Veränderung der EvoDots über den Zeitraum der Simulation unter der Angabe, dass am Ende nur noch die schnellsten EvoDots vorhanden sind, formuliert. Die Schüler begründeten das „unterschiedliche Überleben“ der EvoDots überwiegend im Zusammenhang mit der „Variation“ der EvoDots. *„Bei EvoDots haben wir versucht so viele Punkte wie möglich auszuschalten und die, die man nicht ausschalten konnte, die haben dann überlebt. Also die haben sich dann verdoppelt. Weil manche Punkte viel schneller waren, konnten die auch besser überleben und die zum Schluss waren dann z.B. die orangenen, weil die am schnellsten waren, als einzige noch übrig.“* (12-15, S2N). Mit nur 20% stellten nur wenige Befragte selbstständig einen übergeordneten Bezug zu „Anpassung“ her. *„...also ich glaube die roten die waren ganz schnell, waren schwer auszulöschen und die lilanen und die blauen, also die langsam waren, die waren am Ende ganz weg, weil man die leicht auslöschen konnte. Das ist auch eine Anpassung, weil die schnelleren die vermehren sich dann ja und die langsamen die werden immer weniger,...“* (28-31, S26N). Insgesamt 15 Schüler wurden im Anschluss nach ihrer Beschreibung gefragt, in wie fern die Simulation Anpassung erklären kann. Hierbei bildeten 80% der Probanden einen Zusammenhang zwischen einer „Merkmalsvariation“, „Anpassung“ und Überlebenswahrscheinlichkeit, was als „selektives Überleben“ eingeordnet wurde. In drei Fällen konnte die Aussage allerdings auch als Vorstellung einer „aktiven Anpassung“ interpretiert werden. *„Das hat mit Anpassung zu tun, dadurch, dass sie sich an ihr Umfeld anpassen, das die langsameren eben aussterben und die schnelleren sich eben sozusagen an die Umwelt anpassen und dadurch angepasst sind.“* (20-21, S5N). Weitere Zusammenhänge wie z.B. ein Bezug zur Umgebung wurden in diesem Zusammenhang selten angeführt.

Die Simulation EvoDots bleibt den Schülern so im Gedächtnis verhaftet, dass die meisten auch nach einiger Zeit in der Lage sind, den Ablauf zu beschreiben und eine Veränderung der Evodots unter Bezug zur vorhandenen Variation im Simulationsverlauf anzugeben. Auf Nachfragen können die meisten Probanden

einen Bezug zur „Anpassung“ als Folge von „selektivem Überleben“ herstellen. Der Aspekt der „selektiven Fortpflanzung“, der in der Simulation in Form der identischen Verdopplung direkt dargestellt wird, wird hingegen nicht angeführt. Entweder wird dieser Aspekt implizit angenommen und dann ist aus Sicht der Schüler keine Nennung zur Erklärung notwendig oder er wird nicht wahrgenommen. Die unterschiedliche Fortpflanzung der Individuen wird auch in anderen Zusammenhängen im Interview weniger häufig als unterschiedliches Überleben bei der Erklärung von Anpassung verwendet.

Evodots – Bedeutung der Variation

Im Zusammenhang mit Evodots wurden dreizehn Probanden nach der Bedeutung von Variation in Bezug auf die konkrete Simulationsumgebung gefragt. Die Mehrheit lehnte die Möglichkeit der Veränderung uniformer Evodots ab, nur ein Proband ging von einer weiteren Veränderung aus. Fast die Hälfte der Schüler, die eine Veränderung ohne Variation ablehnten, gingen bei plötzlich auftretender Variation als Folge einer Mutation von der sich damit ergebenden Möglichkeit der Veränderung aus. *„Wenn man variabel abhakt, dann können sich diese Punkte nicht mehr verändern, weil die anderen ja nicht da sind und deswegen werden immer die Grünen überleben, bis sie ganz ausgerottet sind. Ja, es könnte eine Veränderung stattfinden, es könnte natürlich eine Mutation erfolgen. In dem Programm wäre dann plötzlich ein roter Punkt da.“* (20-27, S₄N)

Am konkreten Beispiel der Simulation können die meisten Schüler die Bedeutung der Variation folgern und lehnen eine Veränderung ohne Variation ab. Ohne direktes Nachfragen beziehen Schüler die Möglichkeit einer Mutation ein, was eine Transferleistung darstellt. Die Simulation scheint die zum Verständnis notwendige Transparenz für die Schüler zu liefern und nicht zu abstrakt zu sein.

Evodots – Darwins Voraussetzung für die Veränderung von Arten

Nur wenige der befragten Schüler konnten die im Unterrichtsmaterial thematisierten Voraussetzungen für die Veränderung von Arten nach Darwin angeben. Fünf Schüler gaben an, dies nicht zu wissen und drei, es im Unterricht nicht behandelt zu haben. Nur ein Schüler war in der Lage, sich in seiner Aussage auf „Variation“, „Selektion“ und „Vererbung“ zu beziehen. In den Aussagen von neun Schülern wird Selektion mit sechs Nennungen häufiger als Variation, die dreimal genannt wurde, angeführt. Allerdings wurde Selektion in diesem Zusammenhang, wie das folgende Zitat zeigt, nicht immer fachlich richtig umschrieben. *„Ja, wir haben auch über Darwin gesprochen, wir hatten eine Hausaufgabe auf, da sollten wir gucken was Darwin so meint und wie er gelebt hat und wann er*

gelebt hat. Dann hat man halt so im Internet geguckt. Er meint auch dass immer die Besten überleben. Das ist auch hier der Fall, die Schnellsten überleben.“ (42-47, S8N).

Fast kein Schüler kann die in der Unterrichtsreihe thematisierten Voraussetzungen für die Veränderung der Arten wiedergegeben. Es wird offensichtlich, dass leider nicht alle Lehrer den Vorgaben folgten und das Material, vermutlich aus Zeit- oder Computerproblemen, nicht genau wie in der Planung beschrieben eingesetzt haben. Dadurch wird an dieser Stelle nicht deutlich, ob die Verständnisprobleme aus diesen Gründen oder aus der Schwierigkeit des Materials bzw. des Sachverhaltes selber resultieren. Es kann somit an diesem Punkt keine weitere Analyse erfolgen.

8.1.2.2 Wissen und Akzeptanz von Evolution

Entstehen, Veränderung und Aussterben von Lebewesen

Entstehung von neuen Arten im Laufe der Erdgeschichte

Der hohe Anteil der Schüler, welche von der Möglichkeit der „Neuentstehung von Arten“ überzeugt war, hat sich durch den Unterricht nicht verändert, ebenso wenig die Anzahl an Schülern, die sich auf eine „Veränderung von Arten“ beziehen, also eine Vorstellung von Vor- und Nachfahren haben. Verändert hat sich aber die Art der Aussagen. Es wurden nicht mehr einzelne konkrete Beispiele genannt, die auf eine Veränderung von Arten indirekt schließen ließen, sondern es wurde ein direkter Bezug zur Veränderung von Arten genommen. Sechs Schüler gaben einen Zusammenhang der „Veränderung von Arten“ und „Umweltveränderungen“ an. *„Ich glaube die Tiere verändern sich, weil es wird ja auch immer wärmer auf der Erde, und die werden sich da auch anpassen, das vielleicht ein kürzeres oder dünneres Fell bekommen werden.“ (55-56, S23N).*

Die Schüler weisen nach wie vor eine hohe Akzeptanz in Hinsicht der „Veränderbarkeit von Arten“ und der Möglichkeit der „Neuentstehung von Arten“ auf. Diese ist nach dem Unterricht allerdings nicht merklich höher als vor dem Unterricht. Die Ursache kann ein Deckeneffekt sein, oder darin begründet sein, dass im Unterricht eher die Artveränderung in Form von „Anpassung“, als die Neuentstehung thematisiert wird und diese Transferleistung von Schülern dieser Altersstufe im Interview hier nicht geleistet wird.

Nutzen und Schöpfung

Die Überzeugung der Schüler in Bezug auf eine Schöpfung von Tieren und Pflanzen zum Nutzen der Menschen hat sich verändert. Waren vorher zu nahezu gleichen Anteilen Akzeptanz, Ablehnung oder gemischte Meinungen in der Probandengruppe vertreten, lehnten nach dem Unterricht mit 64% weit mehr als die Hälfte der Schüler die Schöpfung der Lebewesen zum Nutzen der Men-

schen ab. Dieser Anteil hat sich im Vergleich zum ersten Zeitpunkt verdoppelt. Hingegen ist sowohl der Anteil der Schüler, welche die Aussage akzeptieren (20%), als auch der Anteil der Schüler die weder die Aussage akzeptieren noch ablehnen (16%) geringer geworden. Von den Schülern, bei denen zu beiden Zeitpunkten eine Einordnung in eine der drei Gruppen erfolgen konnte, bleibt die Ansicht der ablehnenden Schüler konstant. Hingegen wechselten 50% der Schüler, welche die Aussage akzeptieren, ihre Meinung. Ein Viertel der Schüler, welche die Aussage ablehnten, gaben als logische Begründung den Zeitpunkt der „Entstehung von Arten“ allgemein oder konkret den Menschen an. *„Tiere und Pflanzen sind nicht zum Nutzen für uns Menschen erschaffen, die Tiere waren ja eigentlich vor uns Menschen da, Haie oder so und wir sind eigentlich mit aus denen entstanden, aus Affen. Das heißt die sind eigentlich zu beiden nutzen da.“* (57-58, S23N). Die Anzahl der Schüler, welche eine grundlegende „Sinnhaftigkeit von Lebewesen“ annahmen, hat im Vergleich zu vor dem Unterricht von 33% auf 8% abgenommen. Allerdings lehnten die beiden Schüler welche nach dem Unterricht Bezug zu einer Sinnhaftigkeit nahmen, zwar die Aussage der „Schöpfung zum Nutzen des Menschen“ ab, akzeptierten aber eine „Schöpfung von Lebewesen“. *„Nein, ich glaube nicht das Tiere und Pflanzen zum Nutzen für uns geschaffen worden sind sondern auch zum Nutzen für die Umwelt. Ja, ich glaube das sie erschaffen worden sind.“* (70-72, S20N.)

Auffällig ist der Zusammenhang von einer Vorstellung des „Nutzens der Lebewesen“ und Akzeptanz der Aussage. Alle Probanden, die in von einer Nützlichkeit ausgingen, akzeptierten die Aussage „Tiere und Pflanzen sind zum Nutzen der Menschen geschaffen“. Dies unterstützt den Befund aus den Interviews vor dem Unterricht, wonach für die Schüler der erste Aspekt des „Nutzens“ der Aussage im Vordergrund steht und nicht der Aspekt „Schöpfung“.

Die Vorstellung einer „Schöpfung zum Nutzen des Menschen“ wird von 64% der Probanden und damit zu einem größeren Teil als vor dem Unterricht abgelehnt. Ebenso gehen weniger Schüler von einer „grundlegenden Sinnhaftigkeit“ aus. Die Vorstellung einer „Nützlichkeit von Lebewesen“, sei es Haustiere für den Mensch oder die Vorstellung Pflanzen seien nützlich, tritt bei allen Schülern auf, welche die Aussage Pflanzen und Tiere sind zum Nutzen der Menschen geschaffen akzeptieren. Dies kann möglicherweise an der Thematisierung der künstlichen Selektion im Unterricht und der dabei aufgezeigten Veränderung von Pflanzen und Tieren durch den Menschen liegen. Möglicherweise haben die Schüler die unterschiedlichen Prinzipien von „Anpassung durch natürliche Selektion“ und „Züchtung durch künstliche Selektion“ nicht als getrennt verstanden. Auf der anderen Seite kann gesteigerte Ablehnung der Vorstellung einer „Schöpfung zum Nutzen des Menschen“, in Zusammenhang

mit einem Verständnis der natürlichen Veränderung von Arten ohne Eingriff einer schöpferischen Kraft oder des Menschen gesehen werden.

8.1.2.3 Vorstellung zu der Entstehung von Anpasstheit (Evolutionenmechanismen)

Artveränderung

Entstehung des langen Giraffenhalses

Nach der Unterrichtsintervention gab nur ein Schüler an, keine Vorstellung zur Entstehung des langen Halses der Giraffen zu haben. Zwei Schüler beschrieben in ihren Aussagen eine „Anpassung“ bzw. „Weiterentwicklung“, wobei die Aussagen dieser beiden Schüler mehr Aspekte als die reine Beschreibung beinhalteten. In fünf Aussagen fanden sich auch nach dem Unterricht Bezüge zu einer „schrittweisen Veränderung mit der Zeit bzw. Generationen“, wobei aber nur eine Erklärung (vgl. Zitat) hierbei nicht auch Schlüsselkonzepte mit grundlegenden Selektionsvorstellungen aufwies. *„...früher war jetzt z.B. eine ganz kleine Giraffe mit kurzen Beinen und kurzem Hals und die konnte dann halt nicht so an die Blätter kommen und dann hat die sich über die Jahre halt entwickelt, also so an die Umwelt angepasst, dass also jetzt nicht die gleiche Giraffe, aber also die Art, dass sie dann irgendwann einen langen Hals bekommen hat. Das war irgendetwas mit einer natürlichen Selektion und also der Anpassung aber ich weiß jetzt nicht mehr genau was.“* (24-28, S17N). Bei der Betrachtung der Schlüsselkonzepte war in diesem Kontext nach dem Unterricht eine deutliche Zunahme zu vermerken, die Anzahl der Kodierungen dieser Gruppe hatte sich mit einer Zunahme von 13 auf 46 mehr als verdreifacht. Erklärungen berücksichtigten häufiger die als „Variation“ kodierte individuelle Unterschiedlichkeit, die mit 60% bei über der Hälfte der Aussagen auftrat. Aspekte von „Selektion“ fanden sich erst nach der Intervention in nennenswerter Anzahl in Aussagen, wobei „selektives Überleben“ mit 44% etwas häufiger als „selektive Fortpflanzung“ mit 28% auftrat und in den meisten Fällen kombiniert wurde. *„...Mit der Zeit sind die kleineren, also mit kürzerem Hälsen ausgestorben, weil sie eben nichts zu fressen gefunden haben. Dadurch gab es eben nur größere mit längeren Hälsen, die haben sich gepaart und dadurch kamen dann immer längere Hälse raus und dadurch ist der Hals länger geworden.“* (40-41, S5N). Im Vergleich zu den Interviews vor dem Unterricht haben sich Art und Häufigkeit alternativer Erklärungsbestandteile reduziert. Es trat nur noch die Hälfte an lamarckistischen Erklärungen auf, darunter nur in einem Fall eine Kombination der Kodierungen „Vererbung erworbener Merkmale“ und Streckung als „Veränderung durch Gebrauch“. *„...ich glaube, dass die sich früher halt immer so gestreckt haben, um halt an Bäume zu kommen, weil die da essen und Bäume sind ja nicht gerade klein und dann strecken die sich und dann glaube ich, hat sich das dann so entwickelt. Ich glaube jetzt nicht sofort, wenn sie auf die Welt kommen*

haben die Kinder dann einen längeren Hals, aber ich glaube schon wenn sie jetzt ausgewachsen wären.“ (24-27, S14N). Bis auf eine Ausnahme gaben Schüler exklusiv lamarckistische Bestandteile in den Aussagen an, aber keine Kombination mit Schlüsselkonzepten oder anderen Kodierungen. Der Anteil finalistischer Vorstellungen beträgt nach dem Unterricht nur noch 24% des Anteils vor dem Unterricht und ist somit ebenfalls deutlich reduziert. Hierbei formulierten die Schüler meistens einen „Zwang“, z.B. *um zu überleben*, sehr selten erfolgte die Angabe eines „Wunsches“ bzw. „Willens“ oder eines „Anpassungsvorteils als Ziel“ des Anpassungsprozesses. *„Die Giraffe kommt besser an die Bäume dran, an das Futter oben in den Bäumen. Weil die nicht klettern kann und muss sie dann einen langen Hals haben, um zu überleben. Ja, ich würde die Entwicklung erklären, dass sie einen lange Hals haben muss und die konnten auch besser Raubtiere von weitem sehen.“* (40-43, S3N). Anders als bei den lamarckistischen trat bei den finalistischen Vorstellungen in 75% der Fälle eine Kombination finalistischer und anderer Erklärungsbestandteile auf. Darunter entweder Schlüsselkonzepte oder auch vereinzelt andere alternative Vorstellungen, wie „falsch verstandene Mutation“, „artfremde Kreuzung“, „Individualevolution“ und „Endpunkt der Entwicklung“. In manchen Fällen verwendeten Schüler auch zwei unterschiedliche Erklärungsalternativen in ihrer Aussage. *„Die Entwicklung des Giraffenhalses erkläre ich damit, dass vielleicht ja einmal eine Giraffe entstanden ist, die einen bisschen längeren Hals hatte. . . dann dachten bestimmt alle, das ist ein Glücksfall oder so etwas gewesen. Aber dann ist da noch eine mit einem etwas längeren Hals. Und dann haben sich die beiden mit den längeren Hälsen gepaart und dadurch sind dann die Großen entstanden. Oder die wollten einfach an die Blätter dran kommen, weil die sich sonst nicht richtig ernähren können und dann haben die das entwickelt. Die haben sich daran angepasst. Ich kann mir beides, Zufall und Wollen, gut vorstellen.“* (51-60, S9N). Die erste Erklärungsalternative geht von vorhandener Variation und innerartlicher, aber gezielter Kreuzung aus, die zweite hingegen ist anthropomorph geprägt. Die Anzahl der Schüler, die gemischte Konzepte als Kombination von Schlüsselkonzepten und sogenannten Fehlkonzepten haben, betrug sechs und war nach dem Unterricht unverändert. Allerdings hatte sich die Anzahl der Probanden, deren Aussagen nur Schlüsselkonzepte enthalten, mehr als verdoppelt und war von fünf auf elf Probanden angestiegen. Im Gegenzug ist die Anzahl der Schüler, die nur aus fachlicher Sicht nicht richtig zu bewertenden Bestandteilen zur Erklärung verwenden, von zehn auf sechs Schüler zurückgegangen.

Nach dem Unterricht geben fast alle Schüler eine Erklärung an, wie der lange Giraffenhals entstanden sein könnte. Die Verwendung von Schlüsselkonzepten hat sich verdreifacht und in 60% der Erklärungen wird eine Variation der Giraffen berücksichtigt. Allerdings kann diese Variation in einigen Fällen auch dichotom ausgeprägt sein und noch kein richtiges Variationsverständnis darstellen.

Es treten in einigen Aussagen Aspekte von Selektion auf. Die häufigere Angabe eines „selektiven Überlebens“ im Vergleich zu einer „selektiven Fortpflanzung“ kann darin begründet sein, dass letzteres durch ersteres für die Schüler impliziert wird, da es als sich daraus ergebende Folge verstanden und nicht angeführt wird. Die Verwendung alternativer Vorstellungen hat in der Häufigkeit abgenommen, es treten nur die Hälfte lamarckistischer und ein Viertel finalistischer Vorstellungen auf. Im Gegensatz zu den lamarckistischen Vorstellungen treten finalistische Vorstellungen in Kombination mit anderen Vorstellungen auf. Die explizite Verwendung von Schlüsselkonzepten in den Erklärungen einzelner Schüler hat sich mehr als verdoppelt, wobei die Anzahl von Probanden mit gemischten Erklärungen konstant geblieben ist. Im Hinblick auf einen Lernzuwachs durch den Unterricht ist diese Veränderung als positiv zu bewerten. Es ist allerdings anzumerken, dass die Gefahr einer Überbewertung besteht, da in Bezug auf das Beispiel der Giraffe keine reine Transferleistung vorliegt, da das Beispiel Giraffe Gegenstand eines Arbeitsblattes im Unterricht war.

Veränderung der Fellfarbe bei Mäusen

Bei der Aufgabenstellung wurden zwei Zustände eines fiktiven Anpassungsprozesses als Information durch Bildkarten (siehe Anhang) vorgegeben und erläutert. Die Schüler hatten weitere sechs Bildkarten zur Verfügung, welche sie zur Erklärung nutzen und ausgelegt konnten. Viele Schüler nahmen sie zur Hilfe, legten sie z.T. in Gruppen und Reihen aus, bevor sie eine Erklärung formulierten. Als häufigste Erklärung wurde von 81% ein „selektives Überleben“ angegeben. Eine damit verbundene „selektive Fortpflanzung“ wurde von etwa der Hälfte dieser Schüler zusätzlich gefolgert. „Mutationen“ wurde von über der Hälfte der Befragten (59%) zur Erklärung des Auftretens dunkler Individuen verwendet. Die Erklärungen von 22% der Probanden waren ohne alternative Vorstellungen und enthielten die vier als maximal in diesem Kontext zu erwartenden Schlüsselkonzepte „Umweltveränderung“, „Mutation“, „selektives Überleben“ und „selektive Fortpflanzung“. Ein Drittel (33%) verwendete drei dieser Konzepte, wobei das Fehlen des Konzeptes „selektive Fortpflanzung“ bei vier der neun Schüler darauf zurückgeführt werden kann, dass „selektives Überleben“ dieses implizierte und aus diesem Grunde das Konzept möglicherweise nicht genannt wurde. *„...Durch plötzliche Mutation sind schwarze dadurch gekommen, also dazu entstanden. Dann durch den Vulkanausbruch, vielleicht weil der Lava hinterlassen hat, also Lavafelder. Es gab aber noch mehr braune als schwarze Mäuse. Aber dadurch, dass Raubtiere eben die Mäuse gerne fressen, wurden die helleren besser gesehen und mehr gefressen. Dadurch entstanden immer mehr dunklere. Und dadurch, dass die eben mehr gefressen wurden, starben sie auch mehr aus. Und dadurch dass es eben weniger helle gab, vermehrten sich die braunen besser.“* Allerdings

verwendeten 30% der Schüler mindestens eine alternative Erklärung. Diese zeigen eine relativ große Bandbreite, meistens wurden eine, maximal zwei dieser Vorstellungen angeführt. Hier sind unter anderem anthropomorphe Vorstellungen, „aktive Anpassung“ und „umweltinduzierte Merkmalsveränderungen“ zu nennen. *„...Dann ist ein Vulkan in dem Gebiet ausgebrochen, dann haben die sich mutiert von braun auf schwarz, ... dann konnten die sich dann besser anpassen, weil die dunkel waren und dann wurde eine braune Maus oder mehrere braune Mäuse weggeschnappt und gefressen. Dann haben die anderen das gemerkt und haben sich auch so angepasst und dann wurden es immer weniger braune Mäuse. ...Zum Zusammenhang Vulkan und Mutation, glaube ich schon wegen der Asche, die herunter fällt, kann ja vielleicht eine Maus davon bedeckt werden oder das runter geschluckt haben oder so etwas und dann haben die sich gepaart und so kann es sein das schwarze Mäuse entstanden.“* (61-68, S9N)

Die meisten Schüler (81%) verwenden „selektives Überleben“, „Mutation“ (59%) oder „selektive Fortpflanzung“ (48%) in ihren Erklärungen. Die in diesem Kontext häufige Verwendung von Mutation in den Erklärungen liegt an der entsprechenden Bildkarte, so dass die gegebene Information nicht selbst generiert werden muss. Die Herstellung eines Zusammenhanges zwischen „Mutation“ und dem konkreten Beispiel kann von vielen Lernenden geleistet werden. Ebenso kann der dargestellte Beutegreifer in Bezug zu einem „selektiven Überleben“ der Individuen in Abhängigkeit von dem Merkmal Körperfärbung gesetzt werden. Die Lernenden sind mit konkretem Material und Vorgaben von Randbedingungen als Informationen eher in der Lage, richtige Erklärungsbestandteile in ihre Aussagen einzubauen. Insgesamt sind nach dem Unterricht über die Hälfte der Schüler (55%) in der Lage, ohne Verwendung alternativer Erklärungen ein konkretes Beispiel mit entsprechender Information grundlegend selektionstheoretisch zu erklären. Für dieses Aufgabenbeispiel bleibt allerdings anzumerken, dass durch das Material die Vorstellungen „dichotomer Variation“ und finalistische Erklärungen begünstigt sein könnten.

Aussetzen von Braunbären am Nordpol

Das Verhältnis von Annahme und Ablehnung einer Veränderung bei am Nordpol ausgesetzten Braunbären hatte sich nach dem Unterricht mehr als umgekehrt. Vor dem Unterricht war die Ablehnung einer Veränderung doppelt so hoch wie deren Akzeptanz, nach dem Unterricht hingegen gingen dreimal so viele Schüler von einer Veränderung aus. Die Schüler, die eine Veränderung vor dem Unterricht annehmen, änderten durch den Unterricht ihre Meinung nicht. Die ablehnenden Aussagen waren relativ kurz und knapp, es wurden wenige Begründungen angegeben, die sich auf „Aussterben“ oder „Konstanz der Erbanlagen“ beziehen. Der Anteil der Schüler, der Schlüsselkonzepte zur

Tabelle 73: Häufigkeiten von gruppierten Erklärungen der Schüler in Bezug auf eine Veränderung von Braunbären zu beiden Interviewzeitpunkten

Interviewzeitpunkt	ohne Erklärung	Beschreibungen	alternative Erklärungen	Schlüsselkonzepte
vor Unterricht	1 (14%)	3 (43%)	2 (29%)	1 (14%)
nach Unterricht	3 (16%)	4 (21%)	4 (21%)	8 (42%)

Erklärung nutzte, ist gestiegen. Vor dem Unterricht bezog sich nur ein Schüler, nach dem Unterricht hingegen bezogen sich sieben Schüler auf „Variation“ bzw. „Mutation“, vier erklärten zusätzlich die Veränderung durch „selektives Überleben“. Dieses Schlüsselkonzept tritt erst nach dem Unterricht auf. *„Wahrscheinlich würde der Braunbär dann Nachkommen kriegen und wenn er Glück hat oder die Nachkommen Glück haben, tritt eine Mutation ein, dass die dann eben weiß werden oder erst einmal heller und dann über die ganzen Jahre entwickelt sich das dann weiter und die können sich dann besser anpassen. Und durch natürlich Selektion überleben dann nur die weiß Angepassten und die Braunen sterben langsam aus.“* (26-27, S24N). Die Verknüpfung zwischen Ablehnung einer Veränderung und der Vorstellung von „konstanten Erbanlagen“ war nach dem Unterricht kaum noch vorhanden, die Anführung konstanter Erbanlagen trat nur noch vereinzelt auf. Betrachtet man die Aussagen der Schüler, die von einer Veränderung der Braunbären ausgingen, so lassen sich vier Gruppen unterscheiden. Die Schüler, die keine Erklärung ihrer Sichtweisen gaben, bildeten die kleinste Gruppe, welche nach dem Unterricht anteilig nicht merklich verändert war. Es nutzen zur Erklärung zwar mehr Schüler nach dem Unterricht alternative Vorstellungen, wie z.B. „artfremde Kreuzung“ zur Erklärung, der relative Anteil hatte aber im Vergleich zum ersten Interviewzeitpunkt abgenommen. Eine vergleichbar große Gruppe bildeten die Lernenden, welche statt einer Erklärung eine Beschreibung gaben, wobei sich der relative Anteil mit der Zeit halbiert hat. Diese Befragten bezogen sich auf eine „graduelle Veränderung“ oder zu einer Anpassung benötigten „Zeit“. Die Schüler, welche Schlüsselkonzepte wie „Variation“, „Mutation“ oder „selektives Überleben“ zur Erklärung ihre Entscheidung nutzten, bildeten die größte Gruppe. Wie oben angeführt werden diese nur vereinzelt vor dem Unterricht angegeben (vgl. Tab. 73).

Nach dem Unterricht lehnen weniger Schüler eine Veränderung der Braunbären ab als vor dem Unterricht. Die Ablehnung einer Veränderung tritt zu diesem Zeitpunkt nicht mehr in Verbindung mit der Vorstellung „konstanter Erbanlagen“ auf. Die Abnahme der Vorstellung konstanter Erbanlagen kann in Zusammenhang mit der Thematisierung von Variation und Vererbung im Unterricht stehen und letztendlich dazu führen, dass in diesem Kontext der

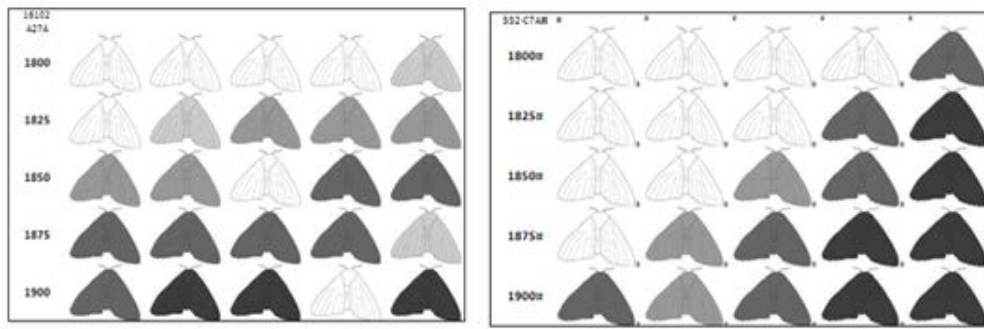


Abbildung 27: Beispiele von Legebildern der Gruppe 1 (S16, links) und Gruppe 2 (S3, rechts) zur Auswirkung der Umweltänderung beim Birkenspanner

Anteil der Schüler, die von einer Veränderung der Braunbärenpopulation ausgehen, zugenommen hat. Unverändert werden relativ wenige finalistische Erklärungskonzepte genutzt. Die gestiegene Verwendung der Schlüsselkonzepte „Variation“ und „Selektion“ ist vermutlich ebenfalls auf die Intervention zurück zu führen. Es gelingt fast der Hälfte der Schüler diese Konzepte zu integrieren und auf diesen Kontext zu transferieren.

Umweltänderungen beim Birkenspanner

Die Schüler wurden aufgefordert, ihre Vermutungen im Hinblick auf eine Auswirkung der Umweltveränderung infolge von Industrie auf die Birkenspannerpopulation zu verdeutlichen, indem sie aus einer Auswahl von Birkenspannern in fünf Farbabstufungen fünf Individuen auswählen und diese auf eine Legetafel platzieren, um die in Schritten von 25 Jahren die eventuelle aufgetretenen Veränderungen deutlich zu machen und zu erklären. Die Legebilder der Schüler wurden unter dem Aspekt Variation und Anpassung analysiert, wobei insgesamt sechs Gruppen gebildet wurden. Eine „Variation in jeder Generation“, was auf ein Variationsverständnis hindeutet, trat bei sechs Legebildern (24%, Gruppe 1) auf, wobei der Fokus bei der Einordnung auf der ersten und letzten Generation lag (vgl. Abb. 27)

Die durchschnittliche Färbung der Tiere nahm im Laufe der Zeit von hell nach dunkel zu, was als Vorstellung der „Veränderung des Merkmals“ und „Anpassung an die Umwelt“ verstanden werden kann. Die Legebilder deuten darauf hin, dass die Schüler eine Vorstellung von „Variation und Veränderung“ aufweisen. Die zweite Gruppe bilden Legebilder, die zwar eine Farbvariation in erster und letzter Generation aufwiesen, aber eine „graduelle Farbpassung“ erkennen lassen, meist in Kombination mit einer diagonalen Anordnung. Die Bilder von fünf (20%) Schülern wurden dieser Gruppe zugeordnet (vgl. Abb. 27). Ebenfalls eine Farbpassung und Farbvariation in der letzten Generation ließen die Legeweisen von zwei Schülern, Gruppe 3, erkennen. Diese unter-

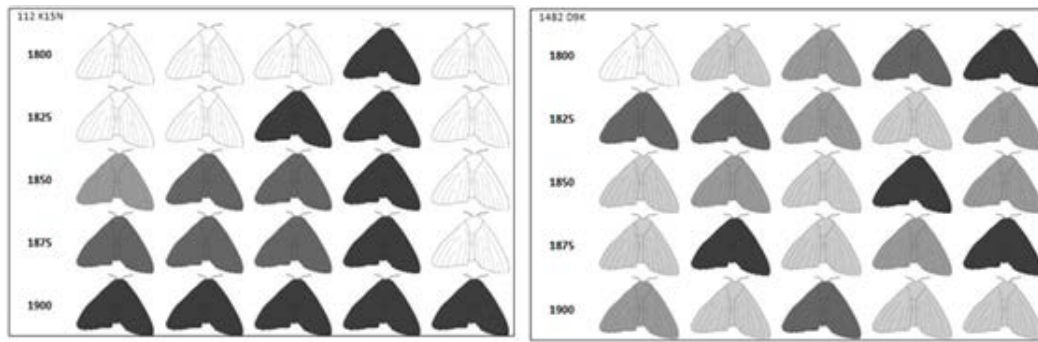


Abbildung 28: Beispiele von Legebildern der Gruppe 5 (S1, links) und Gruppe 6 (S14, rechts) zur Auswirkung der Umweltänderung beim Birkenspanner.

schieden sich aber von den anderen dadurch, dass Variation erst in der zweiten Generation auftrat, was entweder als „Mutationsvorstellung die Variation erzeugt“ interpretiert werden kann, oder aber als „fehlendes Verständnis für Variation von Individuen“ innerhalb von Populationen. Zwei Legemuster wiesen eine „sprunghafte Farbveränderung“ zwischen zwei Generationen auf (Gruppe 4). Bei sieben Legebildern und somit relativ häufig (7, 28%, Gruppe 5) trat in der ersten, aber nicht in der letzten Generation, Variation auf. Die letzte Generation war hierbei in der Färbung einheitlich dunkel. Dies könnte die Vorstellung einer „erreichten Anpassung“ verdeutlichen. Außerdem wird das Konzept der „innerartlichen Variation“ nicht durchgängig gezeigt (vgl. Abb. 28).

Die meisten Schüler legten die Birkenspannerabbildungen so, dass eine Veränderung der Population während der Zeit in Bezug auf eine durchschnittlich dunkler werdender Färbung erkennbar war. Davon hebt sich das gelegte Muster zweier Schüler (Gruppe 6) ab. Hier unterschied sich die Färbung der Tiere zu einem Zeitpunkt, aber nicht die durchschnittlicher Färbung über die Zeit, so dass hier keine Anpassung bzw. Veränderung stattfand (vgl. Abb. 28). Die Erklärungen der Schüler in diesem Zusammenhang wiesen relativ wenige alternative Konzepte auf. Formulierungen, die auf „aktive Anpassung“, „Tarnungszwang“ oder „anthropomorphe Vorstellungen“ deuteten, wurden von jeweils dreien der insgesamt 25 hierzu befragten Schüler angeführt. Mehr als die Hälfte gingen in ihren Erklärungen auf eine „Variation am Anfang“ (60%) und einer „Merkmalsveränderung mit der Zeit“ (68%) ein, wobei letztere zum Teil als schrittweise Veränderung formuliert wurde. Etwa ein Drittel bezog sich auf eine „Variation“, hier häufiger als Variation durch Paarung als durch Mutation oder Selektion formuliert.

Die Legebilder der Veränderung einer Birkenspannerpopulation werden sechs Gruppen zugeordnet. Etwa ein Viertel der Schüler (Gruppe 1) weisen eine grundlegende Vorstellung von Variation und Anpassung bzw. Veränderung in ihren gelegten Mustern zur Vorstellung der Veränderung bei den Birkenspan-

nen auf. Diese Vorstellung war bei 36% der Befragten (Gruppe 2, 3 und 4) in Ansätzen erkennbar. 32% der Schüler hingegen (Gruppe 5) zeigten kein durchgängiges Variationskonzept und bei 8% (Gruppe 6) fehlte eine Anpassung bzw. Veränderung des Merkmals über die Zeit. Im Kontext der Veränderung des Birkenspanners zeigten relativ viele Lernende nach dem Unterricht Ansätze eines Variationsverständnisses. Fast alle Schüler sind in der Lage, eine Erklärung zu formulieren, wobei der Anteil an alternativen Konzepten bei diesem Beispiel vergleichsweise gering ist. Es besteht die Möglichkeit, dass die Erklärung der Farbveränderung in einem kurzen Zeitraum den Schüler leichter fällt als die Anpassung über einen größeren Zeitraum. Die Ergebnisse des Unterrichts sind direkt anwendbar, wenn auch das Beispiel selbst nicht Bestandteil des Unterrichts war.

Entstehung von Antibiotikaresistenz

Die Schüler wurden nach der Erklärung der Entstehung von Antibiotikaresistenz gefragt. Mehr als die Hälfte der Schüler (52%) verwendeten auch nach dem Unterricht zur Erklärung alternative Vorstellungen. Die Mehrheit der Erklärungen bezog sich hierbei auf eine „aktive Veränderung“ (5mal), „anthropomorphe Zuschreibungen“ (5mal) oder eine „Gewöhnung“ des Körpers (5mal) bzw. des Bakteriums (2mal). Auffallend ist, dass anthropomorphe Beschreibung und aktive Veränderung in fast allen Fällen kombiniert auftraten. Beschreibungen bezogen sich auf ein Merken der Bakterien, worauf nach der Vorstellung der Lerner eine aktive Anpassung durch die Bakterien resultierte. *„... Wenn man dann krank ist und dieses Medikament nimmt, dann beim ersten mal sterben die (Bakterien) ... je nachdem wie oft man damit krank wird, denn die Bakterien, irgendwann wissen die ja, was das für ein Medikament ist und dann verändern, also dann keine Ahnung, dann machen die irgendwie etwas dagegen, dass die dann nicht mehr da sterben oder so.“* (72-77, S15N, anthropomorph, aktive Anpassung). Die Erklärung der „Resistenz durch Gewöhnung“ bezog sich in der Mehrzahl auf das Bakterium und nur einigen Fällen auf den Körper. Eine Gewöhnung des Körpers veränderte den Wirkort des Medikaments, welcher nicht das Bakterium, sondern der menschliche Körper war. *„Bakterien wurden durch Antibiotika resistent, weil das zu oft eingenommen wurde. Die haben sich dann irgendwann daran gewöhnt. Die leben ja auch nicht lange die Bakterien. Die haben auch immer ganz viele Nachkommen und die könnten sich dann verändert haben und dagegen immun sein...“* (116-127, S26N). Wenige Schüler (13%) verwendeten gemischte Erklärungen aus alternativen Erklärungen und Schlüsselkonzepten, welche in zwei Fällen die Vorstellung von „Mutation zur Entstehung resistenter einzelner Bakterien“ beinhaltete. Das häufigste, von fünf Schülern zur Erklärung verwendete Schlüsselkonzept in diesem Kontext war „Mutation“. Ein Bezug zur Selektion wurde nur von zwei Schü-

lern hergestellt, die beide ebenfalls Mutation verwendeten. *„Wahrscheinlich hatte irgendeine Bakterie eine Mutation oder so etwas und dann lebten die eben weiter und hatte dann auch Nachkommen, und die anderen Bakterien wurden dann durch das Antibiotikum bekämpft und starben dann alle aus und zum Schluss gab es dann nur noch mehrere dieser Bakterien die nicht durch das Antibiotikum sterben.“* (42-45, S24N). Fünf Schüler gaben allerdings auch nach der Intervention keine Erklärung der Entstehung von Antibiotikaresistenz.

Zur Erklärung der Antibiotikaresistenz verwenden 52% der Schüler alternative Vorstellungen. Nur wenige Schüler gebrauchten die im Unterricht thematisierten Prinzipien „Variation durch Mutation“ und „Anpassung durch Selektion“ im Kontext der Entstehung der Antibiotikaresistenz, sondern erklären mit Hilfe von Alltagsvorstellungen anthropomorph eine „aktiv erworbene Resistenz“ oder „Resistenz als Gewöhnung“ durch häufigen Kontakt. Der Kontext Bakterien stellt eine mögliche Ursache für das häufige Auftreten dieser Vorstellungen dar. Den Schülern ist vermutlich in den meisten Fällen schon einmal der Begriff Bakterien im Alltag begegnet, aber sie haben keinen konkreten Bezug und kategorisieren diese, auch aufgrund der Kleinheit, nicht als der Giraffe oder den Mäusen vergleichbare Lebewesen. Für die Schüler kann der Begriff Bakterium relativ abstrakt und unverbunden sein, so dass kein Transfer des im Unterricht erworbenen Wissens erfolgt. Allerdings beinhalten Erklärungen, die sich auf die Gewöhnung der Bakterien beziehen, in einigen Fällen auch die selektive Vorstellung, dass nur einige der Bakterien überleben.

Artentstehung

Der Anteil der Schüler, die keine Erklärung im Zusammenhang mit der Entstehung einer fiktiven Art auf einer Insel haben, ist nach dem Unterricht von 41% auf 19% gesunken und hat somit um mehr als die Hälfte abgenommen. Bemerkenswert ist die konstante Angabe dreier Schüler zu beiden Interviewzeitpunkten, hierzu nichts zu wissen. Mit 33% hat die Anzahl der Schüler, welche alternative Vorstellungen in ihren Erklärungen verwendeten ebenfalls abgenommen, wobei sich nicht nur die Quantität, sondern auch die Qualität verändert hat. Das prominente Vorkommen einer interspezifischen Kreuzung in den Aussagen der Schüler vor dem Unterricht, häufig als „Mischung“ beschrieben, trat mehr in den Hintergrund und wurde nur noch von drei Schülern zur Erklärung verwendet. Gleich häufig trat die Vorstellung einer „aktiven Anpassung“ auf und etwas geringer wurden von je zwei Schülern anthropomorphe Erklärungen in Form einer „bewussten Entscheidung der Tiere“ oder ein „aktiver Anpassungsprozess“ beschrieben. Diese alternativen Vorstellungen traten auch vereinzelt vor dem Unterricht, an dieser Stelle z.T. in Kombination mit anderen Erklärungsfragmenten auf. So wurde „artfremde Kreuzung“ mit „Migration“ sowie „bewusste Entscheidung“ und „aktive Anpassung“ mit der Vorstellung einer „Entwicklung aus dem Wasser“ verbunden. *„... vielleicht, dass es auch unter Wasser lebte und das es dann dazu kam das es eher auf dem Land leben will...“* (74-79, S12N; *anthropomorph, aus dem Wasser*). Nach der Intervention lehnten sechs Schüler hingegen eine innerartliche Kreuzung ab. Der Anteil der Schüler, welcher die Entstehung der Tierart auf die „Veränderung einer anderen Art“ zurückgeführt hat, war unverändert, aber die Erklärungsqualität hat sich verändert. Nach wie vor gingen vier Schüler von einer Veränderung aquatisch lebender Organismen aus. Allerdings erklärten 30% die Entstehung des Tieres mit Hilfe der „Transformation einer anderen Art“, die Hälfte gab zusätzlich noch das Auftreten von „Mutationen“ an. *„Das Schwörnchen ist durch Mutation entstanden. Es hat sich aus einer anderen Art entwickelt.“* (64-67, S4N). *„Ich denke da war eine Tierart, z.B. ein Affe und dann gab es plötzlich eine Mutation und der hatte plötzlich so einen kleinen Rüssel oder so. Und dann konnte er mit dem Rüssel besser nach Essen greifen und hat mehr zu essen gekriegt, konnte seine Nachkommen besser versorgen und dann gab es immer mehr von diesen Affen mit Rüssel und dann sind die anderen halt ausgestorben, langsam aber sicher.“* (76-79, S1N). Erst nach dem Unterricht trat Mutation als Bestandteil in einem Viertel der Erklärungen auf. Interessanterweise wurde das Konzept der „Mutation“ in keinem Fall mit alternativen Vorstellungen kombiniert.

Der Anteil an Schülern, die keine Erklärungen in Bezug auf die Entstehung einer fiktiven Art geben oder alternative Vorstellungen in diesem Zusammenhang äußern, hat im Vergleich zu dem ersten Interview abgenommen. Auch

die Verwendung einer artfremden Kreuzung als Erklärungsbestandteil ist geringer geworden. Dies kann durch das konkrete Behandeln von Kreuzungen und Arten im Unterricht und der damit verbundenen Möglichkeit an Wissen anzuknüpfen, erklärt werden. Die Aussagen vor dem Unterricht enthalten zwar z.T. auch schon die „Vorstellung von Vorfahren“ und „Veränderung von Arten im Laufe der Zeit“, diese werden nach dem Unterricht aber konkreter oder angemessener - als „Transformation“ z.B. durch die Angabe von „Mutationen“ - erklärt. Das Auftreten von Mutation in einem Viertel der Erklärungen ist auf den Unterricht zurückzuführen.

Auftreten neuer Variation

Auftreten der dunklen Form des Birkenspanners

Die Anzahl der Schüler ohne einen Erklärungsansatz für das Auftreten der dunklen Form des Birkenspanners ist nach dem Unterricht mit 15% um mehr als zwei Drittel geringer als vor der Intervention. Zwei Schüler gaben allerdings zu diesem Zeitpunkt keine Erklärung für das Auftreten der Farbvariante, sondern gingen von einer schon „vorhandenen Variation“ aus. Diese Vorstellung konnte mit anderen Erklärungsbestandteilen kombiniert sein. *„... Die dunklen die gab es bestimmt auch schon vorher, sonst könnten die ja nicht da sein. Nein, die Umwelt führt nicht zum Auftreten der dunklen Tiere...“ (36-44, S25N).* Einige Schüler (15%) betrachteten die „Veränderung des Lebensraumes“ als Ursache für das Auftreten der dunklen Form, wobei dieser Zusammenhang benannt, aber nicht näher erklärt wurde. *„Die dunkle Form tritt auf weil vielleicht der Lebensraum plötzlich verändert wurde durch irgendetwas...“ (36-39, S1N).*

Die Vorstellung einer „aktiven Anpassung“, von keinem Schüler vor der Intervention in Bezug auf diese Fragestellung geäußert, wurde zu diesem Zeitpunkt von fast einem Viertel der Schüler (23%) zur Erklärung verwendet. Im Gegenzug dazu trat die „Aktivitätszeit“ als Erklärungsmuster nicht mehr auf. *„Das sind ja Nachtfalter und die leben eben im dunklen ... dann sieht man die vielleicht auch und dann werden die gefressen und dann haben die sich eben an ihren Lebensraum angepasst...“ (18-29, S20N).* Der Anteil der Schüler, die Elemente alternativer Vorstellungen verwendeten, war zum zweiten Interviewzeitpunkt von sieben auf zehn Personen angestiegen. Es traten im Zusammenhang mit Selektion stehende Erklärungsbestandteile auf, die sich auf ein „unterschiedliches Überleben“ (5mal) oder „Fortpflanzung“ (2mal) der Farbvarianten bezogen. Diese Erklärungen wurden im Zusammenhang mit Anpassungskontexten als Schlüsselkonzepte angesehen, dienten aber nicht zur angemessenen Erklärung der Entstehung von Variation. Die Verwendung von Mutation oder Rekombination, hier mit Angaben zur „Kreuzung und Vererbung“, hatte sich vervierfacht,

wobei „Mutation“ als häufigstes Element in den Erklärungen auftrat. Beide Elemente wurden aber von keinem Schüler miteinander kombiniert. *„Durch Mutation kann auf einmal so eine dunkle Form auftreten.“* (32-35, S₄N), *„Abweichende Tiere treten meistens durch Mutation auf.“* (18-19, S₂₄N), *„Das Auftreten der dunklen Form beim Birkenspanner kommt vielleicht dadurch, dass sich der Spanner mit einem anderen gepaart hat, der ein bisschen dunkler war und dann durch Vererbung dann.“* (31-32, S₉N).

Die Auswirkung der Veränderung des Lebensraums auf die Häufigkeit des Vorkommens der Farbvarianten des Birkenspanners wird von einigen Schülern ebenfalls zur Erklärung des Auftretens von Variation verwendet, möglicherweise da keine andere Erklärung verfügbar ist. Aktive Anpassung stellt für ein Viertel der Schüler eine Verbindung zwischen der Tatsache einer veränderten Umwelt und den an diese Umwelt angepassten Tieren her. Das Auftreten dieser Erklärung kann an der verfügbaren Information des anthropogenen Umwelteinflusses liegen. Ohne diese Information würden die Schüler eine aktive Anpassung möglicherweise nicht so häufig zur Erklärung nutzen. Ein Hinweis hierauf kann das Fehlen dieser Erklärung vor der Unterrichtsintervention sein. Erklärungen mit Bezug zu Selektion lassen den Schluss zu, dass die beiden Bestandteile „Variation“ und „Selektion“ für die Schüler nicht getrennt sind, oder andere Vorstellungen für sie nicht verfügbar sind. Allerdings verwenden viele Schüler nach der Unterrichtsintervention in ihrer Erklärung Angaben zu Mutation oder Rekombination. Die Begriffe Mutation, Kreuzung und Vererbung werden in der Unterrichtsintervention eingeführt, definiert und angewendet, sind aber nicht üblicher Bestandteil des Biologieunterrichts dieser Jahrgangsstufen. Dies kann die geringe Verwendung vor der Intervention und den aufgezeigten Anstieg erklären. Bei der eventuell geringer als erwarteten Häufigkeit der Verwendung dieser Begriffe im Zusammenhang mit einer Erklärung ist allerdings zu berücksichtigen, dass es sich in diesem Kontext um eine Transferleistung der Schüler handelt.

Wahrscheinlichkeit von Mutationen bei Braunbären

Die Schüler wurden gefragt, ob sie das Auftreten von drei Mutationen, das Auftreten von dickerem Fell, das Auftreten von hellerem Fell oder das Fehlen von Fell, bei Braunbären in der Umgebung Nordpol als gleich oder nicht gleich wahrscheinlich annehmen. Insgesamt war die Meinung der befragten Schüler geteilt. Mit 54% lehnte mehr als die Hälfte der Befragten die gleiche Wahrscheinlichkeit des Auftretens der verschiedenen Mutationen ab. Die angeführten Begründungen wiesen eine Bandbreite unterschiedlicher Aspekte auf, die in ihrer jeweiligen Häufigkeit gering waren. Schüler gaben hier an, das Auftreten einer bestimmten Mutation sei „abhängig von der Umgebung“ (3mal),

„abhängig von der Auswirkung“ des daraus resultierenden unterschiedlichen Überlebens der Varianten (2mal), von einem herrschenden „Anpassungszwang“ (2mal) oder es wurden ein Bezug zu den Eisbären gebildet (2mal). *„Ich glaube das wäre unterschiedlich, weil die ohne Fell ich meine die können ja nicht so gut überleben, die können ja frieren weil das ist sehr kalt. ... Ich denke schon, dass die geringeren Überlebenschancen auch dazu führen, dass so etwas überhaupt weniger auftritt, weil ich meine der hat sicher keine Chance sich weiter zu paaren...“* (46-49, S13N). Das Auftreten der unterschiedlichen Mutationen sahen 38% der befragten Schüler als gleich wahrscheinlich an. Jeweils fünf Schüler begründeten dies mit der „Zufälligkeit von Mutationen“ oder der „Trennung zwischen Auftreten einer Mutationen und Auswirkung des veränderten Merkmals in der Umwelt“. Weniger Schüler (3) begründeten, dass „Mutationen generell gleich wahrscheinlich“ sind. *„Bei den Mutationsformen ist eigentlich alles sehr wahrscheinlich, weil das ist eigentlich eine Veränderung, die kann gar keiner bestimmen. Das Überleben ist nicht gleich wahrscheinlich, die mit den Vorteilen würden eigentlich überleben. Jetzt am Nordpol die mit dem helleren Fell und mit dem dickeren Fell“* (60-62, S2N). Nur ein sehr geringer Anteil (8%) traf keine Entscheidung in Bezug auf den Fragenkontext.

Die Annahme unterschiedlicher Wahrscheinlichkeiten für verschiedene Mutationen weist auf bestehende Schwierigkeiten der Schüler beim Konzept Mutation hin. Ein großer Teil der Befragten, die gleiche Wahrscheinlichkeit bei diesem Beispiel ablehnen, trifft seine Entscheidung vermutlich aus dem Grunde, dass eine der genannten Varianten, z.B. das Fehlen von Fell, in der Umgebung sich nicht als vorteilhaft erweist und auch nicht für die Schüler vorstellbar ist. Das Problem liegt zum Teil in der fehlenden Trennung des Auftretens von Variation und der Auswirkung in Form von unterschiedlichem Überleben in Abhängigkeit von der Umgebung. Diese Trennung, sowie eine Begründung mit Hilfe der Zufälligkeit von Mutationen leisten jeweils nur fünf Lernenden. Die Schüler haben Schwierigkeiten, die probabilistische Natur von Mutationen, die Zufälligkeit, zu akzeptieren. Zufälligkeit in der Naturwissenschaft wird in dieser Altersstufe im Unterricht nicht konkret behandelt und stellt ein schwieriges, abstraktes Konzept dar. Der Transfer aus dem Unterricht gelingt hier nicht sicher.

8.1.2.4 Artkonzept

Variationen und Artkonzept bei Bänderschnecken

Auch nach dem Unterricht war die Mehrzahl der befragten Schüler der Ansicht, es handle bei den Bänderschnecken um Individuen einer Art, der relative Anteil war im Vergleich zu den Interviews vor dem Unterricht nur geringfügig

von 57% auf 63% gestiegen. Die Anzahl der Schüler, welche die Auffassung vertraten, mehrere Arten seien dargestellt, war konstant bei acht Probanden geblieben, wobei der relative Anteil etwas gesunken ist (von 38% auf 30%), da mehr Schüler nach dem Unterricht eine Aussage gemacht haben. Die Schüler wurden nach einer Möglichkeit gefragt, ihre Entscheidung bezüglich der Artanzahl zu überprüfen. Vier Schüler gaben an, hierzu keine Angabe machen zu können und drei bezogen sich auf eine Informationsrecherche in Literatur oder Internet, aber nicht auf eine Untersuchungsmethode.

Mit 41% wurde am häufigsten ein experimentelles Vorgehen von den Schülern vorgeschlagen, wobei die Schnecken einer Variante in einer entsprechenden Umgebung ausgesetzt werden, um zu einem späteren Zeitpunkt einen Vergleich mit der anderen Variante zu tätigen und bei ähnlichem Aussehen, oder auch Verhalten, eine Entscheidung für eine Art zu treffen. *„... Vielleicht könnte man das beweisen, indem man ganz viele gelbe nimmt und die setzt man im Wald aus und dann würde man sehen, dass die dann auch nach und nach immer dunkler werden und irgendwann könnte man die nicht mehr ganz so gut ...wenn die sich verändern würden, dass die so ähnlich aussehen wie die, dann wäre das meiner Meinung nach eine Art...“* (50-57, S13N). Vereinzelt wurde die Veränderung bei einer experimentellen Überprüfung als sofortig auftretend, sinnhaft oder als Verhaltensänderung beschrieben. Einige Schüler nahmen im Zusammenwirken mit der entsprechenden Umgebung selektives Überleben an und gingen vereinzelt von einer Veränderung einer verschieden gefärbten Gruppe zu einer in Bezug auf das Merkmal einheitlicheren Gruppe infolge eines Selektionsdrucks aus. *„Man könnte zur Überprüfung z.B. alle auf Untergrund setzen, auf einen hellen Untergrund oder auf einen dunklen Untergrund, und dann würden, wenn das eine Art ist, sich alle zu schwarzen wandeln langsam aber sicher, weil sie sich dann untereinander paaren die schwarzen und dann bekommen sie immer mehr Nachkommen, und dann werden die anders farbigen verdrängt, weil die gefressen werden. Das hängt vom Untergrund ab wie die sich ändern, wenn man sie jetzt auf Sand setzen würden die gelben im Vorteil sein...“* Immerhin zogen 22% der Schüler die Möglichkeit in Betracht, verschiedene Varianten zu kreuzen und bei erfolgreicher Kreuzung die Entscheidung für eine Art zu treffen. Mit einer Ausnahme gaben diese Schüler diese Möglichkeit exklusiv an und unabhängig von der Umgebung. *„... Um das zu überprüfen würde ich versuchen, eine dunkle mit einer hellen zu paaren und gucken ob das geht. Wenn das gehen würde könnte ich eine Entscheidung treffen.“* (58-67, S21N).

Nach dem Unterricht sind 63% der Schüler der Meinung, die dargestellten Bänderschnecken sind Vertreter einer Art, 38% gehen von mehreren Arten von Bänderschnecken aus. Zur Überprüfung nennen 41% der Schüler als häufigstes ein Experiment bei dem ein Aussetzten in einer Umgebung und eine Überprüfung auf Veränderung erfolgt. Schüler, die diese Vorgehensweise als Experi-

Tabelle 74: *Prozentuale Zustimmung bzw. Ablehnung der Möglichkeit von Nachkommen aus inter- und intra-spezifischen Kreuzungen (Werte in Klammern beziehen sich auf den Messzeitpunkt vor dem Unterricht).*

	intraspezifische Kreuzungen		interspezifische Kreuzungen	
	Dogge / Chihuahua	Dogge / Wolf	Fuchs / Wolf	Rind / Wolf
Zustimmung (in%)	74 (78)	77 (77)	19 (48)	0 (6)
Ablehnung (in%)	26 (22)	23 (23)	81 (52)	100 (94)

ment vorschlagen, scheinen von einer Veränderbarkeit des Individuums oder der Population in einem Lebensraum in Abhängigkeit von der Umgebung auszugehen. Sie haben eine Vorstellung von gemeinsamen Merkmalen in Körperbau oder Verhalten, welche eine Artzugehörigkeit charakterisieren. Allerdings kann diese Übereinstimmung auch Variabilität ausschließen. Die Möglichkeit der Überprüfung durch Kreuzung, die von nur 22% der Befragten genannt wird, ist fachlich angemessen und entsprach einer aufgrund der im Unterricht behandelten Definition erwarteten Transferleistung. Diese wurde im Interview nach dem Unterricht allerdings nur von einem verhältnismäßig kleinen Teil der Befragten geleistet. Eine Interpretation ist, dass die Schüler zwar das Wissen in Bezug auf den Begriff Art reproduzieren, aber nicht auf das Beispiel transferieren können. Eine andere, dass das Artkonzept zu abstrakt ist und die Vorstellung einer Art bei den Schülern typologisch aus der Erfahrung begründet wird.

Anwenden des Artkonzeptes: Kreuzung und Nachkommen von Tieren

Die Zustimmung zu der Möglichkeit der Entstehung von Nachkommen aus intra- bzw. interspezifischen Kreuzungen war, ebenso wie im Interview vor dem Unterricht, heterogen. Der Anteil von Zustimmung und Ablehnung hatte sich in Bezug auf drei der aufgeführten Kreuzungskombination nicht verändert. Allerdings traf dies nicht in Bezug auf die Möglichkeit von Nachkommen aus einer Paarung von Fuchs und Wolf zu. Während im ersten Interview von gleich vielen Schülern eine Zustimmung bzw. Ablehnung für diese Kombination angegeben wurde, lehnte diese Möglichkeit die überwiegende Mehrheit im zweiten Interview ab (vgl. Tab. 74).

Die Heterogenität der Begründungen war im Vergleich zu den Ergebnissen des ersten Interviews verringert. Die Entscheidungen wurden weniger aufgrund von Ähnlichkeiten bzw. Unterschieden im Körperbau getroffen und in geringerem Umfang nicht fachliche Begründungen angeführt (vgl. Tab. 75 auf der nächsten Seite und Tab. 76 auf der nächsten Seite). Die Anzahl an Begründungen, die sich auf „Artzugehörigkeit“ beziehen, hatte sich nahezu verdop-

Tabelle 75: Häufigkeiten der Begründungen zur Verwandtschaft / Systematik. Werte in Klammern beziehen sich auf die Probandenzahl.

	Präinterview	Postinterview
Verwandtschaft / Systematik	Anzahl Kodierungen	Anzahl Kodierungen
Abstammung / Verwandtschaft	23 (18)	25 (19)
Zugehörigkeiten Arten	22 (15)	41 (21)
Zugehörigkeit Rassen	4 (4)	2 (2)

Tabelle 76: Häufigkeiten der Begründungen zu Ähnlichkeiten und Unterschieden. Werte in Klammern beziehen sich auf die Probandenzahl.

	Präinterview	Postinterview
Verwandtschaft / Systematik	Anzahl Kodierungen	Anzahl Kodierungen
Körpergröße	13 (9)	3 (3)
Nahrung / Lebensraum	11 (9)	5 (4)
Aufbau	4 (2)	0 (0)
Menge Unterschiede	2 (2)	0 (0)

pelt. Erwähnenswert in diesem Zusammenhang ist, dass die Schüler, welche zwar mögliche Nachkommen der Kreuzung akzeptieren, als „ablehnend“ kategorisiert wurden, wenn sie sich explizit auf mögliche, aber unfruchtbare, Nachkommen bezogen. Bemerkenswert ist, dass 65% der Schüler nach dem Unterricht die Ablehnung von Nachkommen von Wolf und Fuchs mit der Zugehörigkeit zu verschiedenen Arten begründeten. „Doch Wolf und Fuchs die könnten Kinder bekommen, der Nachfahre wäre aber dann unfruchtbar, weil das ist nicht eine Art und wenn zwei Arten zusammen gemischt werden das geht so nicht.“ (102-125, S8N).

Die Ablehnung der Möglichkeit einer Kreuzung zwischen Rind und Wolf ist ebenso wie im ersten Interview hoch, wird allerdings nicht einheitlich begründet. Bemerkenswert ist trotz der Ähnlichkeiten im Erscheinungsbild der

Tabelle 77: Häufigkeiten nicht fachlicher Begründungen

	Präinterview	Postinterview
nicht fachlich	Anzahl Schüler	Anzahl Schüler
Verstehen / Vertragen	5	0
Kennenlernen	3	3
Wild- / Haustiere	3	0
Vorstellbarkeit	7	2

hohe Anteil der Ablehnung einer Kreuzung zwischen Fuchs und Wolf und die häufige Begründung der Ablehnung mit dem Artkonzept. Begründungen der einzelnen Schüler beziehen sich bei verschiedenen Beispielen häufiger auf Artkonzept und weisen darauf hin, dass dieses in Ansätzen generalisiert wird und für die Schüler verfügbar ist. 67% der Befragten begründen die Entscheidung, ob die genannten Tiere miteinander Nachwuchs haben können, mindestens zweimal mit Artzugehörigkeit (vgl. Tab. 77 auf der vorherigen Seite). Allerdings verwenden die Schüler auch nach dem Unterricht nicht einheitlich die Zugehörigkeit zu einer Art als durchgängige Erklärung bei den unterschiedlichen Beispielen. Dies kann in der Abstraktheit des Begriffes Art liegen. Ähnlichkeiten und Unterschiede sind präsenter aufgrund ihrer Erfahrbarkeit. Die aufgezeigte Veränderung an dem Beispiel Fuchs und Wolf ist im Hinblick auf den erfolgten Unterricht positiv einzuschätzen.

8.2 EINZELFALLANALYSEN: SCHÜLERVORSTELLUNGEN ZUR ANPASSUNG

Die Schülervorstellungen zur Anpassung werden nachfolgend anhand ausgewählter einzelner Fälle und Auswahl relevanter thematischer Abschnitte der Interviews zu Aspekten der Artveränderung, der Artentstehung, des Artkonzeptes, und des Auftretens neuer Variation vertieft analysiert. Hierbei werden bei jedem Einzelfall die thematisch geordneten Aussagen zu beiden Interviewzeitpunkten dargestellt. Es erfolgt eine Explikation unter den Gesichtspunkten der inhaltlichen Vorstellungen des Schülers, Gegensätze der Erklärungen sowie der sprachlichen Aspekte und der Herkunft der Vorstellungen. Die Schülervorstellungen werden abschließend auf der Ebene der Konzepte erfasst und in Bezug auf die Interviewzeitpunkte gegenübergestellt.

8.2.1 *Interview Sven***Geordnete Aussagen:****Vor dem Unterricht:****Artveränderung**

(79-84) S1V [Giraffe, Erklärung Entwicklung langer Hals] Vielleicht ist der lange Hals der Giraffe ein bisschen wegen dem Klimawandel entstanden. Da ist das Steppengras ausgetrocknet oder war nicht mehr so nährstoffreich, sie mussten an die Bäume, die tiefen Wurzeln hatten und dadurch noch Wasser bekamen, und dazu mussten die Hälse länger werden. Nein das passierte nicht automatisch, das passierte auch über Generationen hinweg. Da ist vielleicht so ein Tier, dass jetzt einen außerordentlich langen Hals hat, dass sich dann mit anderen paart und die Kinder haben dann wieder einen außerordentlich langen Hals. Dann tun sich zwei von denen zusammen, dann kommt ein noch längerer Hals raus und immer so weiter und irgendwann haben sie dann so ein Riesenhals.

(69-78) S1V [Braunbären am Nordpol] Ich würde sagen, dass die Braunbären sich anpassen. Über Generationen hinweg haben sich eigentlich alle Lebewesen angepasst. Das dauert, die müssten sich schon ein paarmal fortpflanzen. Ich denke die Gruppe, die ausgesetzt wird, verändert sich selber nicht, aber deren Nachfahren, diese zehnfachen Nachfahren oder so, haben dann weißes Fell, oder sind immerhin kälteresistenter. Man hat das auch bei manchen Pflanzenarten beobachtet, dass sie sich immer weiter entwickelt haben, um den Lebensraum so schön wie möglich zu machen für die.

(109-114) S1V [Eidechsen helle Form] Ich denke das ist in Alaska oder so, vielleicht ist das ein Salzsee. Ich denke die Eidechsen haben sich halt angepasst. Die (gefärbte Variante) sieht man recht schwer im Geäst und auf den Steinen, die (weiße Variante) sieht man fast gar nicht in dieser Gipswüste. Ich denke die haben sich auch angepasst wie diese Giraffen oder diese Braunbären der Antarktis.

(119-122) S1V [Schwörnchen Veränderung] Wenn der Meeresspiegel ansteigt, dann ziehen sie sich entweder ins Inselinnere zurück oder sterben. Vielleicht sterben sie dann aus, aber innerhalb von ein paar tausend Jahren gibt es dann vielleicht wieder neue Schwörnchen. Nein, ich glaube nicht, dass sie nach einiger Zeit noch so aussehen. Vielleicht kriegen die Schwörnchen nach 6000 Jahren Schwimmflossen, damit sie sich noch schneller fortbewegen können wenn fast alles unter Wasser steht.

(85-96) S1V [Bänderschnecken, Unterschiede] Ja ich kenne solche Schnecken, Weinbergschnecken. Mir fällt auf, dass sie alle sehr unterschiedlich gemustert sind und ich denke das liegt am Lebensraum. Vielleicht dass die Dunkleren in Stein leben oder in der Erde und die Gelben eher in hellen Gebieten, wo man sie wegen der Sonnenlichter nicht so sieht, oder im Strand im Sand. Nein, die kommen nicht überall gleich vor, ich denke pro Lebensraum haben die auch verschiedene Musterungen. In Büschen findet man die oft so beige, weil sie dann vor Räubern besser getarnt sind. Die Bundeswehr hat ja auch solche Kampfpfanzüge in so ganz vielen fleckenartigen Formen als im strahlenden Weiß. Da sieht man sie auch nicht so gut.

Artentstehung

(115-118) S1V [Schwörnchen Entstehung] Die Insel hat ganz bestimmte Lebensbedingungen und da sind andere Tiere eingewandert, die sich dann verändert haben, z.B. einen langen Schwanz haben damit sie besser an Bäumen entlang hangeln können. Und dann sind sie da geblieben. Auf so manchen Inseln gibt es ja auch einzigartige Arten, wie auf Madagaskar uns so.

Artkonzept

(97-102) S1V [Bänderschnecken, Arten] Ich glaube das sind 10 Arten. Das habe ich einfach geschätzt, also hier sind ein paar so rein gelb fast, ein paar sind gelb mit Streifen und ein paar sind fast braun, ein paar sind braun mit Streifen. Dann gibt es noch so Zwischenarten, so beige und hier so braun und oben fast rot. Ja, ich entscheide das nach dem Aussehen. Eigentlich ist es eine Art, ist aber schwierig, ist ein bisschen wie bei Menschen, wir sehen ja alle sehr unterschiedlich aus und trotzdem sind wir alle die Art Mensch, obwohl wir alle ganz unterschiedlich aussehen, das kann vorkommen.

(125-136) S1V [Tiere, Nachkommen] Ich denke Dogge und Chihuahua können sich theoretisch paaren, praktisch aber nicht, weil wenn der große Hund das Männchen ist, dann müssten die Welpen ja irgendetwas von ihm abkriegen, die großen Schlappohren oder so und da wäre im Bauch von dem kleinen Hund gar kein Platz dafür. Nein Rind und Wolf könnten sich nicht paaren. Das sind ja eigentlich zwei ganz verschiedene Organismen, die Kuh ist ein Wiederkäuer und der Wolf schlingt eigentlich alles so runter, was er kriegen kann. Dogge und Wolf könnten sich paaren, die könnten sich theoretisch paaren, weil der Hund stammt ja in direkter Linie vom Wolf ab und der ist ja auch ziemlich groß. Die verschiedenen Rinder die könnten sich paaren, nur da würde auch so eine komische Mischung rauskommen. Ja, ich denke schon bisschen, dass es hier auch mit Abstammung zusammen hängt. Die Hunde haben sich ja aus dem Wolf heraus entwickelt, da müssten sie sich ja auch zurück entwickeln können. Vor allem habe ich schon einmal solche Wolfswelpen gesehen, in irgend so einem Freizeitpark oder so. Da hat sich ein streunender Hund mit so einer Wölfin gepaart und dann Kinder bekommen.

Nach dem Unterricht:

Artveränderung

(34-35) S1N [Giraffe, Erklärung Entwicklung langer Hals] Früher waren die vielleicht so ein bisschen wie Pferde, nur ein bisschen größer. Dann gab es Exemplare mit längerem Hals und da diese dann an mehr Futter kamen an den Bäumen, wenn unten alles abgefressen war, kamen sie auch noch oben dran, konnten die besser überleben und dann starben die anderen langsam aus und die mit dem längeren Hals erzeugten mehr Nachkommen und die Nachkommen. Da wurden wieder die mit dem längsten Hals am besten mit Nahrung versorgt und so geht es immer weiter. Irgendwann gibt es dann nur noch solche Giraffen mit ganz langem Hals.

(52-53) S1N [Braunbären am Nordpol] Eine Gruppe von Braunbären am Nordpol könnte sich auf Dauer verändern glaube ich, wenn die Gruppe groß genug ist und genug Variation existiert, dann könnten die mit dickerem Fell oder weißer Fellfarbe könnten dann besser überleben und wären dann immer mehr und schließlich gibt es dann keine mehr von der anderen Art an Variation.

(40-41) S1N [Birkenspanner: Veränderung mit Karten legen] Erst mal denke ich, dass am Anfang ziemlich viele von den Weißen existierten. Da war die Flechte ja noch in Ordnung. Vielleicht ein Schwarzer zwischendurch. 1825 war das dann schon ein bisschen ausgeprägter mit der Industrierverschmutzung, da konnte der Schwarze sich schon vermehren und noch zwei solche da. Dann kommen diese ins Spiel, dann kommen die hier hin und hier hin. Oder nein,



Abbildung 29: *Legebild von Sven zur Veränderung der Birkenspanner im Interview nach der Unterrichtsintervention*

Schwarz hat dann schon vier Nachkommen. Dann kommt dunkelgrau, nein die kommen weg, da kommt jeweils ein weißer hin. Dann gibt es nachher nur noch schwarz (vgl. Abb. 29).

(42-45) S1N [Birkenspanner: Erklärung Auswirkung der Umweltveränderung] Die Änderung der Umwelt hat die Auswirkung auf den Birkenspanner, dass es jetzt mehr Schwarze gibt, weil wenn die Flechten absterben werden sie (die Rinden) schwarz und dann können die (Hellen), die haben ja vorher auch auf Flechten gelebt, und jetzt leben die auch auf Flechten und dann wären die aber leuchtend weiß auf schwarz sofort von den Räubern gesehen und gefressen und die (Schwarzen) sieht man fast gar nicht. Und weil die aussterben oder es immer weniger gibt können die (Schwarzen) mehr Nahrung kriegen, werden stärker, können mehr Nachkommen zeugen und die sind dann wieder bevorteilt. Irgendwann gibt es dann keine Weißen mehr.

(46-49) S1N [Mäuse: Erklärung der Veränderung] Also am Anfang gibt es nur die (Braunen). Dann tritt plötzlich eine Mutation auf und die (Schwarzen) kommen. Dann bricht ein Vulkan aus, überall wird Asche verteilt. Dann wird es schwarz und dann können die beiden Schwarzen besser überleben. Die braunen oder weißen Mäuse werden sofort gefressen. Die Schwarzen können sich dann immer mehr vermehren und hier gibt es dann nur noch Schwarze, außer so einer hellbraunen, und die wird dann schließlich auch gefressen.

(50-51) S1N [Mäuse] Ja es könnte sein, dass wieder helle Mäuse auftreten wenn die Asche wieder wekommt und die Erde wieder hin kommt, haben dann vielleicht auch Mäuse die überlebt haben, die Braunen, einen Vorteil. Dann sterben die Schwarzen wieder aus.

(80-85) S1N [Antibiotika Erklärung Entstehung resistenter Bakterien] Die haben sich das (Resistenz) in der Zeit angewöhnt. Ich glaube die Zellen, die sind ja winzig klein, aber durch so kleine Dosen haben die sich immer mehr daran gewöhnt. Irgendwann war der Virus dann so daran gewöhnt, dass es ihm nicht mehr geschadet hat.

Artentstehung

(76-79) S1N [Schwörnchen Erklärung Entstehung] Ich denke da war eine Tierart, z.B. ein Affe und dann gab es plötzlich eine Mutation und der hatte plötzlich so ein kleinen Rüssel oder so. Und dann konnte er mit dem Rüssel besser nach Essen greifen und hat mehr zu essen gekriegt, konnte seine Nachkommen besser versorgen und dann gab es immer mehr von diesen Affen mit Rüssel und dann sind die anderen halt ausgestorben langsam aber sicher.

Auftreten neuer Variation

(36-39) S1N [Birkenspanner: Erklärung Auftreten der dunklen Form] Die dunkle Form tritt auf, weil vielleicht der Lebensraum plötzlich verändert wurde durch irgendetwas. Eigentlich geht das recht schnell mit dem Verändern, weil solche Falter leben ja nicht besonders lange und da gewannen ganz schnell die, die ganz schwarz sind auf schwarzem Untergrund, konnten die sich besser Tarnen und haben dann mehr []. Und weil so ein Falter vielleicht nur zwei Wochen lebt ging das dann immer schneller.

(54-65) S1N [Braunbären am Nordpol, Mutation] Wenn der Bär gar kein Fell mehr hat, dann würde der wahrscheinlich innerhalb von einem Tag oder so erfrieren. Dann gibt es die halt gar nicht mehr. Das Auftreten der Mutationen ist unterschiedlich wahrscheinlich, weil bei manchen die Gene stärker verändert werden müssen, dann sind mehr Gene zur Veränderung nötig. Ob das Auftreten generell unterschiedlich wahrscheinlich ist oder völlig gleich kann man nicht berechnen.

Artkonzept

(66-75) S1N [Bänderschnecken, Anzahl Arten] Ich denke das ist eine Art mit verschiedenen Variationen. Man könnte zur Überprüfung z.B. alle auf Untergrund setzen, auf einen hellen Untergrund oder auf einen dunklen Untergrund, und dann würden, wenn das eine Art ist, würden die sich alle zu Schwarzen wandeln langsam aber sicher, weil sie sich dann untereinander paaren die Schwarzen und dann bekommen sie immer mehr Nachkommen und dann werden die anders Farbigen verdrängt weil die gefressen werden. Das hängt vom Untergrund ab, wie die sich ändern, wenn man sie jetzt auf Sand setzen würden die Gelben im Vorteil sein. Nein, wenn die sich nicht miteinander paaren können ist es nicht eine Art.

(80-85) S1N [Tiere, Nachkommen] Ja, Dogge und Chihuahua können Kinder bekommen, weil sie zur selben Art gehören. Ja, Dogge und Wolf können Kinder bekommen, weil die Dogge aus dem Wolf herausgewachsen ist. Nein Fuchs und Dogge können sich nicht vermehren, die sind nicht dieselbe Art.

Explikation:

Vor dem Unterricht:

A Inhaltliche Vorstellungen

A1 Anpassung durch Artveränderung

Sven geht von einer Veränderung aller Lebewesen in Form einer Anpassung über einen längeren Zeitraum aus. Zentral ist hierbei die Vorstellung einer schrittweisen Veränderung über Generationen, welche er in unterschiedlichen Kontexten (Giraffe, Braunbären) äußert sowie die damit verbundene Ablehnung einer individuellen Veränderung. *Ich denke die Gruppe die ausgesetzt wird verändert sich selber nicht, aber deren Nachfahren* (69-78).

Der Zeitraum für solche Artveränderungen ist für ihn schwer fassbar, er äußert hier unterschiedliche Vorstellungen von einigen Generationen (Braunbären) bis zu 6000 Jahren (Schwörnchen).

Die Ursachen für Artveränderungen sind für Sven Umweltänderungen. Aus diesen ergibt sich ein Zwang zur Veränderung. Am Beispiel der Giraffe ist durch Klimaveränderungen das Steppengras ausgetrocknet, woraus für ihn resultiert, dass die Giraffen an die Bäume mussten und dazu mussten ihre Hälse länger werden (79-84). Die Umwelt bzw. der Lebensraum ist seiner Meinung nach auch die Ursache für innerartliche Variation, da in seiner Vorstellung das Resultat einer Artveränderung eine Population ohne Variation ist. In dieser Population weisen alle Individuen das angepasste Merkmal, meist erklärt mit Tarnung, auf. Sven hat eine typologische Vorstellung und kein Verständnis für intraspezifische Variation.

Umweltänderungen führen aber nach Svens Auffassung nicht automatisch zu einer Artveränderung. Der Schüler zeigt in seiner Erklärung Ansätze für einen Mechanismus der Artveränderung. *Da ist vielleicht so ein Tier, das jetzt einen außerordentlich langen Hals hat, das sich dann mit anderen paart und die Kinder haben dann wieder einen außerordentlich langen Hals* (79-84). Im Kontext der Giraffen geht er von einem Außenseiter aus, auch hier zeigt sich kein Verständnis von Variation. Durch Paarung von abweichenden Individuen kommt es zu einer graduellen Artveränderung durch Vererbung. Sven geht von einer Vererbung der Merkmale aus. Für ihn ist durch wiederholte gezielte Paarung eine kontinuierliche Artveränderung möglich.

Arten können sich seiner Meinung nach auch so stark verändern, dass neue Arten entstehen. Er geht von einer Transformation von Arten aus, wobei eine neue Art aus Veränderung aus einem Vorfahr entsteht. So kann in einem Lebensraum durch Migration und zielgerichteter Veränderung aufgrund der

vorhandenen Umweltbedingungen eine neue Art entstehen. *Vielleicht sterben sie dann aus, aber innerhalb von ein paar tausend Jahren gibt es dann vielleicht wieder neue Schwörnchen* (119-122). Die Artentstehung ist, bei entsprechenden Umweltbedingungen, wiederholbar.

A2 Artbegriff

Svens Artbegriff ist typologisch, ob Tiere einer Art angehören, entscheidet er zuerst aufgrund des Aussehens. Auch die Kreuzbarkeit von Tieren hängt seiner Meinung nach vom Grad der Ähnlichkeit in Bezug auf Körpergröße oder Nahrung der Tiere ab. Ganz verschiedene Organismen können nicht miteinander Nachkommen zeugen. Die Ähnlichkeit wird in einem Kontext in Zusammenhang mit Verwandtschaft bzw. Abstammung gesetzt, unterstreicht aber Svens Vorstellung von Typen.

B Gegensätze

Svens dargestellte Auffassung von Typen steht im Widerspruch zu einzelnen abweichenden Individuen mit der er den Prozess der Artveränderung beschreibt. Dieser Gegensatz zeigt sich auch bei seinem Artkonzept, wo er zuerst eine Artzugehörigkeit nach gleichem Aussehen sieht. Im weiteren Verlauf überträgt er dann sein Wissen und seine Erfahrung vom Menschen, dass Unterschiedlichkeit nicht gegen eine Artzugehörigkeit spricht, auf das tierische Beispiel und kommt hiermit zu der Erkenntnis, dass es sich trotz der vorhandenen Variation um eine Art handelt.

C Sprachliche Aspekte, Herkunft der Vorstellungen

Der Terminus Art wird von Sven zuerst entsprechend der Bedeutung im alltäglichen Sprachgebrauch unter dem Aspekt der Unterschiedlichkeit interpretiert. Dem Schüler gelingt es an dieser Stelle, obwohl der Terminus Art zuerst umgangssprachlich verwendet wird, eigene Erfahrungen aus dem menschlichen Bereich zur Lösung heranzutragen. *Eigentlich ist es eine Art, ist aber schwierig, ist ein bisschen wie bei Menschen, wir sehen ja alle sehr unterschiedlich aus und trotzdem sind wir alle die Art Mensch, obwohl wir alle ganz unterschiedlich aussehen.* (97-102).

Der Schüler überträgt Erfahrungen aus dem alltäglichen menschlichen Bereich, z.B. Tarnungskleidung beim Menschen und nutzt diese zur Erklärung.

Charakteristisch sind die sehr bildhaften Erklärungen des Schülers an dieser Stelle, aber auch in vielen anderen Passagen des Interviews. Ausdrücke wie z.B. eine komische Mischung zeugen davon, dass er sich Inhalte bildhaft vorstellt.

Nach dem Unterricht:

A Inhaltliche Vorstellungen

A1 Anpassung durch Artveränderung

Anpassung ist für Sven auch nach dem Unterricht ohne explizite Nennung ein schrittweiser Prozess über Generationen. Seine Vorstellung der Artveränderung ist um Voraussetzungen für eine Anpassung in Bezug auf vorhandener Variation und Populationsgröße erweitert.

Der Zeitraum für Artveränderung ist seiner Ansicht nach abhängig von der Lebensdauer der Individuen und somit von der Generationsdauer. So geht er aufgrund der geringen Lebensdauer beim Birkenspanner von einer schnellen Veränderung aus (36-39).

Seine Vorstellungen über den Mechanismus evolutiver Anpassung ist nach der Intervention vor allem differenzierter geworden. Er geht nicht mehr von einem durch Umweltänderung wirkenden Zwang zur Veränderung aus, sondern erklärt unter Einbezug von Selektion, wobei er sich nicht nur auf einen Überlebensvorteil, sondern auch einen Fortpflanzungsvorteil bezieht. Benachteiligte Varianten sterben seiner Meinung nach langsam aus. *Dann können die beiden Schwarzen besser überleben. Die braunen oder weißen Mäuse werden sofort gefressen. Die Schwarzen können sich dann immer mehr vermehren und hier gibt es dann nur noch schwarze, außer so einer hellbraunen, und die wird dann schließlich auch gefressen* (46-49). Diese selektiven Erklärungen der Artveränderung wendet er konsistent in fast allen Kontexten an. Allerdings hat Sven auch nach dem Unterricht nach wie vor die Vorstellung von einem Ende des Anpassungsprozesses mit angepassten, nicht variierenden Populationen. Der Anpassungsprozess führt seiner Auffassung nach zu einer Variationsabnahme durch Selektion in Zusammenhang mit gegebenen Umweltbedingungen.

Nach dem Unterricht wird das Auftreten von Variation durch Mutation in zwei Kontexten erklärt, er geht von mehreren Individuen mit Variationen und nicht nur von einem Außenseiter aus. Die Erzeugung von Variation durch Mutation als Ausgangspunkt für eine Veränderung wird, wie das Beispiel des Schwörnchens zeigt, von Sven in das Konzept der Transformation von Vorfahren zu neuen Arten eingebaut. Mutationen können zu einem plötzlichen Auftreten eines neuen Merkmals führen, welches dann der Selektion ausgesetzt wird. Seine Vorstellungen sind aber immer noch typologisch und entsprechen einer dichotomen Variation. Da Variation nur zur Erklärung des Anfangs des Anpassungsprozesses verwendet wird weist Sven kein durchgängiges Variationskonzept auf.

Sven trennt das Auftreten von Variation und die Auswirkung der Umwelt auf deren Vorkommen und differenziert die Wahrscheinlichkeit des Auftretens nach der Stärke der Genveränderung, *weil bei manchen die Gene stärker verändert werden müssen, dann sind mehr Gene zur Veränderung nötig* (54-65).

A2 Artbegriff

Der Terminus Art wird in Bezug auf die Bänderschnecken nach dem Unterricht nicht mehr umgangssprachlich verwendet.

Die Möglichkeit der Fortpflanzung zweier Lebewesen begründet Sven nach dem Unterricht einheitlich durch Artzugehörigkeit und Abstammung.

B Gegensätze / Kontexte

Sven hat die Vorstellung einer innerartlichen Variation „das ist eine Art mit verschiedenen Variationen“, die für ihn selber anscheinend nicht im Widerspruch steht zu dem von ihm in drei Kontexten (Giraffe, Birkenspanner, Mäuse) formulierten variationslosen Ende des Anpassungsprozesses.

Obwohl Sven das Prinzip von Anpassung durch Selektion nach dem Unterricht in mehreren Kontexten gebraucht, wendet er es nicht im Kontext der Bakterien an. Hier wird die Entstehung resistenter Bakterien auf eine Gewöhnung zurückgeführt. Entweder ist Selektion für Sven noch kein allgemeines Erklärungsprinzip für Anpassungen geworden, oder Bakterien fallen für ihn nicht in die gleiche Kategorie wie die anderen Lebewesen und unterliegen nicht denselben Erklärungsprinzipien. Für letzteres würde sprechen, dass Bakterien von ihm sowohl als Zellen, wie auch als Virus uneinheitlich bezeichnet werden.

Sven erklärt das Auftreten von Variationen widersprüchlich in verschiedenen Kontexten, entweder mit Mutation oder im Kontext der Birkenspanner durch die plötzliche Veränderung des Lebensraumes. Seiner Vorstellung nach ist der Auslöser in beiden Fällen ein plötzliches, unvorhersehbares Ereignis, möglicherweise bedingt eine Veränderung des Lebensraumes das Auftreten von Mutationen in Form von induzierten Mutationen.

C Sprachliche Aspekte, Herkunft der Vorstellungen

Im Vergleich zum ersten Interview verwendet der Schüler kaum bildhafte Erklärungen und zieht nicht mehr Erfahrungen aus dem Alltag heran. Dafür treten in den Erklärungen Elemente aus der Unterrichtsintervention auf, wie z.B. Mutation oder Fortpflanzungsvorteil.

Konzepte:**Konzepte zu Anpassung:**

- **Graduelle Anpassung über Generationen:** Die Artveränderung erfolgt schrittweise über mehrere Generationen und einen längeren Zeitraum.
- **Anpassungszwang durch Umweltänderungen:** Aus den Umweltänderungen resultiert ein Anpassungszwang für die Arten.
- **Variationsloses Anpassungsergebnis:** Das Ergebnis des Anpassungsprozesses ist eine uniforme Population ohne Variation
- **Gezielte Paarung:** Die gezielte Paarung von Individuen mit bestimmten Merkmalen führt zur Vererbung derselben und zur schrittweisen Anpassung der Art.
- **Überlebensvorteil vorteilhafter Varianten:** Umweltänderungen bedingen veränderte Überlebensvorteile von Typen mit vorteilhaften Merkmalen.
- **Fortpflanzungsvorteil vorteilhafter Varianten:** Umweltänderungen bedingen nicht nur Überlebens-, sondern auch Fortpflanzungsvorteile von Typen mit nun vorteilhaften Merkmalen.
- **Generationsdauer bedingt Anpassungszeitdauer:** Der für eine Artveränderung nötige Zeitraum hängt von der Generationsdauer ab.
- **Variation ermöglicht Anpassung:** Vorhandene Variation ist eine Voraussetzung für eine Artveränderung

Konzepte zu Art und Artentstehung:

- **Neue Arten durch Transformation:** Vorfahren verändern sich so stark, dass neue Arten entstehen.
- **Reproduzierbare Artentstehung:** Bei entsprechenden gleichen Umweltbedingungen können dieselben Arten wiederholt entstehen.
- **Artzugehörigkeit aufgrund Ähnlichkeit:** Tiere einer Art ähneln sich in Bezug auf Körpergröße oder Nahrung.
- **Kreuzungsmöglichkeit bei Ähnlichkeit:** Ähnliche Tiere können sich kreuzen und Nachkommen zeugen.
- **Verwandtschaft bedingt Ähnlichkeit:** Tiere ähneln sich aufgrund gemeinsamer Verwandtschaft durch Abstammung.

- **Kreuzungsmöglichkeit bei Artzugehörigkeit:** Nur Tiere einer Art können sich kreuzen und Nachkommen erzeugen.

Konzepte zu Variation:

- **Typologischer Artbegriff:** Die Individuen einer Art haben gleiches Aussehen und entsprechen einem Typ.
- **Dichotome Variation:** Typologische Variation, Individuen treten in Form von zwei Merkmalsvarianten auf.
- **Menschen zeigen Variationen:** Menschen unterscheiden sich in Merkmalen voneinander.
- **Vorteilhafter Außenseiter:** Es treten als Ausnahme Tiere mit abweichenden, vorteilhaften Merkmalen als Ausnahme auf.
- **Abweichler durch Mutation:** Unvorhersehbare Mutation erzeugt abweichende Individuen und somit Variation.

8.2.2 Interview Pia

Geordnete Aussagen:

Vor dem Unterricht:

Artveränderung

(50-61) S5V [Giraffe, Erklärung Entwicklung langer Hals] An der Giraffe ist besonders, dass sie so groß ist und einen langen Hals hat. Vielleicht gab es größere Tiere und vielleicht hatten sie einen etwas längeren Hals und durch diese Erbanlagen wurden sie dann eben immer größer oder so. Nein, durch Strecken kann der Hals nicht länger geworden sein, weil die Wirbel ja dadurch nicht automatisch größer werden. Nein, die Kinder bekommen dadurch auch nicht einen längeren Hals.

(102-105) S5V [Braunbären am Nordpol] Die Braunbären hätten nach langer Zeit kein weißes Fell sondern würden sterben. Nein, wegen den Erbzellen würden die Kinder auch nicht weiß werden.

(82-91) S5V [Birkenspanner: Veränderung] Vielleicht haben sie sich dadurch, dass es nicht mehr so viele Birken gab anderen Bäumen angepasst, dass sie sich da verstecken konnten. Die dunkle Form kommt dann hinterher fast nur noch vor, weil die Birken ja abgestorben, durch die Industrie weg sind. Ja, das könnte

Tabelle 78: Gegenüberstellung der von Sven vor und nach der Unterrichtsintervention zur Erklärung verwendeten Konzepte

Vor dem Unterricht:	Nach dem Unterricht:
<i>Konzepte zu Anpassung</i>	
Graduelle Anpassung über Generationen	Graduelle Anpassung über Generationen
Anpassungszwang durch Umweltänderungen	
Variationsloses Anpassungsergebnis	Variationsloses Anpassungsergebnis
Gezielte Paarung	
	Überlebensvorteil vorteilhafter Varianten
	Fortpflanzungsvorteil vorteilhafter Varianten
	Generationsdauer bedingt Anpassungsdauer
	Variation ermöglicht Anpassung
<i>Konzepte zu Art und Artentstehung</i>	
Neue Arten durch Transformation	Neue Arten durch Transformation
Reproduzierbare Artentstehung	
Artzugehörigkeit aufgrund Ähnlichkeit	
Kreuzungsmöglichkeit bei Ähnlichkeit	
Verwandtschaft bedingt Ähnlichkeit	
	Kreuzungsmöglichkeit bei Artzugehörigkeit
<i>Konzepte zu Variation</i>	
Typologischer Artbegriff	
	Dichotome Variation
Menschen zeigen Variationen	
Vorteilhafter Außenseiter	
	Abweichler durch Mutation

sich auch wieder ändern. Wenn es wieder viele Birken gäbe, würden sich die Schwarzen daran setzen und sich dort wieder anpassen.

(98-101) S5V [Schwörnchen Veränderung] Wenn der Meeresspiegel ansteigt glaube ich nicht, dass man da noch Schwörnchen nach einiger Zeit finden würde, da es ja nicht schwimmen kann. Vielleicht, dass es irgendwann ins Wasser geht, da es das erkunden möchte und irgendwann werden ja auch die Früchte weniger und werden nicht mehr nachwachsen. Ja, ich denke es stirbt aus oder geht unter.

(62-78) S5V [Bänderschnecken, Unterschiede] Das sind Schnecken. Mir fällt auf, dass sie unterschiedliche Farben und Muster haben. Das unterschiedliche Aussehen kommt vielleicht durch die Erbanlagen, dass sie vielleicht unterschiedlich dann sind. Ich denke, dass vielleicht im Wald eher so laubfarbene sind damit sie sich ein bisschen tarnen können und dass auf der Wiese eher so gelbliche sind, damit sie nicht von Tieren gefressen werden. Nein, nach einiger Zeit finde ich nicht mehr dieselben die ich ausgesetzt habe, weil sie sich ja auch bewegen in die Richtung die sie möchten.

Artentstehung

(92-97) V5 [Schwörnchen Entstehung] Als erstes denkt man daran, dass vielleicht ein Eichhörnchen und ein Schwein sich gepaart haben, aber das geht ja eigentlich gar nicht. Nein, aber eine andere Idee habe ich auch nicht.

Auftreten neuer Variation

(78-81) S5V [Birkenspanner: Erklärung Auftreten der dunklen Form] Das ist so eine Motte. Vielleicht gab es auch Birkenspanner, die nicht so viele weiße Flecken hatten, die also mehr schwarz als weiß waren. Die haben sich vielleicht gepaart und da ist etwas Dunkles bei rausgekommen.

Artkonzept

(106-121) S5V [Tiere, Nachkommen] Dogge und Chihuahua könnten miteinander Kinder bekommen, allerdings würde das etwas schwierig, weil die Dogge so groß ist und der andere Hund so klein. Ich entscheide mich dafür, weil es beides Hunde sind und ja weil sie eigentlich aus einem Ursprung kommen. Dogge und Wolf geht auch, weil die Hunde stammen ja eigentlich aus den Wölfen ab. Wolf und Fuchs geht eher nicht, weil der Fuchs eigentlich im Aufbau zwar schon ähnlich ist wie der Wolf, aber eben nicht gleich. Ich nicht weiß nicht warum, aber ich denke eher nicht. Fuchs und Rind geht nicht, weil der Aufbau ganz anders ist. Ja, es ist auch eine Sache des Aufbaus.



Abbildung 30: *Legebild von Pia zur Veränderung der Birkenspanner im Interview nach der Unterrichtsintervention*

Nach dem Unterricht:

Artveränderung

(40-41) S5N [Giraffe, Erklärung Entwicklung langer Hals] Der Hals der Giraffe hat sich entwickelt, dadurch dass sie meistens in der Wüster oder Savanne leben und es dort meistens Bäume gibt, weil das Gras schnell austrocknet. Mit der Zeit sind die kleineren, also mit kürzerem Hälsen ausgestorben, weil sie eben nichts zu fressen gefunden haben. Dadurch gab es eben nur größere mit längeren Hälsen, die haben sich gepaart und dadurch kam dann immer längere Hälse raus und dadurch ist der Hals länger geworden.

(56-57) S5N [Braunbären am Nordpol] Setzt man Braunbären am Nordpol aus, dann denke ich, dass es da auch mehrere Bären geben würde und das vielleicht hellere besser überleben, da eben auch Raubtiere kommen, die auch ein Bär umlegen können, dadurch die braunen Bären aussterben werden und dann die helleren sich eben gepaart hätten. Und dass dann die Eisbären überlebt haben.

(46-49) S5N [Birkenspanner: Veränderung mit Karten legen] Ich würde erwarten, dass es vielleicht vorher noch ein paar Helle, also im Schnitt noch mehr Helle als Dunklere gab. Dass die Hellen dann nach und nach ausgestorben sind, also sie haben sich dann ja gepaart und dann wurden die ja eben dunkler. Vielleicht gab es noch ein, zwei Hellere und ein paar Dunklere, aber eben im Schnitt mehr so die normalen, also die Gräulichen. Und dann eben, wenn sie sich dann paarten, dann aus diesen würden ja trotzdem noch etwas hellere Dunkle so zu sagen entstehen, also Gräuliche. Und dann würden die immer schwärzer werden und eben die Weißen aussterben. Aber sie würden sich dann noch unterscheiden (vgl. Abb. 30).

(50-54) S5N [Mäuse: Erklärung der Veränderung] Bei den Mäusen gab es dadurch vielleicht, dass sich der Boden, vielleicht durch die Industrie, vielleicht durch Erde oder so, verändert hat zuerst solche. Nein, nicht durch die Verän-

derung des Bodens. Durch plötzliche Mutation sind Schwarze dadurch gekommen, also dazu entstanden. Dann durch den Vulkanausbruch, vielleicht weil der Lava hinterlassen hat, also Lavafelder. Es gab aber noch mehr braune als schwarze Mäuse. Aber dadurch, dass Raubtiere eben die Mäuse gerne fressen, wurden die Hellen besser gesehen und mehr gefressen. Dadurch entstanden immer mehr Dunklere. Und dadurch dass die eben mehr gefressen wurden, starben sie auch mehr aus. Und dadurch dass es eben weniger Helle gab, vermehrten sich die Braunen besser.

(109-112) S5N [Antibiotika Erklärung Entstehung resistenter Bakterien] Ja ich kenne Antibiotika. Bei der Entstehung resistenter Bakterien haben sich Bakterien von einer Art und der anderen Art so zu sagen gepaart und sind zusammen gestoßen und dadurch haben sie einer ganze Bakterie ergeben und dadurch waren sie eben noch viel schlimmer und stärker als die Bakterien davor.

Artentstehung

(78-85) S5N [Schwörnchen Erklärung Entstehung] Das Schwörnchen könnte ja eigentlich so zu sagen durch ein Eichhörnchen und durch ein Schwein entstanden sein. Aber ich glaube eben nicht, dass ein Eichhörnchen und ein Schwein sich überhaupt paaren könnten. Deswegen glaube ich eher nicht dass das geht. Vielleicht durch eine plötzliche Mutation, wenn da z.B. sich ein Schwein gepaart hat, das es dann total anders aussieht, vielleicht hat das dann auf einmal Fell bekommen oder so.

Auftreten neuer Variation

(42-45) S5N [Birkenspanner: Erklärung Auftreten der dunklen Form] Das Auftreten der dunklen Variante des Birkenspanners kommt vielleicht dadurch, dass es dunklere Bäume gab, also dass es nicht mehr so viele hellere Eichen oder so in der Umgebung gab, wo sich die hellen Spanner besser anpassen konnten und deswegen sind da nur noch dunkle. Also die Hellen sind dann eben ausgestorben, weil sie sich nicht mehr tarnen konnten und dadurch haben sich die Dunkleren, die waren dann mehr, besser gepaart als die helleren. Ja das Auftreten der Form kommt durch die Umgebung.

(58-63) S5N [Braunbären am Nordpol, Mutation] Bei den Mutationen denke ich, dass die mit dem dickeren und dünneren Fell sind zwar ziemlich wahrscheinlich, aber die anderen Sachen sind auch sehr wahrscheinlich. Das kann ja alles aufführen, das ist ja eine plötzliche Mutation. Genauso wie dort die Mäuse braun sind und dann auf einmal Schwarze da zustande gekommen sind. Nein, das Auftreten einer hätte nicht eine höhere Wahrscheinlichkeit, nur andere Auswirkungen.

Artkonzept

(64-75) S5N [Bänderschnecken, Anzahl Arten] Die Bänderschnecken sind eine Art, als Beweis dient vielleicht das die Schnecken immer heller werden. Vielleicht, können wir eine hellere und eine dunklere Schnecke miteinander paaren und das sieht man ja auch in der Mitte dort [Abb.], die sind ja auch halb so ein bisschen braun und so ein bisschen gelb deswegen. Wenn die nicht eine Art wären, könnten die sich trotzdem paaren. Eigentlich ist das ja nicht ein Beweis, weil dann ist es ja bewiesen, dass die ja nicht so zusammen gehören, weil dann würde da ja irgendetwas anderes raus kommen so zu sagen. Ja, auch wenn die verschieden aussehen, können die eine Art sein.

(97-109) S5N [Tiere, Nachkommen] Ja, Dogge und Chihuahua können miteinander Kinder bekommen, weil das sind beides Hunde, sie stammen beide vom Wolf ab. Der Grund ist auch gemeinsame Abstammung, aber ich weiß nicht hier würde das ziemlich schwierig sein, weil der Hund ist ziemlich klein und der andere Hund ist eben ziemlich groß. Bei Dogge und Wolf dürfte das gehen, weil der Hund stammt wirklich vom Wolf ab und dann ist eigentlich noch ein bisschen Wolf im Hund drin so zu sagen und das passt dann eigentlich. Ich denke auch, dass Fuchs und Wolf miteinander Kinder bekommen können, weil die sind ja eigentlich vom Körperbau ziemlich gleich und das ging ja bei dem Zebra und bei dem Pferd ging das ja auch das da was raus kam. Ach ja, die könnte man ja nicht weiter paaren.

Explikation

Vor dem Unterricht:

A Inhaltliche Vorstellungen

A1 Anpassung durch Artentstehung

Pia hat die Vorstellung einer schrittweisen Anpassung durch die Erbanlagen, allerdings ohne eine genauere Vorstellung über den Mechanismus oder die Zeiträume. *Vielleicht gab es größere Tiere und vielleicht hatten sie einen etwas längeren Hals und durch diese Erbanlagen wurden sie dann eben immer größer oder so (50-61).* Eine Merkmalsveränderung durch Gebrauch, sowie die Vererbung erworbener Eigenschaften, lehnt sie bewusst ab.

Für Pia ist die Grundlage einer Artveränderung genetisch fixierte Variation, ohne vorhandene Variation ist keine Anpassung möglich. Hierbei geht sie von Konstanthaltung genetischer Information aus, die nicht sprunghaft verändert wird. Aus diesem Grund lehnt sie die farbliche Veränderung der Braunbären ab. Unterschiedliches Aussehen führt sie auf unterschiedliche Erbanlagen zu-

rück. *Das unterschiedliche Aussehen kommt vielleicht durch die Erbanlagen, dass sie vielleicht unterschiedlich dann sind* (62-78). Pia hat also eine Auffassung von genetisch bedingter Variation. Neue Variation kann durch Rekombination bei der Paarung leicht abweichender Elterntiere entstehen (Birkenspanner). Zentral in Pias Erklärungen sind die Erbanlagen, die in drei Kontexten (Giraffe, Braunbär, Bänderschnecken) zur Erklärung herangezogen werden.

Ursache für Artveränderungen sind nach Pias Vorstellung Umweltänderungen, die zu einer Anpassung mit dem Ziel der Tarnung führen. Diese Artveränderungen sind bei wiederholten gleichen Umweltänderungen reversibel. Das unterschiedliche Vorkommen von Varianten einer Art führt sie ebenfalls auf ein überlebenssicherndes Tarnungsziel zurück.

Umweltänderung, die andere überlebensnotwendige Fähigkeiten wie z.B. Schwimmen erfordern, führen nach ihrer Auffassung zum Aussterben einer Art.

Pia hat keine Vorstellung darüber, wie neue Arten entstanden sein können, lehnt aber das Entstehen neuer Arten durch artfremde Kreuzung ab.

A2 Artbegriff

Die Kreuzbarkeit von Tieren hängt für Pia vom Aufbau ab, bei einem ähnlichen, aber nicht gleichen Körperbau, lehnt sie diese ab (Fuchs, Wolf). Bei gemeinsamer Abstammung hingegen geht sie von einer Kreuzbarkeit aus. Ihrer Vorstellung nach resultiert ein gleicher Aufbau aus gemeinsamer Abstammung.

B Gegensätze

Pias Auffassung einer möglichen Artveränderung ist widersprüchlich. Sie akzeptiert die Anpassung im Kontext der Giraffen und Birkenspanner, lehnt diese aber im Fall von Braunbären und Schwörnchen ab und geht in diesen Fällen von einem Aussterben der Arten aus. Möglicherweise akzeptiert Pia die Artveränderung bei Rekonstruktion der Vergangenheit, lehnt diese aber für fiktive Beispiele ab. Gegensätzlich ist hier die Vorstellung, dass Erbanlagen nach ihrer Vorstellung verantwortlich sind für die Veränderungen, aber auch konstant über die Generation weiter gegeben werden.

C Sprachliche Aspekte, Herkunft der Vorstellungen

Die Herkunft von Pias Vorstellungen bleibt in den Erklärungen unklar. Die Abstammung des Hundes vom Wolf ist Pia möglicherweise aus dem schulischen Kontext bekannt. Vor allem der genetische Aspekt, der im meistens Zentrum ihrer Erklärungen steht, entstammt eher nicht aus dem Unterricht, da er bei interviewten Klassenkameraden nicht auftritt, sondern eher aus dem außerschulischen Bereich. Auffällig ist in Pias Aussagen das bewusste Ablehnen bestimmter Vorstellungen ohne die Angaben von anderen konkreten Vorstel-

lungen.

Nach dem Unterricht:

A Inhaltliche Vorstellungen

A1 Anpassung durch Artentstehung

Pia hat auch nach dem Unterricht die Vorstellung einer schrittweisen Anpassung. Im Zentrum ihrer Erklärungen stehen aber nicht mehr die Erbanlagen, sondern ein selektives Überleben verbunden mit der anschließenden Paarung bestimmter Merkmalsvarianten und somit eine graduelle Veränderung über Generationen. Aus dem unterschiedlichen Überleben resultiert auch die unterschiedliche Fortpflanzung der Varianten, da nur diese überleben. Das unterschiedliche Überleben der Varianten ergibt sich durch Umweltbedingungen bzw. Umweltänderungen. *Mit der Zeit sind die kleineren, also mit kürzerem Halsen ausgestorben, weil sie eben nichts zu fressen gefunden haben. Dadurch gab es eben nur größere mit längeren Halsen, die haben sich gepaart und dadurch kam dann immer längere Häse raus (40-41).* Diese Vorstellung äußert sie konsistent in unterschiedlichen Kontexten (Giraffe, Braunbären, Mäuse).

Variation ist nicht nur zu Beginn des Anpassungsprozesses vorhanden, sondern auch am Ende. In Pias Vorstellung ist das Anpassungsergebnis nicht eine gleichförmige Population, sondern die Individuen variieren und im Verlauf der Anpassung verändert sich der Durchschnitt des entsprechenden Merkmals. *Vielleicht gab es noch ein, zwei Hellere und ein paar Dunklere, aber eben im Schnitt mehr so die normalen, also die Gräulichen. ... Aber sie würden sich dann noch unterscheiden. (46-49).*

Nach dem Unterricht steht nicht mehr die Konstanthaltung der genetischen Information im Vordergrund. Variation ist nach Pias Auffassung immer noch genetisch bedingt und entsteht durch Rekombination. Allerdings führt sie das Auftreten einer Merkmalsvariation letztendlich auf die Umgebung zurück und trennt nicht in allen Zusammenhängen das Auftreten von Variation und Auswirkung der Selektion (Birkenspanner).

Sprunghafte Veränderung von Erbinformation in Form von Mutation bringt sie nicht selbstständig in ihre Erklärungen ein, greift aber den Impuls durch die Bildkarten bei den Mäusen auf und geht von dem Auftreten unterschiedlicher Mutationen mit gleicher Wahrscheinlichkeit aus.

Die Vorstellung der Artentstehung durch artfremde Kreuzung lehnt sie konstant ab. Im Gegensatz zum ersten Interview, dort gibt sie keine Erklärung zur Entstehung einer neuen Art an, transferiert sie das Konzept von Mutation auf den Kontext der Entstehung einer neuen Art. Eine Mutation führt demnach zu

einem Außenseiter. *Vielleicht durch eine plötzliche Mutation, wenn da z.B. sich ein Schwein gepaart hat, das es dann total anders aussieht, vielleicht hat das dann auf einmal Fell bekommen (78-85).*

A2 Artbegriff

Mögliche Paarung hängt für Pia zwar mit Artzugehörigkeit und Abstammung zusammen, aber auch noch wie vor dem Unterricht von Ähnlichkeiten wie gleichem Körperbau. Allerdings lehnt sie diese bei ähnlichem Körperbau nicht mehr ab, aber die weitere Kreuzung der Nachkommen. Pia schlägt auch eine mögliche Paarung unterschiedlicher Varianten zum Nachweis der Zugehörigkeit zur gleichen Art vor.

B Gegensätze

Variation der Individuen einer Art wird in verschiedenen Kontexten von Pia unterschiedlich erklärt. Pia scheint die Vorstellung von genetischer Rekombination zu haben, Mutation greift sie zwar auf und wendet sie auf Artentstehung an, bringt das Konzept sprunghafter Veränderung von genetischer Information aber nicht selbstständig ein. Es besteht die Möglichkeit, dass Pia die Vorstellung der konstanten Erbanlagen, die sie vor der Intervention zur Erklärung verwendet hat, noch verinnerlicht hat.

Das Auftreten von Variation wird bei den Birkenspannern im Zusammenhang mit der Umgebung erklärt, im Gegensatz hierzu wird aber die Wahrscheinlichkeit des Auftretens verschiedener fiktiver Mutationen bei dem Beispiel Braunbären von deren Auswirkungen getrennt.

Die Möglichkeit einer Paarung von Individuen wird widersprüchlich von der Schülerin begründet. Bei extrem unterschiedlich aussehenden Hunden wird eine mögliche Kreuzung angenommen, da dies beides Hunde sind, aber bei Fuchs und Wolf aufgrund der Gleichheit des Körperbaus ebenfalls.

C Sprachliche Aspekte, Herkunft der Vorstellungen

Die sprunghafte Veränderung des Erbgutes in Form von Mutationen stammt aus der Intervention, ist aber noch nicht vertieft in die Vorstellungen integriert. Kreuzung aufgrund von Ähnlichkeit wird zwar angenommen, aber mit dem Zusatz versehen, dass die Nachkommen steril sind. Dieser Aspekt stammt ebenfalls aus der unterrichtlichen Intervention.

Konzepte:¹Konzepte zu Anpassung:

- **Graduelle Anpassung durch Vererbung:** Eine Artveränderung erfolgt schrittweise durch die Erbanlagen.
- ~~**Merkmalsänderung durch Gebrauch:** Ständiger Gebrauch führt zu der Veränderung eines Merkmals.~~
- ~~**Vererbung erworbener Eigenschaften:** Durch z.B. Gebrauch veränderte erworbene Eigenschaften werden vererbt.~~
- **Tarnungsziel führt zur Angepasstheit:** Artveränderungen entstehen aufgrund von Umweltänderungen mit dem Ziel von Tarnung.
- **Anpassung ist reversibel:** Bei sich ändernden umkehrenden Umweltbedingungen ist die Artänderung umkehrbar.
- **Graduelle Anpassung über Generationen:** Die Artveränderung erfolgt schrittweise über mehrere Generationen und einen längeren Zeitraum.
- **Überlebensvorteil vorteilhafter Varianten:** Umweltveränderungen bedingen veränderte Überlebensvorteile von Typen mit vorteilhaften Merkmalen.
- **Fortpflanzung überlebender Varianten:** Individuen mit vorteilhaften Merkmalen überleben und pflanzen sich fort.
- **Anpassung verändert durchschnittliche Variation:** Im Laufe der Artveränderung wird das durchschnittliche Vorkommen von Merkmalsvariationen verändert.

Konzepte zu Art und Artentstehung:

- ~~**Artbildung durch artfremde Kreuzung:** Neue Arten können durch Nachkommen einer intraspezifischen Kreuzung entstehen.~~
- **Verwandtschaft bedingt Ähnlichkeit:** Tiere ähneln sich aufgrund gemeinsamer Verwandtschaft durch Abstammung.
- **Kreuzungsmöglichkeit bei gemeinsamer Abstammung:** Tiere die gemeinsame Abstammung haben können fertile Nachkommen erzeugen.
- **Aussterben durch Umweltänderung:** Umweltänderungen führen zum Aussterben einer Art aufgrund fehlender Angepasstheit.

¹ Durchgestrichene Konzepte wurden im Interview vom Schüler abgelehnt.

- **Kreuzungsmöglichkeit bei Artzugehörigkeit:** Nur Tiere einer Art können sich kreuzen und Nachkommen erzeugen.

Konzepte zu Variation:

- **Genetische Variation:** Erbanlagen bestimmten Merkmale und bedingen das Erscheinungsbild.
- **Konstante Erbanlagen:** Die genetische Information bleibt konstant und ändert sich nicht sprunghaft.
- **Plötzliche Mutation:** Erbanlagen können unvorhersehbar und sprunghaft verändert werden
- **Variation durch Paarung von Abweichlern:** Variation entsteht durch Rekombination bei der Kreuzung von vom Durchschnitt der Population abweichenden Individuen
- **Umweltinduzierte Variation:** Das Auftreten von Variation ist durch die Umgebung bestimmt.
- **Plötzliche Mutation:** Erbanlagen können unvorhersehbar und sprunghaft verändert werden

8.2.3 Interview Lara

Geordnete Aussagen:

Vor dem Unterricht:

Artveränderung

(76-89) S13V [Giraffe, Erklärung Entwicklung langer Hals] Die Giraffe hat so einen langen Hals und die kommt an richtig hohe Bäume dran und die Hyänen oder Löwen oder so trauen sich nicht so ein großes Tier anzugreifen. Vielleicht hatten die ja früher immer so einen ganz kleinen Hals und vielleicht konnten die früher also nicht nur Gras essen, sondern mussten auch mal etwas zur Abwechslung kriegen und dann kamen die nicht an die Bäume dran. Vielleicht haben sie sich ja so fortgepflanzt, dass irgendwann die etwas längere Häse bekommen haben. Also die kamen da ja nicht so gut dran und hätten jetzt nicht immer nur irgendwelche Sachen vom Boden essen können und warten können, bis die Blätter abfallen und das so schimmelig wird oder so. Vielleicht haben die das dann durch irgendwelche, ganz genau weiß ich jetzt nicht wie die das

Tabelle 79: Gegenüberstellung der von Pia vor und nach der Unterrichtsintervention zur Erklärung verwendeten Konzepte

Vor dem Unterricht:	Nach dem Unterricht:
<i>Konzepte zu Anpassung</i>	
Graduelle Anpassung durch Vererbung	Graduelle Anpassung über Generationen
Merkmalsänderung durch Gebrauch	Überlebensvorteil vorteilhafter Varianten
Vererbung erworbener Eigenschaften	Fortpflanzung überlebender Varianten
Tarnungsziel führt zur Angepasstheit	Anpassung verändert durchschnittliche Variation
Anpassung ist reversibel	
<i>Konzepte zu Art und Artentstehung</i>	
Artbildung durch artfremde Kreuzung	Artbildung durch artfremde Kreuzung
Verwandtschaft bedingt Ähnlichkeit	Kreuzungsmöglichkeit bei gemeinsamer Abstammung
Kreuzungsmöglichkeit bei gemeinsamer Abstammung	Kreuzungsmöglichkeit bei Artzugehörigkeit
Aussterben durch Umweltänderung	
<i>Konzepte zu Variation</i>	
Genetische Variation	Plötzliche Mutation
Konstante Erbanlagen	Variation durch Paarung von Abweichlern
Plötzliche Mutation	Umweltinduzierte Variation
Variation durch Paarung von Abweichlern	

geschafft haben. Nein der Hals ist nicht durch Strecken länger geworden. Nein das geht nicht, wenn ich mich jetzt strecken, würde dann würde ich ja auch nicht länger werden. Wenn sie immer versucht sich eigentlich fast nur nach da oben zu strecken, dann mit der Zeit wächst das ja auch ein bisschen, dass das dann vielleicht, wenn die nie etwas anderes getan hat als sich da oben hin zu strecken, könnte es passieren, dass der Hals irgendwann ein bisschen länger wird. Irgendwann hätten die Kinder schon einen längeren Hals.

(104-109) S13V [Birkenspanner: Veränderung] Ich glaube die sind nicht sehr beliebt, weil sie sind ja so ähnlich wie Motten, die durchlöchern die Kleidung, und wenn man einen sieht, dann versucht man ihn zu fangen oder so etwas halt. Da, da habe ich zuerst nicht den Hellen erkannt, da ist es dann schwieriger den Hellen zu finden und hier ist es schwieriger bei dem Dunklen. Vielleicht hat das zur Folge, dass die Hellen sich erst mal ein neues Versteck suchen mussten, wo sie sich dann besser tarnen konnten. Es gibt Tiere die sehen ja nicht unbedingt alle Farben, oder auch nur so ein bisschen. Ich glaube der konnte das Weiße so ein bisschen erkennen und hat dann gemerkt, dass er nicht mehr so ganz gut getarnt ist. Ich meine, dass er dann woanders hin geflogen ist, damit er besser getarnt ist.

(112-117) S13V [Schwörnchen Veränderung] Entweder hat es Glück und es kann gut klettern und auch schwimmen, oder es hat Pech und ertrinkt. Es sei denn jemand kommt dann und guckt wo es sich befindet und Forscher oder Wissenschaftler, die nehmen die immer in Käfige oder lassen es da rum laufen. Wenn die merken es ist bedroht, dann fangen die solche Tiere ein und untersuchen die auch. Ob es immer noch so aussieht oder sich verändert hat kommt darauf an, weil es gibt ja da dieses eine, das sie gefunden haben. Wenn das ausstirbt und es entsteht auf einmal nochmals so eins, dann wird das wahrscheinlich wieder anders aussehen von der Form her. Das Aussehen kommt darauf an mit welchen Tieren das dann gepaart wurde.

Artentstehung

(110-111) S13V [Schwörnchen Entstehung] Wahrscheinlich ist es auch so wie diese Albinos entstanden, es gibt ja nicht immer ganz genau gleiche Farben und so. Vielleicht ist das irgendwann auch einmal vom Eichhörnchen und einem anderen Tier entstanden. Jetzt nicht von einem Eichhörnchen und Schwein.

Auftreten neuer Variation

(100-103) S13V [Birkenspanner: Erklärung Auftreten der dunklen Form] Ich glaube der Helle der ist ja auch im Dunklen ein bisschen mehr aufgefallen weil der auch mehr weiß war. Und der Schwarze, der konnte ja nicht so auffallen, weil er im Dunklen lebt. Vielleicht ist irgendwann mal so ein Schwarzer auf

die Welt gekommen und dann gab es halt mehrere Schwarze, aber die wurden dann vielleicht erst später entdeckt, weil die konnten ja kaum gesehen werden wenn es dunkel war. Ja es kann zufällig sein, dass etwas anderes entsteht, es kann ja passieren, weil manchmal kommen ja auch bei zweien dunklen Löwen ein weißer. Das ist ein Albinolöwe. Und vielleicht hier halt ein Schwarzer anstatt ein Weißer.

Artkonzept

(94-99) S13V [Bänderschnecken, Arten] Ich glaube die Schnecken das ist eine Art. Ich glaube die auf der Wiese wären am meisten gelb und die im Wald wären mehr bräunlich. Ich glaube aber im Wald da gibt es auch Gelbe nicht nur Braune, aber wahrscheinlich gibt es da auch mehrere Braune. Die gab es ja immer in mehreren Farben und die Braunen sind dann in den Wald gegangen, weil da fallen die nicht so schnell auf, weil es gibt ja auch Igel, die die fressen. Ja, ich glaube dass ich mehr Dunklere im Wald finde und mehr Gelbe auf der Wiese, weil die da nicht so auffallen. Die gehen nicht unbedingt dahin wo sie weniger auffallen, aber vielleicht hat sich das dann irgendwann einmal so eingeteilt. Also ich habe jetzt als ich an der Mauer welche gepflückt habe, habe ich da auch Pinke und Gelbe gefunden.

(118-139) S13V [Tiere, Nachkommen] Bei Dogge und Chihuahua ist es schwierig das die Kinder bekommen, weil die unterschiedlich groß sind und die kommen auch nicht so schnell an sich ran. Bei Dogge und Bernhardiner könnte es klappen, wenn die sich vertragen. Ja, das geht, da kommt ein Mischling raus. Ich glaube nicht das Dogge und Wolf sich paaren können, weil der Wolf. Ja, wenn die beide im Freilauf leben, weil der Wolf haut ja vor den Menschen schnell ab wenn er Menschen sieht, aber so mit der Dogge könnte klappen, weil es sind ja Vorfahren. Nein, bei Fuchs und Wolf glaube ich das nicht, die vertragen sich nicht so gut. Der Wolf ist ein Feind von dem Fuchs meine ich. Ich glaube nicht das Pferd und Rind sich paaren können, was soll denn da für ein Wesen raus kommen, also das kann ich mir nicht vorstellen.

Nach dem Unterricht:

Artveränderung

(20-21) S13N [Giraffe, Erklärung Entwicklung langer Hals] Vielleicht gab es da mal eine Giraffe, die einen etwas längeren Hals hatte und die hat sich dann auch mit einer etwas größeren gepaart eh gekreuzt und dann kamen wieder auch welche mit einem längeren Hals raus. Außerdem die mit dem ganz kurzen Hals, die kamen ja nicht so gut an das Fressen und dann sind die nach und nach gestorben, weil die nicht genug zu fressen hatten, die mit dem langen



Abbildung 31: Legebild von Lara zur Veränderung der Birkenspanner im Interview nach der Unterrichtsintervention

Hals haben sich dann immer weiter entwickelt. Dann kamen immer welche mit einem längeren Hals.

(42-45) S13N [Braunbären am Nordpol] Die können sich ein klein wenig verändert haben. Da kommen erst mal wieder normale Braunbären raus wenn die sich paaren. Und wenn die dann viel im Schnee rumtoben, wird das Fell mit der Zeit und auch von der Temperatur wird es immer kälter und dann verliert es auch seine Farbe so ein bisschen, dann wird es immer heller. Die sind dann nicht mehr so dunkel braun, aber auch nicht weiß. Und wenn es da z.B. auch noch einen Eisbären gäbe und mit dem könnten die sich auch kreuzen, dann werden die Nachkommen immer heller werden. Es sei denn, da gibt es keine [Eisbären], dann kommt es mit der Zeit, dass sie sich besser anpassen können wenn einer davon jetzt heller geworden ist. Ja von der Temperatur ist das weißer geworden und einer von denen, einer der Nachkommen ist halt etwas heller. Dann paaren die sich vielleicht wieder und dann wird es immer heller und heller (vgl. Abb. 31).

(38-39) S13N [Birkenspanner: Erklärung Auswirkung der Umweltveränderung] Da gab es früher schon Schwarze und ein paar Weiße. Und da gab es noch relativ viele Weiße und so ein paar schwarze, aber es gab auch schon wieder einen Grauen, etwas Dunkleren, weil es wurde ja immer weniger und an einigen Bäumen haben die sich halt unterschiedlich angepasst. Hier war das auch so, nach 25 Jahren da waren noch weniger weiße da, weil die konnten sich nicht mehr so gut tarnen und wurden dann von ihren Feinden aufgefressen und die anderen Dunklen die waren dann besser geschützt und dann gab es dementsprechend mehr Dunklere hier. Und dann hier auch genau, da sind zwar immer noch so ein paar weiße da, aber es gab ja früher ganz viele davon, aber die konnten sich besser anpassen die drei sag ich jetzt mal die zwei Arten und dann wurde es immer dunkler bei denen. Dann kann es auch mal passiert sein, dass es kaum noch welche gab, dass da nur noch ein, zwei, drei überlebt

haben. Dann gab es erst mal nur ganz Dunkle. Da hat dann vielleicht nur einer vielleicht überlebt, dass man noch ein paar gefunden hat die sich weiter gekreuzt haben und vielleicht einen guten Ort gefunden haben, im Ausland oder so da gibt es ja noch Bäume. Ich weiß nicht, so eine Birke wo die sich gut tarnen konnten und dann gab es trotzdem noch ganz viele dunkle.

(40-41) S₁₃N [Mäuse: Erklärung der Veränderung] Es kann passiert sein, früher gab es die [Hellen] und eine der größten Feinde der Mäuse ist der Adler, dass die Mäuse schneller entdeckt wurden, weil sie so hell waren und im Wald leben die ja hauptsächlich und da ist es mehr so dunkel. Und da wurden die Hellen schneller entdeckt. Es kann auch sein, dass sich irgendwann zwei dunklere Mäuse gepaart haben und dann kamen die hier halt raus. Und dann zwei Stück davon und dann können die sich weiter kreuzen und dann wurden die hier immer mehr. Weil hier erkennt man die Mäuse, die sind auch viel besser getarnt. Dann hat der sich nur noch die geschnappt, weil man die nicht mehr so gut erkennen konnte. Und die andere Mäuse hier die können sich dann in Ruhe weiter entwickeln, immer mehr, und die haben sich dann vermehrt und dann gab es hinterher nur noch ganz wenige von den Hellen und so hatten die Mäuse doch bessere Überlebenschancen.

(70-75) S₁₃N [Antibiotika Erklärung Entstehung resistenter Bakterien] Ich kenne Antibiotika so ein bisschen. Wenn man andauernd diese Bakterien hat und man schluckt das immer und immer wieder, dann hat es ja irgendwann keinen Sinn mehr. Dann merken die Bakterien, das irgend etwas nicht stimmt und dann ist das auch wieder dann passen die sich untereinander an und irgendwann stört es die dann auch halt nicht mehr. Ja, die können das merken, die merken oh wir werden gejagt können jetzt nichts dafür aber, ich meine man kann jetzt nicht in die Gedanken der Tiere rein gucken, aber man sieht ja, dass die sich immer weiter entwickeln untereinander.

Artentstehung

(58-63) S₁₃N [Schwörnchen Erklärung Entstehung] Ich denke nicht, das es da Schwein und Eichhörnchen gab, aber da gibt es ja auch ganz viele andere Lebewesen und wenn sich jetzt z.B. andere Lebewesen miteinander kreuzen, da kommen zwar unfruchtbare raus, aber das wenn sich z.B. wieder welche einer Art kreuzen und die sind dann aber trotzdem auch noch etwas unterschiedlicher. Wie bei den Schnecken z.B. die sind ja auch eine Art aber die haben auch unterschiedliche Farbe, dass dann hier irgendwann so ein Schwörnchen raus kommt. Ja, ich meine das sich da eine Art verändert hat.

Auftreten neuer Variation

(22-27) S₁₃N [Birkenspanner: Erklärung Auftreten der dunklen Form] Das kann vielleicht auch wieder wegen der Anpassung sein, weil die leben ja hauptsächlich nachts und wenn da so ein Vieh mit weißen Flecken rum fliegt, dann erkenn ich das schneller, als wenn da nur ein schwarzes ist. Dann ist das nicht so auffällig und dann haben die sich vielleicht nach und nach da angepasst. Es könnte vielleicht sein, dass die ja es gibt ja auch manchmal so Fehlgeburten sage ich jetzt mal, das da z.B. einer weiß ist oder im Rollstuhl sitzt und vielleicht ist bei denen mal einer ganz schwarz geworden und dann gab es noch etwas Dunklere und die haben sich dann immer gekreuzt und dann irgendwann kamen ganz Schwarze raus. (46-49) S₁₃N [Braunbären am Nordpol, Mutation] Ich glaube, dass wäre unterschiedlich weil die ohne Fell ich meine die können ja nicht so gut überleben. Die können ja frieren weil das ist sehr kalt da und Menschen müssen da auch schon kämpfen, wenn die da nichts Warmes bei haben und ich denke nicht das es so ein haarloser Braunbär da schaffen würde. Ich denke schon, dass die geringeren Überlebenschancen auch dazu führen das so etwas überhaupt weniger auftritt, weil ich meine der hat sicher keine Chance sich weiter zu paaren. Ich meine es kommt ja nicht jetzt bei jedem dritten Braunbärwurf ein Bär ohne Fell raus, es ist schon extrem selten.

Artkonzept

(50-57) S₁₃N [Bänderschnecken, Anzahl Arten] Ich glaube das ist eine Art. Also es sind ja alles Schnecken. Vielleicht könnte man das beweisen, indem man ganz viele Gelbe nimmt und die setzt man im Wald aus und dann würde man sehen, das die gejagt werden von Igelz. z.B. die essen das ja, dass die sich dann auch nach und nach, sieht man ja auch, die werden immer dunkler, dunkler, dunkler und irgendwann könnte man die nicht mehr ganz so gut erkennen. Und da ist es umgekehrt, wenn man die auf der Straße aussetzt, dann erkennt man die, erkennt man auch mehr als da, also die Gelben sind da nicht ganz so gut getarnt. Ja, wenn die sich verändern würden, dass die so ähnlich aussehen wie die, dann wäre das meiner Meinung nach eine Art. Die sind jetzt so oder so eine Art sage ich jetzt mal, aber das früher nur Gelbe gab, die eine Art nicht nur eine Farbe haben kann sondern unterschiedliche Fellfarben. Meerschweinchen sind ja auch eine Art und meine Meerschweinchen sind jetzt nicht alle braunweiß, sondern eines ist bunt und eines ist nur braun.

(76-85) S₁₃N [Tiere, Nachkommen] Nein, Dogge und Chihuahua können keine Kinder miteinander bekommen. Ja Wolf und Dogge können Kinder bekommen. Nein die Kinder nicht auch wieder. Ich glaube nicht, weil ich meine die sind zwar von einer Art aber die sind heute zutage so unterschiedlich, da merkt man das kaum noch. Also das die Dogge und der Wolf, ist ein Wolf. Ja ich mei-

ne, die sehen sich nicht ähnlich, die sind auch ganz anders und ja, wenn die sich paaren, dann klappt das nicht so gut wie bei dem Chihuahua.

Explikation:

Vor dem Unterricht:

A Inhaltliche Vorstellungen

A1 Anpassung durch Artveränderung

Lara hat die Auffassung, ein umweltbedingter Zwang ist Auslöser für eine Artveränderung ist. Dieser tritt in ihren Erklärungen als *müssen* (76-79, 104-109) auf, sowohl im Kontext der Giraffen, als auch bei den Birkenspannern.

Die Schülerin hat, selbst in nur einem Kontext, keine einheitliche Erklärung in Bezug auf den Mechanismus der Anpassung. Bei der Giraffe geht sie von einer Fortpflanzung über Generationen aus. Ihrer Meinung nach führt Gebrauch, hier in Form des Streckens des Halses, zwar nicht zu einer direkten Veränderung des Merkmals, aber letztendlich doch zu einem Wachstum. Die Birkenspanner hingegen nehmen ihre Unangepasstheit selbst wahr und suchen als Folge aktiv aufgrund des Zwangs zur Tarnung einen passenden Lebensraum auf. Die unterschiedlichen Erklärungen zeigen, dass die Schülerin das jeweilige Phänomen nicht gleich wahrnimmt und keine gefestigte Vorstellung über den Anpassungsprozess aufweist.

Auswirkungen von Umweltveränderungen hängen vom Zufall ab, Organismen können nach Laras Sichtweise Glück oder Pech haben. Hierbei können sich schon vorhandene Fähigkeiten in Form einer Präadaption als vorteilhaft erweisen.

Die Schülerin geht davon aus, dass nach dem Aussterben einer Art auch eine neue Art entsteht, als ob sie den frei gewordenen Platz einnimmt. Allerdings ist Artentstehung nach Laras Auffassung nicht reversibel, da sie davon ausgeht, es entsteht eine andere Art.

Das Aussehen von Individuen ist von den Elterntieren abhängig, es kommt auf die Paarungspartner an. Tiere einer Art können unterschiedlich Aussehen und es können Tiere mit abweichenden Merkmalen auftreten. Lara hat somit eine Vorstellung, dass plötzlich und unvorhersehbar solche Außenseiter auftreten können. Dies gibt sie sowohl im Kontext der Birkenspanner an, *vielleicht ist irgendwann einmal so ein Schwarzer auf die Welt gekommen* (100-103), als auch im Zusammenhang mit der Entstehung von neuen Arten.

Zur Entstehung von neuen Arten kann nach Laras Vorstellung auch die Kreuzung artfremder Individuen beitragen.

A2 Artbegriff

Die Individuen einer Art unterscheiden sich ihrer Meinung nach voneinander. Das Vorkommen der Varianten ist in Abhängigkeit von der Umgebung unterschiedlich häufig, resultiert allerdings aus einer Anpassung, welche sie auf das aktive Aufsuchen des Lebensraumes aus Tarnungsgründen zurückführt, was sie als natürliche Einteilung angibt.

Die Kreuzbarkeit von Individuen wird von Pia in verschiedenen Kontexten unterschiedlich begründet und nicht auf Artzugehörigkeit zurückgeführt. Bei gleicher Art und unterschiedlicher Körpergröße wird diese abgelehnt, in anderen Zusammenhang aber eine mögliche Verpaarung auf gemeinsame Vorfahren, die Begegnung oder Verträglichkeit der Tiere zurückgeführt. Für Lara steht hinter der Kreuzung kein allgemeines Konzept und zur Artentstehung akzeptiert sie auch artfremde Verpaarungen.

B Gegensätze

Lara erklärt Anpassung nicht nur gegensätzlich, sondern widerspricht sich in ihren Aussagen. Sie lehnt zwar die Veränderung von Merkmalen durch Gebrauch erst ab, geht aber im weiteren Verlauf derselben Erklärung davon aus, dass ständiger Gebrauch ein Wachstum induziert und dieses veränderte Merkmal vererbt wird, da es auch die Nachfahren aufweisen. *Wenn sie immer versucht sich eigentlich fast nur nach da oben zu strecken, dann mit der Zeit wächst das ja auch ein bisschen ... könnte es passieren, dass der Hals irgendwann ein bisschen länger wird. Irgendwann hätten die Kinder schon einen längeren Hals (76-89).*

Ebenso begründet sie Anpassung beim Birkenspanner und das Vorkommen unterschiedlicher Varianten der Bänderschnecke mit Migration in einen als passend unter dem Tarnungsaspekt wahrgenommen Lebensraum. Sie widerspricht sich aber bei den Bänderschnecken später und ist der Ansicht, diese Einteilung ist ohne Eigenbeteiligung automatisch bzw. natürlich entstanden. *Die gehen nicht unbedingt dahin wo sie weniger auffallen, aber vielleicht hat sich das dann irgendwann einmal so eingeteilt (94-99).*

C Sprachliche Aspekte, Herkunft der Vorstellungen

Lara scheint zum Teil keine einheitlichen Vorstellungen zu Artveränderung zu haben. Sie bildet die Erklärung spontan, indem sie Wissen und eigene Erfahrungen auf den thematischen Kontext überträgt. So lehnt sie zuerst die Veränderung von Merkmalen durch Gebrauch unter der Begründung ab, dass sie selbst ja beim Strecken auch nicht länger würde (76-89). Den Tarnungszwang

der hellen Birkenspanner führt sie auf das eigene leichte Erkennen der Variante auf einer Abbildung zurück.

Die Möglichkeit des spontanen Auftretens von Individuen mit neuen Merkmalen abstrahiert sie vom ihr bekannten Einzelfall des Albinismus beim Löwen.

Die Möglichkeit einer Kreuzung wird von Lara akzeptiert, wenn sie sich die entsprechenden Nachkommen vorstellen kann. Dies gelingt ihr anscheinend ab einem bestimmten Grad an Unterschiedlichkeit nicht mehr und in Folge davon lehnt sie diese anschließend ab.

Nach dem Unterricht:

A Inhaltliche Vorstellungen

A1 Anpassung durch Artveränderung

Lara geht in ihren Erklärungen der Artveränderungen nach dem Unterricht nicht mehr von einem umweltbedingten Zwang der Vererbung erworbener Merkmale aus. Ihre Erklärungen sind, auch in unterschiedlichen Kontexten, einheitlich.

Ausgangspunkt für die Artveränderung sind einige Individuen, die in bestimmten Merkmalen von Durchschnitt der Population abweichen. Paaren sich diese Außenseiter, haben die Nachkommen ebenfalls das abweichende, vorteilhafte Merkmal. *Vielleicht gab es da mal eine Giraffe, die einen etwas längeren Hals hatte und die hat sich dann auch mit einer etwas größeren gepaart eh gekreuzt und dann kam wieder auch welche mit einem längeren Hals raus (94-99).*

Andere Individuen mit nicht vorteilhaften Merkmalen sterben. Dies führt zu einer Entwicklung, bei der das vorteilhafte Merkmal schrittweise stärker entwickelt wird. Lara erklärt das häufigere Auftreten dunkler Birkenspanner ebenfalls durch Tarnungsnachteile und selektives Überleben bestimmter Merkmalsvarianten.

Variation, wenn auch eingeschränkt auf wenige Individuen und in fast dichotomer Form, ist auch zu dem für die Schülerin angenommen Endpunkt des Prozesses der Anpassung vorhanden. Allerdings ermöglicht in ihrer Erklärung beim Birkenspanner die Migration das Überleben. Lara ist unsicher bei Ursachen für die Entstehung von Variation. Sie wird entweder durch umweltbedingte Anpassung hervorgerufen oder, wie schon vor dem Unterricht angenommen, aufgrund von spontanen Abweichungen, die für sie *Fehlgeburten* (22-27) sind. Sie verwendet nicht den im Unterricht eingeführten Terminus Mutation.

Das Auftreten von Mutation ist nach Laras Auffassung aufgrund der unterschiedlichen Überlebens- und Fortpflanzungschancen unterschiedlich. *Ich denke schon das die geringeren Überlebenschancen auch dazu führen das so etwas überhaupt*

weniger auftritt, weil ich meine der hat sicher keine Chance sich weiter zu paaren (46-49). Sie trennt nicht Auftreten und Auswirkung von Variation.

Im Gegensatz zu den konsistenten Erklärungen im Kontext von Giraffe, Birkenspanner und Mäusen weicht die Erklärung bei den Braunbären und Bakterien ab. Eine Möglichkeit bei dem Beispiel der Braunbären ist, dass in diesem Beispiel keine Information über den Zustand der Anpasstheit gegeben wird. Hier geht Lara von einer direkten Einwirkung der Umgebungsbedingungen „Schnee“ und „Temperatur“ auf die Entstehung der Merkmalsvarianten aus. Anschließend führt auch hier Paarung der Abweichler zur graduellen Merkmalsverschiebung über die Generationen. Stark abweichend sind Laras Erklärungen der Antibiotikaresistenz, die sie mit Hilfe von Anpassung durch Wahrnehmung und Gewöhnung begründet.

Im Gegensatz zu vor dem Unterricht lehnt sie die Artentstehung durch artfremde Kreuzung ab. Neue Arten können durch Kreuzung von sehr unterschiedlichen Varianten einer Art entstehen.

A2 Artbegriff

Individuen einer Art können in ihrem Aussehen variieren, sind aber durch eine schrittweise Veränderung ineinander überführbar. Die Variation kann sehr stark sein, so dass man Artzugehörigkeit kaum noch erkennt wie im Fall von Dogge und Wolf. Deutliche Unterschiedlichkeit wirkt sich allerdings auf eine nicht so gut funktionierende Paarung aus.

B Gegensätze

Laras Vorstellung zur Entstehung von Variation ist widersprüchlich. In mehreren Zusammenhängen geht sie von plötzlichen Abweichungen aus, im Fall der Braunbären allerdings durch Einwirken der Umwelt.

Obwohl Lara die artfremde Kreuzung als Möglichkeit der Entstehung neuer Arten erst ablehnt, geht sie doch von einer Kreuzung unterschiedlicher Varianten bei der Veränderung einer Art zu einer neuen Art aus.

C Sprachliche Aspekte, Herkunft der Vorstellungen

Der Terminus Art wird nach dem Unterricht nicht fachlich, sondern auch umgangssprachlich verwendet. Laura bezeichnet die unterschiedlichen Farbvarianten des Birkenspanners als unterschiedliche Arten.

Ihre Erklärungen werden im Vergleich zu dem Interview vor der Intervention weniger spontan durch Transfer von eigenen Erfahrungen gebildet. Nur bei der Begründung der unterschiedlichen Wahrscheinlichkeit verschiedener Mutationen wird der Vergleich zum Menschen gezogen. Eine mögliche Begründung hierfür ist, dass Lara im Gegensatz zur selektiven Erklärungen zur Artverän-

derungen nicht Wissen aus dem Unterricht transferieren kann und deshalb bekannte Alltagserfahrungen zur Erklärung nutzt. Das Konzept von nicht vorhersehbaren Mutationen wird in Ansätzen zwar schon vor dem Unterricht von Lara in Erklärungen eingebracht, ist nach der Intervention aber offensichtlich nicht abrufbar integriert.

Konzepte:

Konzepte zu Anpassung

- **Anpassungszwang durch Umweltänderungen:** Aus den Umweltbedingungen resultiert ein Anpassungszwang für die Arten.
- **Graduelle Anpassung über Generationen:** Die Artveränderung erfolgt schrittweise über mehrere Generationen und einen längeren Zeitraum.
- **Gebrauch wirkt Körperwachstum:** Gebrauch eines Merkmals führt zu dessen indirekten Veränderung über Induktion von Wachstum.
- **Zufällige Auswirkung von Variation:** Vorhandene Merkmale können sich bei einer Änderung der Umwelt zufällig als vorteil- oder nachteilhaft auswirken.
- **Aktive Migration zur Tarnung:** Anpassung erfolgt in dem die Tiere in einen passenden Lebensraum wandern.
- **Schrittweise Veränderung durch Paarung von Abweichlern:** Durch die Paarung von in Merkmalen abweichenden Individuen erben die Nachkommen dieses vorteilhafte Merkmal, wodurch es zu einer schrittweisen Merkmalsänderung in der Population kommt.
- **Schrittweise Entwicklung vorteilhafter Merkmale durch selektives Überleben:** Nur Individuen mit vorteilhaften Merkmalen überleben, was zu einer schrittweisen Merkmalsänderung in der Population führt.
- **Variation in angepasster Population:** Anpassungsergebnis ist eine Population mit vorhandener Variation.
- **Umweltinduzierte schrittweise Merkmalsänderung:** Die Umwelt induziert direkt eine schrittweise Veränderung von Merkmalen.

Konzepte zu Art und Artentstehung

- **Nischenfüllung durch Artentstehung:** Der Platz ausgestorbener Arten wird durch neue, andere entstandene Arten eingenommen.

- **Reproduzierbare Artentstehung:** Bei entsprechenden gleichen Umweltbedingungen können dieselben Arten wiederholt entstehen.
- **Artbildung durch artfremde Kreuzung:** Neue Arten können durch Nachkommen einer interspezifischen Kreuzung entstehen.
- ~~Artbildung durch artfremde Kreuzung:~~ ~~Neue Arten können durch Nachkommen einer intraspezifischen Kreuzung entstehen.~~
- **Kreuzungsmöglichkeit bei vorstellbaren Nachkommen:** Die Kreuzungsmöglichkeit von Tieren wird angenommen, wenn die Nachkommen vorstellbar sind.
- **Kreuzungsmöglichkeit bei gemeinsamer Abstammung:** Tiere, die gemeinsame Abstammung haben, können fertile Nachkommen erzeugen.
- **Kreuzungsmöglichkeit bei gleichem Lebensraum und / oder Verträglichkeit:** Tiere können miteinander Nachkommen zeugen, wenn sie sich im gleichen Lebensraum begegnen und miteinander vertragen.
- **Unterschiedlichkeit vermindert Kreuzungsmöglichkeit:** Tiere, die sich stark voneinander unterscheiden, können nicht Nachkommen miteinander zeugen.

Konzepte zu Variation

- **Migration aufgrund wahrgenommener Unangepasstheit:** Tiere nehmen ihre nicht vorhandene Anpassung an den Lebensraum wahr und suchen selbständig einen neuen passenden Lebensraum auf.
- **Vererbtes Erscheinungsbild:** Das Aussehen eines Individuums ist von den Eltern abhängig.
- **Innerartliche Variation:** Individuen einer Art können unterschiedlich aussehen.
- **Plötzliche Mutation:** Erbanlagen können unvorhersehbar und sprunghaft verändert werden.
- **Einzelne Abweichler:** Es treten einzelne Tiere mit abweichenden Merkmalen auf.
- **Umweltinduzierte Variation:** Das Auftreten von Variation ist durch die Umgebung bestimmt.
- **Migration benachteiligter ermöglicht Überleben:** Migration ermöglicht das nachteilhafte Merkmale bleiben in der Art erhalten.

- **Mutationschance ist abhängig vom Überlebensvorteil:** Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer Mutation ist abhängig von der Auswirkung in Bezug auf Selektion.

8.2.4 Interview Michael

Geordnete Aussagen:

Vor dem Unterricht

(56-62) S18V [Giraffe, Erklärung Entwicklung langer Hals] Die Giraffe sieht einfach schön aus. Das Muster ist schön. Vor allem es ist ein großes Tier, es hat einen langen Hals, länger als die Beine, frisst Blätter und wenn es trinken will das sieht auch ein bisschen witzig aus, weil sie die Beine so auseinander machen muss. Ich schätze mal, die waren schon so, oder die waren noch nicht so und die haben das immer mehr nachbilden lassen, weil sie einfach an die Blätter rankommen mussten, weil sie da ja auch in der Wüste waren und das vertrocknete Gras das schmeckt ja auch nicht so gut und mit kurzem Hals kommt man da nicht so gut dran. Oder wie der Elefant, der hat jetzt ja auch einen langen Rüssel und die hätten sich vielleicht auch lange Beine wachsen lassen können, aber wahrscheinlich wäre es ein bisschen schwierig zu laufen oder überhaupt noch was zu trinken. Also die versuchen erst mal das Gras abzufressen und auch versuchen sie es etwas unterhalb dieses Baumes, also ein bisschen tiefer, wo hier jetzt auf dem Bild die Blätter hängen, noch an ein paar dran zu kommen. Aber weil es da nicht so viele gibt und die auch bemerken, dass die mehr Fressen brauchen, weil das Gras halt nicht schmeckt, haben die versucht einfach sich zu recken. Umso mehr sie sich recken, umso länger wird das ja ein bisschen. Und ich schätze die hatten früher vielleicht auch ein bisschen Glück, das die Blätter nicht ganz so abgefressen waren oder die Bäume dann noch ein bisschen tiefer noch etwas dran gewesen war und wenn die das dann alle abgeknabbert haben die kleineren Giraffen, dass die dann auch bemerkt haben, dass die größer werden müssen.

(50-55) S18V [Braunbären am Nordpol] Nein, ich würde nicht denken das die Braunbären ihre Fellfarbe ändern würden, weil das würde ja auch ziemlich viel Energie aufbringen und ich weiß nicht ob die diese Farbzellen auch da drin haben dann. Wenn die überhaupt da Kinder bekommen können, würde ich sagen, die würden sich nicht so groß verändern weil die beiden Vorfahren sind gleich. Aber vielleicht nach so hundert Jahren oder so würden die sich vielleicht schon ein bisschen besser daran anpassen, wahrscheinlich dann auch ein bisschen dickeres Fell haben, wahrscheinlich ein bisschen heller dann die

Tabelle 8o: Gegenüberstellung der von Lara vor und nach der Unterrichtsintervention zur Erklärung verwendeten Konzepte 1

Vor dem Unterricht:	Nach dem Unterricht:
<i>Konzepte zu Anpassung</i>	
Anpassungszwang durch Umweltänderungen	Schrittweise Veränderung durch Paarung
Graduelle Anpassung über Generationen	von Abweichlern
Gebrauch wirkt Körperwachstum	Schrittweise Entwicklung vorteilhafter Merkmale
Zufällige Auswirkung von Variation	durch selektives Überleben
Aktive Migration zur Tarnung	Variation in angepasster Population
	Umweltinduzierte schrittweise Merkmalsänderung
<i>Konzepte zu Art und Artentstehung</i>	
Nischenfüllung durch Artentstehung	
Reproduzierbare Artentstehung	
Artbildung durch artfremde Kreuzung	Artbildung durch artfremde Kreuzung
Kreuzungsmöglichkeit bei vorstellbaren Nachkommen	
Kreuzungsmöglichkeit bei gemeinsamer Abstammung	
Kreuzungsmöglichkeit bei gleichem Lebensraum und / oder Verträglichkeit	
	Unterschiedlichkeit vermindert
	Kreuzungsmöglichkeit

Tabelle 81: *Gegenüberstellung der von Lara vor und nach der Unterrichtsintervention zur Erklärung verwendeten Konzepte 2*

Vor dem Unterricht:	Nach dem Unterricht:
<i>Konzepte zu Variation</i>	
Wahrgenommene Unangepasstheit	
führt	
zu Migration	
Vererbtes Erscheinungsbild	
Innerartliche Variation	
Plötzliche Mutation	Plötzliche Mutation
	Einzelne Abweichler
	Migration benachteiligter ermöglicht
	Überleben
	Umweltinduzierte Variation
	Mutationschance abhängig vom
	Überlebensvorteil

Fellfarbe. Aber so große Veränderung kann man bei einem Nachfolger nicht erreichen.

(76-81) S18V [Birkenspanner: Veränderung] Ich schätze mal auf dem helleren Baumstamm konnten die auch besser geschützt essen oder sich auch da verstecken und als die Bäume dann dunkler geworden sind, haben die sich einfach umgetarnt und in schwarz das gemacht. Hier sieht man ja auch schon, die haben ein bisschen schwarz da dann. Also so schwierig wird das dann auch nicht gewesen sein. Ich weiß nicht wie Tiere das dann eigentlich machen. Also zumindest ich weiß nicht ob die so gut sehen können. Deswegen, ich würde mal sagen, die haben bemerkt, dass auch sie selber, diese Art in dieser Farbe, mehr gefressen wird wenn sie so aussehen und haben irgendwie versucht die Farbe zu ändern und dann ein bisschen dunkler zu werden oder so und haben es versucht und dann hat es geklappt. Entweder war es nur Zufall oder sie haben es auch selber gesehen. Ich weiß nicht ob die richtig gut sehen können. Ich weiß nicht, ob sich das wieder ändern würde, wenn es die Flechte wieder gäbe. Die können sich ja zumindest immer noch unter den Flechten oder so verstecken. Aber wahrscheinlich würde es dann auch wieder mehr hellere Formen geben davon.

(84-87) 18SV [Schwörnchen Veränderung] Ich würde sagen, wenn der Wasserspiegel ansteigt, würden ziemlich viel davon sterben, wie sie sich nicht auf einen Fleck bringen können. Es gibt auch nicht mehr so viel Nahrung und das Wenige, was es da zu fressen gibt, das wird dann auch nicht reichen für die

Gesamten. Dann würden die entweder ganz aussterben oder nur noch so ein bisschen vereinzelt da vorkommen. Weil einfach durch diese Nahrung da nichts mehr ist. Würde man nach längerer Zeit noch Tiere finden, schätze ich, ist es ein bisschen kleiner geworden. Hat sich auch noch mehr ein bisschen daran angepasst, dass es mehr Grünzeug fressen muss und es dann einfach anders aussieht, aber noch ähnlich. Aber man würde dann für das Tier einen neuen Namen erfinden, weil es schon anders aussieht.

Artentstehung

(82-83) S18V [Schwörnchen Entstehung] Früher waren da einfach normale Eichhörnchen oder normale Schweine, je nach dem wie es jetzt war, zumindest haben die versucht einfach sich daran an zu passen und einfach die Form zu ändern. So, dass sie das, was es da gibt essen können ohne dass sie sich den Magen verderben oder so, aber auch sich gut vor anderen Tieren da schützen können.

Auftreten neuer Variation

(72-75) S18V [Birkenspanner: Erklärung Auftreten der dunklen Form] Das sind glaube ich Motten. Die fliegen ja meistens nachts und das helle [Tier] fällt vielleicht nachts besser auf als das dunkle [Tier], aber sonst hätte ich eigentlich keine Idee dazu wie es kommt das die dunkle Form auftritt.

Artkonzept

(62-71) S18V [Bänderschnecken, Arten] Ich würde sagen die Schnecken, das ist eine Art, die sind gleich gebaut, haben ein bisschen verschiedene Farben, aber eigentlich ist es eine gleiche Art. Vielleicht sind die Hellen noch ein bisschen jünger, damit sie sich besser tarnen können, oder die Dunklen haben eine härtere Schale oder so. Aber zumindest ist es eine Art. Schnecken auf der Wiese und im Wald unterscheiden sich ein bisschen, es kann sein dass die ein bisschen einen anderen Namen haben, dass die einen Waldschnecken und die anderen Grasschnecken heißen. Ja, ich würde sagen die unterscheiden sich von der Farbe, weil das Gras ist ja auch ein bisschen heller und im Laub oder so auf der Erde. Ich würde schon sagen, die würden eine andere Farbe, wie hier ein bisschen das hellere und im Wald dann das dunklere haben. Die haben sich einfach angepasst, weil essen und gefressen werden. Dann haben die sich getarnt, im Wald dunkler. Also wenn man die Dunklen jetzt dahin tun würde in das Gras, würden die wahrscheinlich schneller gefunden werden als die hellen und deswegen könnten die dann schneller gefressen werden von anderen Tieren.

(88-102) S18V [Tiere, Nachkommen] Ich würde sagen nein, Dogge und Chihuahua können keine Kinder bekommen, weil erst mal ist der Größenunter-

schied zu groß, auch schätze ich mal das Weibchen müsste dann ein größeres Tier gebären, was zu groß ist für sie selber ist. Ich schätze da gibt es dann keine richtige Geburt dann. Bei Dogge und Boxer da bin ich mir jetzt nicht ganz so sicher, also wenn die sich paaren würden, würde ich sagen, dass würde vielleicht hinlauen, weil sie haben ja eigentlich die gleiche Größe und sie können sich dann vielleicht auch einfach paaren, weil sie sich ziemlich ähneln, weil die sind auch ziemlich gleich aufgebaut. Die Farben würden sich dann einmischen. Bei Dogge und Wolf würde ich nein sagen, weil die Hunde stammen zwar von Wölfen ab, aber die würden sich jetzt nicht damit paaren können, weil die haben zu große Veränderungen schon angenommen durch den Menschen. Ich schätze der Wolf wird das auch gar nicht zulassen. Es würde auch gar nicht so eine Kreuzung in der Natur geben. Fuchs und Wolf würde ich auch nicht sagen, weil die haben schon Veränderungen. Der Fuchs ist auch ein bisschen kleiner und die sehen auch einfach anders aus, die können das einfach nicht so gleich machen. Auf gar keinen Fall können das Rind und Wolf oder Rind und Pferd. Da sind einfach zu große Unterschiede, auch mit dem Gewicht und so, das würde gar nicht hinlauen.

Nach dem Unterricht:

Artveränderung

(46-47) S18N [Braunbären am Nordpol] Wenn immer Braunbären sich paaren würden kann es sein, wenn die sich mit Eisbären paaren würden, dann würde das vielleicht schon ziemlich schnell hinlauen [das sie sich verändern]. Nur ich schätze, die kommen sich so nicht in die Quere und die würden sich wahrscheinlich auch eher bekämpfen als sich miteinander zu paaren, weil die haben ja schon eine andere Farbe, das wären dann von den anderen Bären eher so Beutetiere fast.

(38-39) S18N [Birkenspanner: Veränderung mit Karten legen] Ich würde sagen 1800 da war ja da noch alles so ziemlich weiß, dass es da vielleicht auch so ein bisschen so Hellgrau gab, aber nicht so viele. Ich würde mir das eigentlich jetzt so vorstellen ungefähr. Ja, 25 Jahre später durch die Umwelt ist schon ein bisschen mehr was gekommen. Das könnte man jetzt vielleicht schon mal so machen. Auch noch mal einen weißen Falter, auch schon ein bisschen Dunklere, aber trotzdem ist noch weiß und hellgrau die Hauptfarbe. Und 1850, das sind jetzt ja schon 50 Jahre später, da schätze ich da gab es zwar noch nicht jetzt direkt die ganz Dunklen, da gab es vielleicht noch vereinzelt so ein paar Weiße und auch noch so ein paar Hellgrau und schon wahrscheinlich immer mehr Dunkelgrau oder Mittelgrau und vielleicht auch schon so einen Dunkelgrauen. 1875 da schätze ich mal gab es da auch schon so einen [Dunklen], vielleicht



Abbildung 32: Legebild von Michael zur Veränderung der Birkenspanner im Interview nach der Unterrichtsintervention

noch so vereinzelt einen Weißen, dann vielleicht einen Hellgrauen und dann wahrscheinlich eher so die Mittelgrauen. 1900 würde ich sagen, dass man so einen Schwarzen findet, Mittelgrau noch ein paar und vielleicht noch mal einen Hellgrauen oder so, aber sonst auch nochmals so einen Dunkelgrauen (vgl. Abb. 32).

(40-44) S18N [Birkenspanner: Erklärung Auswirkung der Umweltveränderung] Ich würde sagen das ist einfach so, so mehr die Umwelt irgendwie die Rinde ein bisschen schwärzer macht, desto mehr kommen dann dunkle Tiere so zu sagen. Die Änderung der Umwelt bewirkt nicht direkt das Tiere dunkler werden. Nur es gibt ja durch Mutation wie z.B. hier, sagen wir mal 1800 gab es zwei so Hellgrau, die konnten sich ein bisschen besser tarnen, 1825 dann gab es schon einen Mittelgrauen, was 1850 auch noch der Fall war und es gab schon einen Dunkelgrauen. Und das entwickelt sich immer weiter, weil die bemerken die Arten werden einfach nicht so viel gefressen, weil sie besser getarnt sind und dadurch können sie sich mehr fortpflanzen als die anderen. Also wahrscheinlich gibt es jetzt auch noch Weiße, aber nicht mehr so viele und die würden auch einer auf fünf Stück, würden die wahrscheinlich jetzt nicht so richtig auffallen. Deswegen würde ich sagen, man kann ja auch sehen z.B. hier das diese Farben auch immer so ansteigen. Also vielleicht ist das auch so, dass die sich immer weiter vererben hier und einmal kommt so ein Hellgrauer raus. Wenn die aber weiter vererben kommt schon früher ein Hellgrauer raus und dann kommt von denen auch schon so ein Dunkelgrauer raus. Das geht ja fast wie so ein Berg hoch, aber ich finde eigentlich, dass die sich dadurch trotzdem besser angepasst haben, obwohl es ja sein kann, dass die vorher noch ein bisschen mehr gefressen worden sind und hinterher dann doch besser getarnt waren.

(44-45) S18N [Mäuse: Erklärung der Veränderung] Am Anfang war das ja wahrscheinlich so [Bild], dann kam wahrscheinlich eine Mutation, dann kamen schon vereinzelt Schwarze raus, dann wurde es vielleicht schon dunkler. Ach

so, dann müsste man erst mal diesen Berg haben. Und dass das dann immer so weiter fort ging, weil ich glaube das ist ein Bussard. Also der hat sich die hellen Mäuse immer geschnappt auf dem dunklen Untergrund, weil hier sieht man das ja sehr schön. Hier sind noch alle Mäuse ganz normal farbig und dann kommt eine Mutation, zwei Schwarze und da haben die dann so zu sagen Glück gehabt. Die zwei Schwarzen nach dem Vulkanausbruch sind besser getarnt, die Weißen werden gefressen, die Schwarzen überleben, pflanzen sich besser fort. Es gibt immer noch Weiße, hier ist nur noch ein einziger ja eher gesagt so Hellbraune. Und die wird dann geschnappt und hinterher bleiben dann nur noch diese Schwarzen übrig, vielleicht auch noch ein paar mal so eine Hellbraune, weil die vielleicht ein bisschen schneller ist oder so ein bisschen Glück hat dann, aber normalerweise überleben die da nicht so lange auf diesem Untergrund.

(74-82) S18N [Antibiotika Erklärung Entstehung resistenter Bakterien] Ja, ich kenne Antibiotika. Ich würde sagen, die bemerken einfach die Bakterien wie so ein kleines Gedächtnis ja da kommt immer das gleiche auf uns zu. Es ist genau so, wie wenn eine Insel immer von den gleichen angegriffen wird und da bemerken die das wenn die ihre Waffe raus holen sich einfach schützen dagegen. Und wenn das total oft passiert, dann schützen sich auch Bakterien gegen so etwas. Ja ich schätze schon, dass die das gemerkt haben, weil das Medikament so oft gegeben wurde, weil wenn man das jetzt täglich irgendwie nimmt, dann je nach dem wie viel, dann werden die Bakterien schon merken, dass da irgendetwas ist. Also jetzt nicht direkt merken, nur ich weiß nicht wie ich das ausdrücken soll, aber sie werden das schon irgendwie mitkriegen, dass die da angegriffen werden und immer mit dem Gleichen und das die sich ja, die pflanzen sich ja so zu sagen fort. Vielleicht gibt es bei Bakterien auch eine Mutation oder so, also da kann ich jetzt nicht so direkt etwas zu sagen.

Artentstehung

(66-73) S18N [Schwörnchen Erklärung Entstehung] Ich weiß jetzt nicht ob die Insel vorher auch schon bewohnt war von Tieren oder so. Vielleicht werden da ein paar Samen von Bäumen erst einmal angespült und dann hat sich das da entwickelt. Vielleicht irgendwie mal durch einen Zufall hat sich da vielleicht auch Leben entwickelt. Vielleicht gibt es das ja auch, dass es z.B. aus dem Wasser erst einmal kam. Das gab es ja früher auch, da gab es ja erst einmal nur Wassertiere und dass sich das einfach ein bisschen schneller daran angepasst hat. Es gibt ja auch Tiere, die können an Land und im Wasser leben und dass es dann vielleicht einfach erst einmal da drauf war und dann aber auch im Wasser erst einmal Beute gesucht hat. Und nach dem es bemerkt hat, dass da Bäume sind und da auch mehr Leben entstand, vielleicht sind da auch mal

Vögel gelandet oder so und dadurch ist das dann vielleicht auch einmal dahin. Vielleicht ist da auch einmal ein Vogel runter gefallen oder so und dann haben die sich davon ernährt. Erst einmal, weil die das durch irgendeinen Grund besser fanden, und dann kann es ja sein, dass die dadurch erst einmal das geschafft haben so sich daran zu gewöhnen. Und vielleicht hatten die auch nicht direkt so eine Körperform, dass sie Pflanzen fressen konnten und dass sie sich einfach verändert haben, man weiß ja noch nicht wie lange das da ist.

Auftreten neuer Variation

(30-37) S18N [Birkenspanner: Erklärung Auftreten der dunklen Form] Das Auftreten der dunklen Form glaube ich hatte ich schon einmal erklärt. Die Bäume hatten glaube ich irgendetwas, durch die Umwelt sind die einfach ein bisschen schwärzer geworden, die Rinde und dann wurden die hier mehr gefressen. Warum es die dunkle Form überhaupt gab, das ist dann so zu sagen wenn da eine Mutation ist. Z.B. es kann ja sein, dass sie erst mal nur so ein kleines bisschen nur dunkler sind und aber dann hinterher immer dunkler werden und dadurch kommt dann so eine schwarze Form dann raus. Ja, ich würde Mutation als Ursache sagen.

(48-49) S18N [Braunbären am Nordpol, Mutation] Ich schätze wenn die sich überhaupt am Pol so paaren können, weil es da ja ziemlich kalt, dann würde ich mal sagen die würden vielleicht je nach dem ein dickeres Fell bekommen durch eine Mutation oder das es ein bisschen heller ist. Aber so direkt würde ich sagen das ist eher so ein Zufallsprodukt, da kann man jetzt nicht sagen das passiert jetzt, weil die da am Nordpol sind. Also ich schätze mal, wenn die das schaffen könnten sich da zu paaren, würden die da nicht direkt als erstes Kind helle Tiere raus bekommen und die kann man so dann eigentlich auch nicht so richtig züchten. Es sei denn, man macht das so, dass man einfach die helleren Tiere so zu sagen aussortiert, nur halt man bräuchte auch schon einen kleinen Schutzpark da oben, weil sonst funktioniert das einfach nicht. Und wenn die sich mit einem Eisbären paaren würden, also rein züchtlich könnte das vielleicht hin hauen.

Artkonzept

(50-65) S18N [Bänderschnecken, Anzahl Arten] Es kann eine Art sein, dann wären das noch Babys die noch nicht die Kringel haben und so besser getarnt wären. Oder es sind zwei Arten und eine lebt eher in hellerem Gebiet und eine in einem dunkleren Gebiet. Um meine Vermutung zu prüfen würde ich im Internet gucken. Ohne Internet würde ich Bücher lesen oder einfach in einem Naturlexikon, das haben wir auch zu Hause, da könnte man auch mal nach Schnecken gucken. Ich würde jetzt nicht direkt in die Natur gehen und so nach

welchen Schnecken suchen, weil das dann schon viel anstrengender wäre als ein Buch auf zu schlagen und sich da einmal kurz schlau zu machen. Wodurch es kommt, dass die so unterschiedlich aussehen, ich schätze das sind irgendwie einfach kleine Neugeborene, die dann vielleicht einfach noch heller sind, weil die irgendwie da noch besser geschützt sind, wenn sie heller sind und dass die sich dann immer weiter entwickeln. Es kann natürlich sein, dass vielleicht diese Art einfach sich ein bisschen in verschiedenen Lebensräumen aufhält, aber ich schätze mal eher das die im Prinzip sich erst mal ja entwickeln müssen weil man sieht ja wenn man mal so kleinere Schnecken sieht, die sind ja auch noch ganz hell, sind zwar auch ein bisschen kleiner die haben noch gar keine Kringel und hier sieht man ja das sich das erst entwickelt und sich dann die dunkle Farbe erst kommt. Ja ich würde sagen die Farbe hat mit Lebensalter oder Entwicklung zu tun.

(92-121) S18N [Tiere, Nachkommen] Bei Dogge und Chihuahua bin ich zwar immer noch nicht ganz sicher, aber ich würde schon sagen, so wie wir das jetzt hatten, das geht schon und ich schätze die können sich so direkt jetzt nicht paaren. Ja, künstliche Befruchtung ginge schon. Wolf und Dogge schätze ich, geht auch. Wir hatten ja auch dieses Arbeitsblatt, das war ein Wolfshund, glaube ich einfach die haben die mit Hund und Wolf, das war glaube ich sogar auch Dogge und Wolf gepaart und das war eigentlich ein Hund mit Fell und der hatte auch nicht so ganz lange Ohren mehr. Fuchs und Wolf theoretisch wahrscheinlich schon, praktisch wird es ein bisschen schwierig, weil die sich so in der Wildbahn eigentlich eher bekämpfen als sich paaren, aber auch durch Züchtung wird das schwierig. Ich glaube, wenn man Pferd und Zebra paaren kann, dann kann man auch Wolf und Fuchs paaren. Nein, neue Arten kann man so nicht erschaffen, die werden nur eine Generation lang leben, weil die keine Nachkommen mehr zeugen können, außer der Wolf und der Hund, weil die kommen von einer Art. Nein, das Kind kann dann keine Kinder mehr bekommen. Es geht auf keinen Fall das man durch kreuzen zweier Arten eine neue Art bekommt, es muss schon ein Tier einer Art sein. Ein Wolfshund geht natürlich, aber das ist ja nicht ganz so besonders, das gibt es ja schon in der freien Wildbahn.

Explikation

Vor dem Unterricht:

A Inhaltliche Vorstellungen

A1 Anpassung durch Artveränderung

Anpassung ist in Michaels Vorstellung ein aktiver Prozess der Lebewesen selbst. Diese bemerken einen Zwang zur Veränderung und passen sich dementsprechend so an, dass dieser Zwang minimiert wird. Diese aktive Anpassung tritt konsistent bei den Erklärungen zu den Beispielen Giraffen, Birkenspanner, Schwörnchen und Bänderschnecken auf. Im Falle des Merkmals Körperfarbe ist das Anpassungsergebnis eine Tarnung der Tiere.

Die Vorstellung über den Mechanismus dieses Prozesses allerdings ist etwas unterschiedlich. Bei der Giraffe führt Wahrnehmung des Zwanges zu dem Gebrauch eines Merkmals und als Folge zu dessen Veränderung. ... *und die auch bemerken, dass die mehr Fressen brauchen, weil das Gras halt nicht schmeckt, haben die versucht einfach sich zu recken. Umso mehr sie sich recken, um so länger wird das ja ein bisschen* (56-62). Da Gebrauch bei dem Merkmal Körperfarbe nicht anwendbar ist, weicht Michael auf den Versuch der Tiere die Farbe zu ändern aus als *Umtarnung* aus. ...*die haben bemerkt, dass auch sie selber diese Art in dieser Farbe mehr gefressen wird, wenn sie so aussehen und haben irgendwie versucht die Farbe zu ändern und dann ein bisschen dunkler zu werden oder so und haben es versucht und dann hat es geklappt* (76-81).

Eine Veränderung der Individuen lehnt Michael im Kontext der Braunbären ab, er geht von einer Veränderung in kleinen Schritten über Generationen aus. *Wenn die überhaupt da Kinder bekommen können, würde ich sagen die würden sich nicht so groß verändern weil die beiden Vorfahren sind gleich. ... so große Veränderung kann man bei einem Nachfolger nicht erreichen* (50-55).

Eine Umkehr von Umweltbedingungen kann nach Michaels Auffassung ebenfalls zu einer Umkehr der Artveränderung führen und im Fall der Birkenspanner treten dann wieder helle Birkenspanner auf. Eine gravierende Änderung der Umweltbedingungen führt zum Aussterben der Art oder zu Verringerung der Populationsgröße und nach langer Zeit zur Veränderung durch Anpassung. *Diese Artveränderungen können so gravierend sein, dass Tiere ein anderes Aussehen haben und dann auch eine andere Art darstellen. Aber man würde dann für das Tier einen neuen Namen erfinden, weil es schon anders aussieht* (84-87). Michael hat eine Vorstellung von einer Transformation von Vorfahren zu neuen Arten (Schwörnchen).

In Bezug auf das Auftreten von neuer Variation einer Art hat Michael keine Vorstellung.

In den Erklärungen ist das Ergebnis des Anpassungsprozesses eine Population ohne Variation, auch wenn dieses Michael nicht explizit in seinen Ausführungen nennt.

A2 Artbegriff

Individuen einer Art können auch unterschiedliche Färbung aufweisen und gehören nach der Auffassung von Michael zu einer Art aufgrund gleichen Körperbaus. Hier hat der Schüler eine typologische Vorstellung, wobei sich der Typ auf den Körperbau bezieht. Populationen in unterschiedlichen Lebensräumen, die sich ein bisschen unterscheiden, würde Michael auch anders benennen, was einer Typvorstellung entspricht.

Nach Michaels Vorstellung können nur ähnliche Tiere miteinander gekreuzt werden und Nachkommen zeugen. Hierbei dürfen sich die Tiere nicht von der Körpergröße oder dem Körpergewicht stark unterscheiden, wie im Fall von Dogge und Chihuahua, da hier eine Geburt nicht möglich wäre. Gemeinsame Abstammung ist auch kein Indikator für Kreuzbarkeit, da hier große Unterschiede, auch im Verhalten vorliegen können. Michael gibt hier bei keinem Beispiel gemeinsame Artzugehörigkeit als Begründung für eine mögliche Paarung an. Seine Begründungen entsprechen einer typologischen Vorstellung.

B Gegensätze

Michael hat eine typologische Vorstellung von Arten. Diese Vorstellung steht allerdings im Widerspruch zu der unterschiedlichen Färbung der Individuen einer Art wie bei dem Beispiel der Bänderschnecken. Diesen Widerspruch löst er für sich auf, indem er die unterschiedliche Körperfarbe auf verschiedene Stadien der Individualentwicklung zurückführt.

C Sprachliche Aspekte, Herkunft der Vorstellungen

Michael gibt bei einigen Zusammenhängen an, es nicht zu wissen. Die Unsicherheit in diesen Kontexten führt entweder dazu, dass er keine oder mehrere Erklärungen, wie im Fall der Veränderung der Birkenspanner, angibt. Er zieht neben der aktiven Anpassung auch die Möglichkeit des Zufalls in Betracht. Dies lässt die Deutung spontan generierter Erklärungen zu.

Nach dem Unterricht:

A Inhaltliche Vorstellungen

A1 Anpassung durch Artveränderung

Michael geht in seinen Erklärungen nach dem Unterricht nicht mehr von einem aus Umweltbedingungen resultierenden Zwang zur Artveränderung aus. Allerdings sind die Erklärungen in verschiedenen Kontexten nicht konsistent und ändern sich im Verlauf des Interviews innerhalb eines Beispiels.

Im Fall der Birkenspanner geht er von einem Zusammenhang zwischen Umweltänderung und Artänderung aus, lehnt aber die direkte Einwirkung der Umwelt ab. Er nutzt das Konzept der Mutation zur Erklärung der Variation und geht von einer Vererbung der Merkmale an die Nachkommen aus. Die Entwicklung der Veränderung führt er auf selektives Überleben und Fortpflanzen zurück. Ähnlich wie in seinen Erklärungen vor der Intervention begründet er die Entwicklung im weiteren Verlauf durch die von den Lebewesen wahrgenommene Tarnung. Die Resistenz von Bakterien wird ebenfalls nicht einheitlich erklärt. Er geht von einer Wahrnehmung der Bakterien und einen darauf folgenden aktiven Schutz aus. Als ihm im weiteren Verlauf bewusst wird, dass die Bakterien dies nicht direkt merken, zieht er die Möglichkeit der Mutation zur Erklärung heran.

Im Gegensatz dazu sind Michaels Erklärungen im Fall der Mäuse stringent. Dies liegt möglicherweise in der Verwendung der Bildkarten, die ihn durch Anschaulichkeit und die Möglichkeit der Bildung einer Abfolge bei der Erklärung leiten. Also der hat sich die hellen *Mäuse immer geschnappt auf dem dunklen Untergrund, weil hier sieht man das ja sehr schön* (44-45).

Das Auftreten von Variation, welche Michael vor dem Unterricht nicht erklären konnte, führt er nun mehrfach auf Mutationen zurück (Birkenspanner, Mäuse, Antibiotika). Michael berücksichtigt auch den zufälligen Charakter von Mutationen und gibt diese Auswirkung als Glück für die Lebewesen an. *Hier sind noch alle Mäuse ganz normal farbig und dann kommt eine Mutation, zwei Schwarze und da haben die dann so zu sagen Glück gehabt* (44-45). Außerdem geht er von einer Vererbung der Merkmale aus, bei denen auch abweichende Nachkommen entstehen können. *Also vielleicht ist das auch so, dass die sich immer weiter vererben hier und einmal kommt so ein Hellgrauer raus* (40-44).

Michael äußert in seinen Vorstellungen zumindest in zwei Kontexten selektive Vorstellungen, die sich nicht nur auf das bessere Überleben von Merkmalvarianten beziehen, sondern auch auf die unterschiedliche Fortpflanzung.

Anpassung führt nach Michaels Auffassung zu einer durchschnittlichen Merkmalsverschiebung, aber nicht mehr, wie im ersten Interview, zu einer gleichför-

mig angepassten Population. Also wahrscheinlich gibt es jetzt auch noch Weiße, aber nicht mehr so viele ... *Deswegen würde ich sagen, man kann ja auch sehen z.B. hier das diese Farben auch immer so ansteigen (40-44).*

Die Entstehung einer neuen fiktiven isolierten Art beschreibt Michael nicht mehr durch aktive Anpassung, sondern mit Hilfe von Migration und Artveränderung als Wasser-Land –Übergang. In diesem Zusammenhang geht er allerdings von einer Wahrnehmung von Nahrungsquellen als Ursache für Veränderung aus.

A2 Artbegriff

Michael ist der Meinung, Organismen einer Art ähnelten sich äußerlich. Die unterschiedlichen Farbvarianten der Bänderschnecke ordnet er deshalb entweder zwei verschiedenen Arten zu, welche in unterschiedlichen Lebensräumen vorkommen, oder einer Art, welche die Färbung im Laufe der Individualentwicklung verändert.

Michael geht zwar theoretisch von einer Kreuzung artfremder Organismen aus, gibt aber zusätzlich die Infertilität der Nachkommen an und schließt somit diesen Weg zur Artentstehung aus. Die Erzeugung fertiler Nachkommen gelingt seiner Auffassung nur bei Zugehörigkeit zu einer Art. Die Erklärungen deuten darauf hin, dass Michael nach der Unterrichtsintervention eine Artvorstellung hat und nicht mehr von einer Kreuzung ähnlicher Tiere ausgeht.

B Gegensätze

Die Erklärungen zur Artveränderung enthalten, wie oben schon dargelegt, zum Teil Widersprüche. Michael verwendet zum einen Mutation und selektive Erklärungen, aber auch die Wahrnehmung der Unangepasstheit zur Erklärung der Entwicklung in gleichem Zusammenhang.

Im Zusammenhang der Braunbären befürwortet er zuerst das Auftreten von in der Umgebung sich als vorteilhaft auswirkenden Mutationen, führt aber anschließend an, dass Mutationen ein Zufallsprodukt sind.

C Sprachliche Aspekte, Herkunft der Vorstellungen

Zur Erklärung der Entstehung von Bakterienresistenzen verwendet Michael Erfahrungen aus dem menschlichen Bereich, hier das Verhalten des Schützens bei einem Angriff. Dies transferiert er zuerst auf den Kontext Bakterien und setzt das Antibiotikum einem Angriff gleich, den die Bakterien bemerken und sich aktiv dagegen schützen. Erst als ihm deutlich wird, dass die Bakterien dies nicht direkt merken können, transferiert er in der Intervention gelernte Inhalte auf diesen Kontext, gibt aber auch an, hierzu nicht direkt eine Erklärung zu haben. Offensichtlich stellt die Antibiotikaresistenz für Michael nicht ein

vergleichbares Phänomen von Artveränderung dar, welches er durch Transfer erklären kann.

Die Entstehung der fiktiven Art Schwörnchen erklärt Michael durch Transfer von Wissen zur Stammesgeschichte und der Kenntnis von Amphibien. Das gab es ja früher auch, da gab es ja erst einmal nur Wassertiere ... *Es gibt ja auch Tiere, die können an Land und im Wasser leben und das es dann vielleicht einfach erst einmal da drauf war und dann aber auch im Wasser erst einmal Beute gesucht hat* (66-73).

Konzepte:

Konzepte zu Anpassung

- **Aktive Anpassung:** Lebewesen passen sich aktiv an ihre Umwelt durch Veränderung von Merkmalen an.
- **Anpassungszwang durch Umweltänderungen:** Aus den Umweltbedingungen resultiert ein Anpassungszwang für die Arten.
- **Wahrnehmung einer Anpassungsnotwendigkeit:** Die Lebewesen nehmen die Notwendigkeit einer Anpassung durch Artveränderung wahr.
- **Merkmalsänderung durch Gebrauch:** Ständiger Gebrauch führt zu der Veränderung eines Merkmals.
- **Graduelle Anpassung über Generationen:** Die Artveränderung erfolgt schrittweise über mehrere Generationen und einen längeren Zeitraum.
- **Anpassung ist reversibel:** Bei sich ändernden umkehrenden Umweltbedingungen ist die Artänderung umkehrbar.
- **Variation in angepasster Population:** Anpassungsergebnis ist eine Population mit vorhandener Variation.
- **Überlebensvorteil vorteilhafter Varianten:** Umweltveränderungen bedingen veränderte Überlebensvorteile von Typen mit vorteilhaften Merkmalen.
- **Fortpflanzungsvorteil vorteilhafter Varianten:** Umweltveränderungen bedingen nicht nur veränderte Überlebens-, sondern auch Fortpflanzungsvorteile von Typen mit vorteilhaften Merkmalen.
- **Anpassung verändert durchschnittliche Variation:** Im Laufe der Artveränderung wird das durchschnittliche Vorkommen von Merkmalsvariationen verändert.

Konzepte zu Art und Artentstehung

- **Aussterben durch Umweltänderung:** Umweltänderungen führen zum Aussterben einer Art aufgrund fehlender Anpasstheit.
- **Kleine Population durch Umweltänderung:** Umweltänderungen führen zur Verringerung der Populationsgröße.
- **Neue Arten durch Transformation:** Vorfahren verändern sich so stark, dass neue Arten entstehen.
- **Kreuzungsmöglichkeit bei Ähnlichkeit:** Ähnliche Tiere erzeugen bei Verpaarung Nachkommen.
- **Kreuzungsmöglichkeit bei gemeinsamer Abstammung:** ~~Tiere die gemeinsame Abstammung haben können fertile Nachkommen erzeugen.~~
- **Neue Arten durch Migration und Transformation:** Die eingewanderte Population einer Art ändert sich so stark, dass eine neue Art entsteht.
- **Artbildung durch artfremde Kreuzung:** ~~Neue Arten können durch Nachkommen einer intraspezifischen Kreuzung entstehen.~~
- **Sterile Nachkommen artfremder Kreuzung:** Eine Kreuzung artfremder Tiere führt zu unfruchtbaren Nachkommen.
- **Kreuzungsmöglichkeit bei Artzugehörigkeit:** Nur Tiere einer Art können sich kreuzen und Nachkommen erzeugen. Konzepte zu Variation
- **Typologischer Artbegriff:** Die Individuen einer Art haben gleiches Aussehen und entsprechen einem Typ.
- **Entwicklungsabhängige Variation:** Merkmale verändern sich während der Individualentwicklung und Variation in einer Population ist auf verschiedene Entwicklungen zurückzuführen.
- **Abweichler durch Mutation:** Eine unvorhersehbare Mutation erzeugt abweichende Individuen und somit Variation.
- **Vererbtes Erscheinungsbild:** Das Aussehen eines Individuums ist von den Eltern abhängig.
- **Plötzliche Mutation:** Erbanlagen können unvorhersehbar und sprunghaft verändert werden.
- **Variation durch Paarung:** Neue Merkmale entstehen als Variation durch Rekombination bei der Paarung.
- **Wahrscheinliche vorteilhafte Mutation:** Mutationen, die zu in der Umwelt vorteilhaften Merkmalen führen, treten mit höherer Wahrscheinlichkeit auf.

Tabelle 82: Gegenüberstellung der von Michael vor und nach der Unterrichtsintervention zur Erklärung verwendeten Konzepte 1

Vor dem Unterricht:	Nach dem Unterricht:
<i>Konzepte zu Anpassung</i>	
Aktive Anpassung	Aktive Anpassung
Anpassungszwang durch Umweltänderungen	
Wahrnehmung einer Anpassungsnotwendigkeit	Wahrnehmung einer Anpassungsnotwendigkeit
Merkmalsänderung durch Gebrauch	
Graduelle Anpassung über Generationen	
Anpassung ist reversibel	
	Überlebensvorteil vorteilhafter Varianten
	Fortpflanzungsvorteil vorteilhafter Varianten
	Anpassung verändert durchschnittliche Variation
<i>Konzepte zu Art und Artentstehung</i>	
Aussterben durch Umweltänderung	
Kleine Population durch Umweltänderung	
Neue Arten durch Transformation	
Variation in angepasster Population	
	Neue Arten durch Migration und Transformation
	Artbildung durch artfremde Kreuzung
	Sterile Nachkommen artfremder Kreuzung
	Kreuzungsmöglichkeit bei Artzugehörigkeit

Tabelle 83: Gegenüberstellung der von Michael vor und nach der Unterrichtsintervention zur Erklärung verwendeten Konzepte 2

Vor dem Unterricht:	Nach dem Unterricht:
<i>Konzepte zu Variation</i>	
Typologischer Artbegriff	Typologischer Artbegriff
Kreuzungsmöglichkeit bei Ähnlichkeit	
Kreuzungsmöglichkeit bei gemeinsamer Abstammung	
Entwicklungsabhängige Variation	Entwicklungsabhängige Variation
	Abweichler durch Mutation
	Vererbtes Erscheinungsbild
	Plötzliche Mutation
	Variation durch Paarung
	Wahrscheinliche vorteilhafte Mutation

8.2.5 Interview Nicola

Geordnete Aussagen:

Vor dem Unterricht

Artveränderung

(78-85) S20V [Giraffe, Erklärung Entwicklung langer Hals] Ja, ich habe eine Idee wie der lange Hals der Giraffe entstanden sein könnte. Die leben in der Savanne in Afrika und vielleicht haben die irgendwie eine spezielle Art von Bäumen, die sie besonders gerne fressen oder die sie zu ihrer Ernährung haben müssen. Und die wachsen dann wahrscheinlich ziemlich hoch. Und da die nicht mit ihren langen Hufen da auf den Baum klettern können, müssen die ja irgendwie mit dem langen Hals daran kommen und deswegen haben die sich so entwickelt, dass sie diesen langen Hals bekommen, damit sie an diesen Baum kommen. Das war in der Frage mit diesem Elefanten. Ich weiß gar nicht mehr was ich da angekreuzt habe. Ich denke mal, dass vielleicht in dieser Giraffe drin, die ja jetzt ein Baby bekommen hat, dass da jetzt irgendwie, irgendwelche Gene das die einen längeren Hals bekommen. Die haben sich dann vermehrt. Das soll ja irgendwie so sein, dass die so einen langen Hals haben.

(68-77) S20V [Braunbären am Nordpol] Nein, die Braunbären am Nordpol würden nicht weiß werden. Die Kinder wären in der Fellfarbe braun.

(124-131) S20V [Schwörnchen Veränderung] Ich weiß nicht, ob man das - Schwörnchen wenn der Meeresspiegel ansteigt noch finden würde. Ich glaube,

dass hat sich irgendwie angepasst, dass es im Boden Nahrung finden kann, aber auch auf dem Baum. Und wenn das jetzt so etwas ausgewogenes wäre, wo so Hälfte Land und so Hälfte Bäume wo genug Früchte drauf wären, dann denke ich schon, dass es da überleben kann. Es kann ja nicht nur auf Bäumen leben. Wenn da ganz viel unter Wasser liegt kann es auch sein, dass dieses Tier dann irgendwie merkt, dass es vielleicht irgendwie mal im Wasser ist und dann immer ein bisschen paddelt und so und dass sich irgendwie Schwimmhäute entwickeln. Ja ich denke schon, wenn das immer im Wasser ist und schwimmt können sich Schwimmhäute entwickeln.

Artentstehung

(114-123) S20V [Schwörnchen Entstehung] Das Schwörnchen, es kann ja nicht rüber schwimmen. War vorher kein Leben drauf, sind dadurch die Eichhörnchen gekommen? Es kann ja nicht rüber fliegen. Wahrscheinlich hat das irgendjemand gezüchtet, Eichhörnchen und Schwein, und hat das dann darüber gebracht. Vielleicht war da irgendein Tier drauf, was jetzt nicht diese Gestalt hatte die dieses Eichhörnchenschweinchen da hatte, sondern irgend so ein ähnliches, das nicht genau so aussah. Vielleicht kannten wir das auch. Aber auf dieser Insel mit diesen Palmen kann ja nicht jedes Tier überleben. Vielleicht war das auch so ein ähnliches Tier, was da in dieser Hitze nicht überleben konnte. Oder was nicht auf Bäume klettern konnte sondern nur am Boden. Und irgendwann hat das vielleicht gemerkt, am Boden ist nicht mehr so viel, jetzt muss ich irgendwann auf Bäume klettern. Und das sieht dann irgendwelche Früchte hängen oder so und dann hat sich das irgendwie entwickelt, dass die Krallen länger geworden sind und dann irgendwie auf Bäume geklettert wurde.

Auftreten neuer Variation

(104-111) S20V [Birkenspanner: Erklärung Auftreten der dunklen Form] Die hocken an den Bäumen, die fliegen nachts und tagsüber sitzen die auf Bäumen. Es gibt ja unterschiedliche Arten von Bäumen und die haben ja unterschiedliche Arten von Stämmen. Ich denke, wenn an einer Birke, die ist halb weiß da sind ja auch dunkle Flecken und der ist ja auch so ein bisschen weiß und hat dunkel gesprenkelte Flecken, wenn die sich auf so ein dunklen Teil von der Birke setzen würde, dann hat der ja helle Sprenkel. Das könnte auch in Wirklichkeit so sein, da sind die richtig gut getarnt. Wenn man darauf gucken würde, denkt man ja nicht da sitzt ein Nachtfalter. Wenn der sich jetzt auf dieses weiße Tier, setzen würde, da sagt man ja sofort, mhm, da könnte ein Nachtfalter sitzen. Es gibt aber auch dunklere Bäume und da würde es auffallen, wenn da auf einmal so ein geflecktes Tier darauf sitzen würde, da haben die dann eher diese Dunklen.

Ich denke, dass die dann irgendwann Probleme bekommen haben. Die sieht man ja gar nicht, ich wüsste nicht wo der ist, aber den sehe ich sofort.

(112-113) S20V [Birkenspanner: Veränderung] Als die Flechte abgestorben war, waren jetzt diese einen ziemlich unerwünscht. Ich würde jetzt nicht sagen, guck mal da ist der hier und den sehe ich gar nicht, sondern das ist ja gerade umgekehrt. Und hier sehe ich ja eigentlich nur diesen hier, den sehe ich kaum. Die würden ein Problem bekommen. Ich denke mir, dass die Nachfolgenden die merken das dann irgendwie auch, dass das dann nicht mehr so geht, die werden ja häufiger gefressen. Ich weiß es nicht warum die gerade dunkle Kinder bekommen haben, aber wird ja so sein.

Artkonzept

(86-103) S20V [Bänderschnecken, Arten] Ich kenne diese Schnecken, ich glaube das ist eine Art, aber ich bin mir nicht sicher. Die Wiesenschnecken sind diese, die auf den Wiesen leben und im Wald sind eher die Dunklen. Ja ich würde auf der Wiese mehr Gelbe und im Wald mehr Pinke finden, weil in der Wiese ist immer Gras, wie in der Savanne hier [Abb.]. Da ist ja dieses ziemlich helle Gras und die müssen sich ja auch vor Feinden schützen, die haben ja auch Störche als Feinde. Und diese Wiese ist ziemlich hell und wenn sie so eine Farbe hätten, würde man sofort sagen, oh, da ist eine braun. Es sei denn die wären auf dem Boden. Aber die klettern ja meistens diese Wiesenhalme hoch und dann ist es natürlich besser, wenn die so hell sind. Im Wald dagegen ist es eher dunkel und der Erdboden hat so eine bräunliche Farbe und die meisten Blätter. Dann können die sich da besser tarnen. Nimmt man die Hälfte helle, die Hälfte dunkle Schnecken und setzt die im Wald aus wird man weniger Helle findet, weil die sich nicht so gut tarnen können wie die Dunklen und werden deswegen eher gefressen.

(132-161) S20V [Tiere, Nachkommen] Ich habe selber einen Hund, einen Mischling. Ja, Dogge und Chihuahua können sich, wenn man eine Leiter dran stellt, paaren und Kinder bekommen. Ja, Dogge und Schäferhund würde gehen. Der Wolf ist irgendwie so ein Hund. Also der Hund hat sich aus dem Wolf entwickelt. Ich denke mal das würde nicht vorkommen, dass der Wolf sich mit dieser Dogge paart und wenn die Kinder bekommen, würde die diese gar nicht annehmen, sondern abstoßen, weil die ja ganz anders riechen und aussehen. Die können nicht in diesen Lebensstil von dem Wolf rein, weil der hat ja auf einmal dreimal so große Welpen wie sie selbst ist und die haben ja gar nicht diesen Instinkt, den diese Wölfin da hat. Keine Ahnung ob es prinzipiell gehen würde, da bin ich mir nicht sicher. Fuchs und Wolf, wenn man die zwingen würde, das sind ja zwei gleiche Rassen, die heißen ja beide Hunde, aber das sind Fuchs und Wolf, das ist ja etwas ganz anderes, die haben ja ganz andere Gene, ich

glaube nicht das das geht.

Nach dem Unterricht:

Artveränderung

(14-17) S2oN [Giraffe, Erklärung Entwicklung langer Hals] Die leben ja in der Savanne und angenommen die hätten zu wenig Gras. Die haben früher einen kurzen Hals gehabt und konnten nur auf dem Boden oder von Büschen fressen. In der Savanne ist es da ziemlich trocken und wenn man an Bäume kommt ist das besser. Und durch eine Mutation gab es dann ein paar Giraffen mit längeren Hälsen und die konnten an die Blätter kommen. Und durch eine natürliche Selektion wurden die anderen so zu sagen aussortiert und die Giraffe mit langem Hals haben sich dann vermehrt und hatten auch einen Vorteil, dadurch dass sie an die Bäume gekommen sind.

(44-47) S2oN [Braunbären am Nordpol] Vorausgesetzt die hätten da keine Fressfeinde oder so etwas, nein Eisbären haben ja gar keine Fressfeinde. Also ich würde sagen, die würden sich nicht auf einmal verändern. Wenn man da fünf Bären aussetzt, vorausgesetzt es sind Weibchen und Männchen, wenn die jetzt da Babys bekommen würden, dann glaube ich nicht, dass die da direkt weiß sind. Aber dann werden die vielleicht immer heller, wie das ja jetzt bei diesen Käfern so ist. Weil die Eisbären, die waren ja früher auch mal braun denke ich.

(26-35) S2oN [Birkenspanner: Erklärung Auswirkung der Umweltveränderung] Um 1800 hat sich das verändert, da gab es aber bestimmt noch ein paar Weiße. Also habe ich die ersten beiden Mal Weiß hingelegt. Und dann haben die gemerkt und durch eine Mutation sind dann die Gräulichen entstanden, damit die sich besser anpassen können. Dann habe ich da drei Graue hingelegt. Und dann gab es auch um 1825 noch Graue, aber wieder durch eine Mutation haben die sich besser angepasst, dann sind die dunkelgrauer geworden. 1850 gab es auch noch ein paar Graue, doch durch eine Mutation haben sich dann Dunkelgraue entwickelt. Und 1875 ist dann durch eine Mutation die Schwarzen entstanden und haben sich dann so fortgepflanzt, dass es 1900 nur noch Schwarze gab. Nein, es ist nicht so, dass die etwas merken und dadurch eine Mutation auftritt. Die Mutation ist einfach so entstanden und die anderen können sich dann nicht so gut anpassen. Durch die Mutation sind die besser angepasst sind und deswegen sterben die dann aus (vgl. Abb. 33 auf der nächsten Seite).

(36-43) S2oN [Mäuse: Erklärung der Veränderung] Vulkanausbruch. Also so sahen die früher aus und hier ist überall ein Adler zu sehen und dieser Adler, angenommen es sind jetzt Feldmäuse, der sieht die ja auf diesem Feld. Der



Abbildung 33: *Legebild von Nicola zur Veränderung der Birkenspanner im Interview nach der Unterrichtsintervention*

sieht die Mäuse und dann sieht der die Hellen, weil die sich nicht so gut tarnen können. Wenn die sich unten auf dem Boden bewegen stechen sie raus weil die so hell sind. Also hat der sich immer die Hellen gegriffen und durch eine Mutation sind dann ein paar Schwarze entstanden. Und die Schwarzen hat er gar nicht mehr so gegriffen. Das sind ja verschiedene Untergründe, das checke ich jetzt gar nicht. Haben die Untergründe da etwas mit zu tun? Ja die Untergründe haben etwas damit zu tun. Diese Mäuse die haben auf diesem Boden gelebt, der ist hell und die Mäuse waren auch hell, also konnten die sich gut anpassen. Durch einen Vulkanausbruch, das finde ich jetzt besser, hat sich die Erde schwarz gefärbt. Dann gab es durch eine Mutation ein paar Schwarze und der Adler, der konnte auf diesem Untergrund die Schwarzen gut sehen, hat die Schwarzen gefressen. Als ein Vulkan ausbrach wurde die Erde geschwärzt und es gab durch eine Mutation immer noch ein paar Schwarze und durch die schwarze Erde konnten die sich da gut tarnen Dann hat der Adler immer nur die Hellen gefressen, weil er die gut sehen konnte. Eine Mutation kommt darüber. Dann haben sich die immer mehr vermehrt und die anderen sind immer mehr ausgestorben und die Schwarzen haben dann immer mehr überlebt. So. Und später gab es dann hauptsächlich nur noch Schwarze, weil die anderen halt durch Fressfeinde aussortiert wurden durch eine natürliche Selektion. Durch diesen Vulkanausbruch wird gezeigt, dass auch nur angepasste Tiere durch ein unvorhersehbares Ereignis aussterben können.

(74-91) S2oN [Antibiotika Erklärung Entstehung resistenter Bakterien] Die Entstehung resistenter Bakterien kommt durch eine Mutation von Bakterien. Wenn man das Medikament einmal schluckt, sind die gar nicht darauf vorbereitet. Dann sterben die ja ab. Das ist genauso wie wenn man jetzt bei uns drei Jahre im Bikini auf dem Nordpol sitzt und dann würden wir sofort sterben, wir sind an ganz anderes Klima gewohnt. Wenn man das total oft schluckt, dann passen die sich diesem Medikament an. Also die wissen dann schon, dass kommt jetzt und wir müssen uns anpassen. Nein also die wissen nicht,

dass das Medikament kommt, so meine ich das nicht. Die Bakterien stellen sich auf dieses Medikament ein, also sie wissen, nein sie wissen das nicht aber sie, sie müssen dagegen, sonst könnten sie ja nicht überleben wenn sie jetzt nicht dagegen. Deswegen ist wahrscheinlich durch eine Mutation etwas aufgetreten, dass die dagegen resistent werden. Man kann das nicht so menschlich sehen. Wenn ich entscheiden soll, ob die das merken und sich darauf einstellen oder ob eine Mutation passiert, dann eine Mutation.

Artentstehung

(58-63) S20N [Schwörnchen Erklärung Entstehung] Ich denke mal, dass da irgendwelche Tiere waren, die nicht so gut angepasst waren und daraus hat sich das Schwörnchen entwickelt. Durch eine Mutation wieder einmal. Ja, ich glaube dass sich da eine Art verändert hat.

Auftreten neuer Variation

(18-25) S20N [Birkenspanner: Erklärung Auftreten der dunklen Form] Man sieht ja auch, dass die (verschiedene Formen) ein bisschen kleiner ist und der ein bisschen größer, vielleicht sind das verschiedene Arten. Nach der Information, dass es eine Art ist, würde ich sagen vielleicht ist auch eine Mutation geschehen. Da waren ein paar Dunkle dabei, die haben sich dann vielleicht auch vermehrt.

(48-49) S20N [Braunbären am Nordpol, Mutation] Eine Mutation ist ja eine unvorhersehbare Erscheinung, ob die da gleich wären, das weiß ich nicht. Also ich glaube, dass die Mutation einfach mal für den Nutzen der Tiere ist und es am wahrscheinlichsten ist das der hellere Fell bekommt.

Artkonzept

(50-58) S20N [Bänderschnecken, Anzahl Arten] Die Bänderschnecken sind eine Art. Diese, die leben ja meistens in Wiesen, da können die sich ja besonders gut tarnen. Wenn man jetzt eine schwarze Schnecke in diese Wiese setzen würde, dann würde man merken, dass die entweder durch Fressfeinde aussortiert wird oder aber, wenn die genug Zeit hätte sich da zu vermehren, würde wieder eine Mutation auftreten. Die würden dann durch längere Zeitabschnitte auch gelb werden und dadurch sieht man das das eine Art ist. Zur Erklärung wie es kommt, dass die Schnecken so unterschiedlich aussehen. Da diese Schnecken, die leben in so Wiesen denke ich, weil diese Farbe, die weist ja darauf hin, in Wiesen würde man die jetzt nicht so erkennen, dass sind die ja gut angepasst vor Fressfeinden. Und die braunen Schnecken die leben, denke ich, eher im Wald, wo es Blätter gibt. Da haben die bessere Überlebenschancen als wenn man jetzt diese Gelben dahin setzen würde.

(92-103) S20N [Tiere, Nachkommen] Ja, Dogge und Chihuahua können theoretisch Kinder miteinander haben. Dogge und Wolf auch, das hatten wir doch. Zwei Arten können, gleiche Arten, auch Nachwuchs haben. Diese können sich sogar weiter vermehren. Diese Leica hatten wir als Beispiel. Durch diesen Wolf ist der Hund entstanden. Das ist so zu sagen jetzt eine Art und deswegen können die sich weiter paaren. Nein, das geht nicht beim Fuchs und Wolf, weil die nicht eine Art sind.

Explikation:

Vor dem Unterricht:

A Inhaltliche Vorstellungen

A1 Anpassung durch Artveränderung

In Nicolas Vorstellung bewirken aus der Umwelt resultierende Zwänge eine Zielorientierung der Artveränderung. *Und da die nicht mit ihren langen Hufen da auf den Baum klettern können, müssen die ja irgendwie mit dem langen Hals daran kommen und deswegen haben die sich so entwickelt, dass sie diesen langen Hals bekommen, damit sie an diesen Baum kommen* (78-85). Diese zwanghaften Artveränderungen verwendet die Schülerin nicht nur bei dem Beispiel Giraffe, sondern auch in Form von aus Nichtangepasstheit resultierenden Problem bei Birkenspannern und Bänderschnecken.

Nicola hat anscheinend keine einheitliche Vorstellung über den der Artveränderung zugrunde liegenden Mechanismus. Im Fall der Entstehung des langen Giraffenhalses bewirkt ihrer Meinung nach der Zwang eine Entwicklung durch Genveränderung eines einzelnen Nachkommens. Die Vermehrung dieses Außenseiters hat dann zu diesem veränderten Merkmal geführt. *... in dieser Giraffe drin, die ja jetzt ein Baby bekommen hat, das da jetzt irgendwie, irgendwelche Gene das die einen längeren Hals bekommen. Die haben sich dann vermehrt haben* (78-85). Bei den anderen Beispielen der Artveränderung verwendet sie in ihren Erklärungen hingegen nicht eine Genveränderung. Nicola geht in diesen Fällen von einer aktiven Veränderung der Tiere aus, wobei die Wahrnehmung der Tiere zu einer Veränderung führt. Diese Wahrnehmung kann eine Veränderung von Merkmalen durch Gebrauch, wie im Falle der fiktiven Schwörnchen, initiieren. *Das Tier ... merkt, dass es vielleicht irgendwie mal im Wasser ist und dann immer ein bisschen paddelt und so und das sich irgendwie Schwimmhäute entwickeln* (124-131). Da diese Erklärung auf das Phänomen des Merkmals der Körperfarbe nicht übertragbar ist, kann Nicola die Veränderung bei den Birkenspannern auf diese Weise nicht erklären, obwohl sie auch hier von einer wahrgenomme-

ner Unangepasstheit ausgeht, die zu einem Veränderungszwang führt, den sie als Problem beschreibt.

Auf der anderen Seite verwendet Nicola den Überlebensnachteil nicht angepasster Farbvarianten zur Erklärung der unterschiedlichen Häufigkeit von Varianten in unterschiedlichen Lebensräumen. Durch Veränderung ähnlicher Arten können nach Nicolas Vorstellung neue Arten entstehen. Neue Arten können sich auch durch Verwilderung von durch den Menschen gezüchteten Arten nach Aussetzen entwickeln. Nicola nimmt in ihren Erklärungen keinen Bezug zum Zeitfaktor oder einer Veränderung über mehrere Generationen.

A2 Artbegriff

Individuen einer Art können nach Nicolas Vorstellung auch stark im Phänotyp variieren. So ist sie, obwohl sie Unsicherheit äußert, doch der Meinung, die Bänderschnecken gehören zu einer Art. Tiere einer Art können sich nach Nicolas Auffassung theoretisch miteinander paaren, auch wenn diese Paarungen in der Natur nicht vorkommen. Auch nahe Verwandte, bei dem einer der rezente Vorfahre ist, können Nachkommen zeugen. Hingegen schließt Nicola dies aufgrund unterschiedlicher Gene bei völlig unterschiedlichen Tieren aus.

B Gegensätze

Die Veränderung von Tierarten, wie sie Nicola in fast allen Beispielen erklärt, steht in einem Gegensatz zu ihrer Annahme, dass sich ausgesetzte Braunbären nicht farblich verändern würden. Hier geht sie von einer Konstanz der Farbe in der nächsten Generation aus. Auf der anderen Seite führt sie eine Genveränderung in einer Generation bei der Giraffe an. Eine mögliche Erklärung kann sein, dass Nicola im Fall der Braunbären nicht von einem Zwang zur Veränderung als Ursache ausgeht.

C Sprachliche Aspekte, Herkunft der Vorstellungen

Das Ziel der Artveränderungen sieht Nicola als vorgegeben an, im Fall der Giraffe gibt sie an, *das soll ja irgendwie so sein, dass die so einen langen Hals haben* (78-85). Sie hat die Vorstellung einer vorgegeben Natur, in der Unangepasste als unerwünscht angesehen werden. Hierbei ermöglicht eine im Gleichgewicht befindliche Natur ein Überleben.

Nicola nutzt die eigene Wahrnehmung, bei den Birkenspannern das Erkennen des Tiers auf dem Hintergrund, und transferiert diese zur Lösung, in dem sie aus der Unangepasstheit resultierende Probleme folgert. *Das könnte auch in Wirklichkeit so sein, da sind die richtig gut getarnt. Wenn man darauf gucken würde, denkt man ja nicht da sitzt ein Nachtfalter* (104-111). Die eigene Erfahrung der Schülerin mit einem eigenen Mischlingshund kann auch die Akzeptanz der

Verpaarung von äußerlich sehr unterschiedlichen Hunden beeinflussen.

Nach dem Unterricht:

A Inhaltliche Vorstellungen

A1 Anpassung durch Artveränderung

In Nicolas Erklärungen der Artveränderung sind nach dem Unterricht Mutationen zentral und treten, mit einer Ausnahme, in allen thematisierten Kontexten auf. Mutationen führen zu mehreren Abweichlern, wie im Zusammenhang der Giraffen, die einen Nahrungsvorteil haben und sich vermehren. Nicola verwendet auch den Begriff der natürlichen Selektion in den Erklärungen in Bezug auf das Aussortieren von benachteiligten Individuen. *... durch eine Mutation gab es dann ein paar Giraffen mit längeren Hälsen und die konnten an die Blätter kommen. Und durch eine natürliche Selektion wurden die anderen so zu sagen aussortiert und die Giraffe mit langem Hals haben sich dann vermehrt und hatten auch einen Vorteil dadurch dass sie an die Bäume gekommen sind (14-17).*

Die Entstehung neuer Arten durch Veränderung von Vorfahren erklärt sie nach dem Unterricht auch mit dem Auftreten von Mutationen. Ebenso wird das Auftreten von neuer Variation bei den Birkenspannern auf das Auftreten von Mutationen zurückgeführt.

Obwohl Nicola Mutationen als *unvorhersehbare Erscheinung* angibt, ist sie der Auffassung sie treten Aufgrund eines *Nutzens der Tiere* auf. Hieraus folgert sie eine unterschiedliche Wahrscheinlichkeit verschiedener Mutationen, wobei vorteilhafte ihrer Meinung nach wahrscheinlicher Auftreten. Dies deutet darauf hin, dass auch wenn nach dem Unterricht eine direkte Zielorientierung nicht mehr als offensichtlicher Erklärungsbestandteil auftritt, dieser aber noch in der Vorstellung von Nicola verwurzelt ist.

Schrittweise Veränderungen über Generationen werden von ihr bei den Braunbären und Birkenspannern angeführt und bei letzteren auf eine Folge mehrerer Mutationen zurückgeführt. In Nicolas Vorstellungen treten Mutationen zwar spontan auf, sind aber immer mit Vorteilen verbunden.

Selektive Erklärungsansätze in Bezug auf die Vermehrung und Fortpflanzung vorteilhafter Varianten und das Aussortieren anderer Varianten durch z.B. Fressfeinde verwendet Nicola im Zusammenhang mit Giraffen und Mäusen.

Nicola hat, wie das Beispiel der Mäuse zeigt, eine dynamische Sichtweise der Artveränderung, wobei sich durch plötzlich auftretende Umweltänderungen vorher angepasste Individuen als unangepasst erweisen können. *Durch diesen Vulkanausbruch wird gezeigt, dass auch nur angepasste Tiere durch ein unvorherseh-*

bares Ereignis aussterben können. (36-43).

A2 Artbegriff

Nicola hat zwar eine Auffassung von variierenden Individuen einer Art, wie sich am Beispiel der Bänderschnecken zeigt, allerdings zieht sie die Möglichkeit der Zugehörigkeit zu verschiedenen Arten bei Größenunterschieden im Zusammenhang mit den Birkenspannern zuerst in Betracht. Die Kreuzbarkeit von Individuen begründet sie nach dem Unterricht konsistent durch Artzugehörigkeit, wobei sie ergänzt, dass die daraus hervorgehenden Nachkommen fertil sind.

B Gegensätze

Obwohl Nicola Mutationen als unvorhersehbare Erscheinung angibt, ist sie der Auffassung, sie treten Aufgrund eines Nutzens der Tiere auf. Hieraus folgt sie eine unterschiedliche Wahrscheinlichkeit verschiedener Mutationen, wobei vorteilhafte ihrer Meinung nach wahrscheinlicher auftreten. Allerdings widerspricht sie sich bei den Mutationen. Sie geht erst von einer durch Wahrnehmung der Nichtangepasstheit und Verfolgung eines Anpassungszieles induzierten Mutation bei den Birkenspannern aus, stellt aber im weiteren Verlauf dar, dass die Tiere dies nicht merken und Mutation einfach so entstanden sind.

Die Ablehnung der sprunghaften Veränderung innerhalb einer Generation tritt auch nach dem Unterricht konstant im Zusammenhang mit den Braunbären auf und steht im Widerspruch zur Vorstellung von sprunghaften vorteilhaften Veränderungen durch Mutation, welche Nicola in vielen anderen Kontexten zur Erklärung verwendet.

Auch das Auftreten der Antibiotikaresistenz von Bakterien wird von der Schülerin widersprüchlich sowohl durch eine Mutation, als auch durch Anpassung aufgrund einer Gewöhnung im Hinblick auf ein Überlebensziel erklärt. Nicola löst für sich diesen Widerspruch durch die Annahme gezielter Mutation auf, ohne den Widerspruch zu dem vorher angegebenen spontanen Charakter wahr zu nehmen.

C Sprachliche Aspekte, Herkunft der Vorstellungen

Die Vorstellung einer schrittweisen Veränderung über einen längeren Zeitraum bei den Braunbären ist möglicherweise auf die Vorstellung braungefärbter Eisbärenvorfahren zurückzuführen.

Widersprüchliche Verwendung von „Mutation“ zeigt, dass Nicolas vorunterrichtliche Vorstellungen von Wahrnehmung und Zielgerichtetheit noch nicht vollständig überwunden sind und spontan geäußert werden. Die fachlich an-

gemessenere Erklärung der Artveränderung, wie sie Nicola am Beispiel der Giraffe verwendet, ist noch nicht tief verwurzelt.

Die Erklärungen der Schülerin sind gerade bei dem Beispiel der Mäuse bei Verwendung der Bildkarten bildhaft anschaulich. Man hat den Eindruck einer Mutation als ein über die Population hereinbrechendes Ereignis, wenn sie angibt, *eine Mutation kommt darüber* (36-43).

Vorhandene Anpasstheit wird häufig in den Formulierungen als aktive Anpassung verwendet.

Alltagserfahrungen aus dem menschlichen Bereich werden zur Erklärung von Phänomenen, wie z.B. der Antibiotikaresistenz, herangezogen, obwohl sie selber formuliert, dass man das nicht so menschlich sehen darf.

Konzepte:

Konzepte zu Anpassung

- **Zwang bewirkt Anpassungsziel:** Ein Zwang aus der Umwelt legt das Ziel der Anpassung fest.
- **Anpassungsziel bewirkt Genveränderung:** Aus Anpassungsziel bzw. Anpassungszwang resultierende Entwicklung durch initiierte Genveränderung.
- **Aktive Anpassung:** Lebewesen passen sich aktiv an ihre Umwelt durch Veränderung von Merkmalen an.
- **Merkmalsänderung durch Gebrauch:** Ständiger Gebrauch führt zu der Veränderung eines Merkmals.
- **Wahrnehmung einer Anpassungsnotwendigkeit:** Die Lebewesen nehmen die Notwendigkeit einer Anpassung durch Artveränderung wahr.
- **Überlebensvorteil vorteilhafter Varianten:** Umweltveränderungen bedingen veränderte Überlebensvorteile von Typen mit vorteilhaften Merkmalen.
- **Vorgegebene Natur:** Ziel der Artveränderung ist von der Natur vorgegeben.
- **Natürliches Gleichgewicht ermöglicht Überleben:** Ein Überleben ist möglich, wenn ein natürliches Gleichgewicht vorliegt.
- **Aussortieren benachteiligter Individuen:** Natürliche Selektion ist das Aussortieren benachteiligter Individuen.

- **Fortpflanzungsvorteil vorteilhafter Varianten:** Umweltveränderungen bedingen nicht nur veränderte Überlebens-, sondern auch Fortpflanzungsvorteile von Typen mit vorteilhaften Merkmalen.
- **Mutationsfolge bewirkt schrittweise Veränderung:** Die schrittweise Veränderung einer Art wird auf eine Folge von mehreren Mutationen zurückgeführt.
- **Dynamische Anpasstheit:** Die Artveränderung ist dynamisch. Angepasste Individuen können durch eine Umweltänderung unangepasst werden.

Konzepte zu Art und Artentstehung

- **Neue Arten durch Transformation:** Vorfahren verändern sich so stark, dass neue Arten entstehen.
- **Kreuzungsmöglichkeit bei Artzugehörigkeit:** Nur Tiere einer Art können sich kreuzen und Nachkommen erzeugen.
- **Kreuzungsmöglichkeit bei gemeinsamer Abstammung:** Tiere, die gemeinsame Abstammung haben können fertile Nachkommen erzeugen.
- **Unterschiedlichkeit vermindert Kreuzungsmöglichkeit:** Tiere die sich stark voneinander unterscheiden, können nicht Nachkommen miteinander zeugen.
- **Arttransformation durch Mutation:** Vorfahren verändern sich durch Mutation zu neuen Arten.

Konzepte zu Variation

- **Innerartliche Variation:** Individuen einer Art können unterschiedlich aussehen.
- **Genetische Variation:** Erbanlagen bestimmen Merkmale und bedingen das Erscheinungsbild.
- **Abweichler durch Mutation:** Eine unvorhersehbare Mutation erzeugt abweichende Individuen und somit Variation.
- **Plötzliche Mutation:** Erbanlagen können unvorhersehbar und sprunghaft verändert werden.

- **Wahrscheinliche vorteilhafte Mutation:** Mutationen, die zu in der Umwelt vorteilhaften Merkmalen führen, treten mit höherer Wahrscheinlichkeit auf.
- **Vorteilhafte Mutationen:** Mutationen bewirken immer nur eine für das Individuum vorteilhafte Merkmalsveränderung.

8.2.6 Interview Paul

Geordnete Aussagen:

Vor dem Unterricht

Artveränderung

(74-85) S24V [Giraffe, Erklärung Entwicklung langer Hals] An der Giraffe ist besonders, dass die so lange Beine haben, ich glaube die sind an die fünfzig Meter lang und der Hals ist auch sehr lang. Nein, ich habe keine Idee, wie der lange Hals entstanden ist. Vielleicht haben die sich ja immer gestreckt, um an die Bäume zu kommen. Ich glaube, es gibt irgendwie so ein Menschevolk da machen sich die Frauen immer Ringe um die Hälse. Vielleicht wenn die sich immer strecken, vielleicht ist da ungefähr das gleiche geschehen. Ja, ich glaube schon, dass sie das auch an die Nachkommen vererben können.

(68-73) S24V [Braunbären am Nordpol] Die Braunbären wären natürlich am Nordpol schneebedeckt, aber die Fellfarbe würde sich nicht ändern. Nein, auch die Kinder nicht, die sähen genauso aus.

(102-109) S24V [Birkenspanner: Veränderung] Ja, das Absterben der Flechte hat eine Auswirkung, wahrscheinlich haben die sich dann angepasst. Also auf dem Bild kann man den Falter nicht erkennen, weil der sich so gut getarnt hat und hier, weil es ja dann dunkler ist, kann man den schwarzen Falter nicht so gut erkennen. Ich glaub die haben sich dann irgendwie angepasst. Ich habe auch schon mal überlegt wie, habe aber keine Ahnung.

(114-119) S24V [Schwörnchen Veränderung] Die Beeren und Nüsse die sind ja eigentlich auch an Sträuchern und ich glaube, das würde dann sterben, wenn der Meeresspiegel ansteigen würde, weil es müsste ja dann irgendwo hier oben auf den Bäumen oben klettern, weil es ja wahrscheinlich nicht schwimmen kann. Ja und das würde dann keine Nahrung mehr finden. Würde man das nach langer Zeit noch finden, hätte sich das verändert.

Tabelle 84: Gegenüberstellung der von Nicola vor und nach der Unterrichtsintervention zur Erklärung verwendeten Konzepte 1

Vor dem Unterricht:	Nach dem Unterricht:
<i>Konzepte zu Anpassung</i>	
Zwang bewirkt Anpassungsziel	
Anpassungsziel bewirkt	Anpassungsziel bewirkt
Genveränderung	Genveränderung
Aktive Anpassung	
Merkmalsänderung durch Gebrauch	
Wahrnehmung einer	
Anpassungsnotwendigkeit	
Überlebensvorteil vorteilhafter	Überlebensvorteil vorteilhafter
Varianten	Varianten
Vorgegebene Natur	
Natürliches Gleichgewicht ermöglicht	
Überleben	
	Aussortieren benachteiligter
	Individuen
	Fortpflanzungsvorteil vorteilhafter
	Varianten
	Mutationsfolge bewirkt schrittweise
	Veränderung
	Dynamische Anpasstheit
<i>Konzepte zu Art und Artentstehung</i>	
Neue Arten durch Transformation	
Kreuzungsmöglichkeit bei	Kreuzungsmöglichkeit bei
Artzugehörigkeit	Artzugehörigkeit
Kreuzungsmöglichkeit bei	
gemeinsamer Abstammung	
Unterschiedlichkeit vermindert	
Kreuzungsmöglichkeit	
	Arttransformation durch Mutation

Tabelle 85: Gegenüberstellung der von Nicola vor und nach der Unterrichtsintervention zur Erklärung verwendeten Konzepte 2

Vor dem Unterricht:	Nach dem Unterricht:
Konzepte zu Variation	
Innerartliche Variation	Innerartliche Variation
Genetische Variation	Abweichler durch Mutation
	Plötzliche Mutation
	Wahrscheinliche vorteilhafte Mutation
	Vorteilhafte Mutationen

Artentstehung

(110-113) S24V [Schwörnchen Entstehung] Ich glaube Seefahrer, die ich habe keine Ahnung, ob die schon Eichhörnchen kannten oder so, aber Schweine bestimmt zum Essen auch ja, und vielleicht sind die da irgendwie gestrandet oder so, und dieses Eichhörnchen und das Schwein haben irgendwie überlebt und dadurch entstand dieses Schwörnchen. Ja, die haben sich gemischt.

Auftreten neuer Variation

(98-101) S24V [Birkenspanner: Erklärung Auftreten der dunklen Form] Nein, ich weiß nicht wie es kommt, dass dunkle Tiere auftreten, das kann ich mir nicht vorstellen.

Artkonzept

(86-97) S24V [Bänderschnecken, Arten] Ich glaube, das ist eine Art von Schnecken und von dieser Art gibt es Unterarten. Ich glaube die Schnecken, die man auf der Wiese und im Wald sucht, wären unterschiedlich, weil auf der Wiese, da ist es ja nicht so geschützt, da sind auch keine Bäume und dann würde die Sonne eher darauf brennen, und dann würde sich vielleicht die Farbe verändern, und im Wald würden die dann eher dunkler werden, weil es ja da nicht so viel Sonne gibt und die Bäume sehr viel Schatten spenden. Ja die Hellenen würde ich eher auf der Wiese finden. Wenn ich viele Helle im Waldbereich aussetzte, nach langer Zeit glaube ich, die Hellen müssen, also das dauert sehr lange bis die sich irgendwie wieder, also das wird dann auch immer vererbt und dann braucht man irgendwie zehn oder zwanzig Jahre bis die dann wieder so ein dunkler Schneckenhaus wie die haben. Die Schnecken würden sich ein bisschen verändern.

(120-135) S24V [Tiere, Nachkommen] Ich denke Dogge und Chihuahua können mit einander Kinder bekommen, warum habe ich keine Ahnung. Nein, ich

glaube nicht Dogge und Wolf, weil der Wolf hat ja noch so seine Instinkte und wenn er, ich glaube der würde sich nicht irgendwie mit jemand paaren, den er gar nicht kennt, also was ihm unbekannt ist. Ich glaube schon Fuchs und Wolf könnten miteinander Nachkommen haben, das würden sie aber nicht machen. Nein, Wolf und Rind geht nicht, weil es sind zwar beides Säugetiere aber irgendwie das Rind das wird ja meistens gezüchtet, das lebt ja auch nicht frei, und Fuchs und Wolf leben ja auch noch ziemlich frei. Pferd und Rind glaube ich würde klappen.

Nach dem Unterricht:

Artveränderung

(12-17) S24N [Giraffe, Erklärung Entwicklung langer Hals] Erst einmal gab es in der Population eine Mutation und dann, also eigentlich gab es da Giraffen nur mit kleinen Hälsen, und dann gab es eine Mutation, und dann hatten ein paar Giraffen große Hälse, und in den Jahren, also in ganz vielen Jahren, war dann natürliche Selektion, und die mit den kleinen Hälsen konnten dann ja nur das Gras von der Steppe fressen, und wenn das austrocknete oder so, dann starben die, und die Giraffen mit den großen Hälsen konnten dann auch an die Laubbäume. Das hat den Effekt, dass die mit den längeren Hälsen auf Dauer mehr fressen.

(26-27) S24N [Braunbären am Nordpol] Wahrscheinlich würde der Braunbär dann Nachkommen kriegen, und wenn er Glück hat oder die Nachkommen Glück haben, tritt eine Mutation ein, dass die dann eben weiß werden oder erst einmal heller, und dann über die ganzen Jahre entwickelt sich das dann weiter und die können sich dann besser anpassen. Und durch natürliche Selektion überleben dann nur die weiß angepassten und die Braunen sterben langsam aus.

(20-23) S24N [Birkenspanner: Veränderung mit Karten legen] Also erst gab es die ganzen Weißen, ganz viele Weiße, und dann war da vielleicht durch Zufall, also durch Mutation, irgendwie eine Grauer dabei, und dann wurde es ja immer schwarzer, und dann überlebten da mehr diese, also die dunkleren Falter, also durch natürliche Selektion, die starben dann so ein bisschen aus, aber es gab immer noch so welche (Helle). Aber meistens gab es dann nur noch die hier, und durch Mutation gab es dann vielleicht ein zwei schwarze. Und dann 25 Jahre später wurden die dann ja wahrscheinlich noch schwärzer, dann gab es ganz viel von denen. Aber die sind noch nicht ganz ausgestorben, also davon gab es noch ein paar, aber hauptsächlich durch natürliche Selektion gab es dann noch mehr Schwarze. Ich glaube, dann gab es weniger Graue und der Rest war dann schwarz. Und zum Schluss gab es dann nur noch schwarze. Ja

für mich hat die Änderung der Umwelt mit der Änderung der Falter zu tun, weil ihr Lebensraum wurde durch diese ganzen Abgase beeinträchtigt, also die Farbe hat sich verändert und eigentlich konnten sich ja zuerst die weißen Falter sehr gut anpassen, weil ja diese Bäume worauf sie lebten ja weiß waren. Aber dann wurde das immer dunkler, und dann haben immer nur noch die Tiere überlebt, die sich besser anpassen konnten, also am meisten nur noch die Tiere überlebt die sich besser anpassen konnten, und die anderen wurden dann gefressen und starben langsam aus.

(24-25) S24N [Mäuse: Erklärung der Veränderung] Ich denke es gab erst einmal die Hellen, durch Mutation gab es dann ein paar schwarze, weil aber der Lebensraum da noch heller war. Und dann wurden die Hellen immer mehr gefressen, und die Schwarzen konnten sich mehr fortpflanzen, so. Ach nein der Lebensraum wurde dann erst dunkler, also schwarz, und dann gab es ein paar schwarze Mäuse und in dem Lebensraum konnten sich die schwarzen Mäuse besser anpassen und die helleren Mäuse wurden gefressen. Dann gab es immer mehr schwarze Mäuse und immer weniger braune Mäuse. Also durch Mutation kam das eben. Vielleicht wurde durch Zufall dann irgendwie ein Vulkanausbruch, und dann wurden es noch mehr braune Mäuse, also starben die noch mehr aus, und zum Schluss gab es dann ganz viel schwarze Mäuse und ganz wenige braune Mäuse, der Adler konnte nicht mehr so viele fressen.

(42-45) S24N [Antibiotika Erklärung Entstehung resistenter Bakterien] Wahrscheinlich hatte irgendeine Bakterie eine Mutation oder so etwas, und dann lebt die eben weiter und hatte dann auch Nachkommen, und die anderen Bakterien wurden dann durch das Antibiotikum bekämpft und starben dann alle aus, und zum Schluss gab es dann nur noch mehrere dieser Bakterien, die nicht durch das Antibiotikum sterben.

Artentstehung

(36-37) S24N [Schwörnchen Erklärung Entstehung] Vielleicht gab es dann auch Piraten und so etwas, und da fuhren Schiffe her, und vielleicht ist das gesunken, und das Schwein konnte sich retten. Dann haben sich das Eichhörnchen und das Schwein gepaart und daraus kam dann so etwas.

Auftreten neuer Variation

(18-19) S24N [Birkenspanner: Erklärung Auftreten der dunklen Form] Abweichende Tiere treten meistens durch Mutation auf.

(28-29) S24N [Braunbären am Nordpol, Mutation] Ja, die Veränderungen sind alle gleich unwahrscheinlich, weil die Mutation ist eigentlich per Zufall, und das kann man ja nicht vorher sehen.

Artkonzept

(30-35) S24N [Bänderschnecken, Anzahl Arten] Das sind mehrere Arten, und die Dunkleren, ein paar Schnecken hatten eine Mutation, die entwickelten sich dann weiter und zum Schluss, die hatten dann Nachkommen und zum Schluss passten die sich immer mehr an und die Dunkleren, je nachdem wo die lebten, entweder überlebten nur die Hellenen oder die Dunkleren. Um das zu beweisen, würde ich mir ein paar Schnecken nehmen. Also angenommen die Herkömmlichen sind dann diese Gelben, und darunter gibt es dann ein paar dunklere, und die würde ich dann züchten. Die hellen Nachkommen würde ich aussortieren und dann nur noch die Dunkleren züchten, bis es zuletzt dann diese Braunen oder Schwarzen sind. Ja, dadurch hätte ich das bewiesen.

(46-57) S24N [Tiere, Nachkommen] Ja, Dogge und Chihuahua könnten sich schon miteinander paaren, aber die Nachkommen wären dann nicht mehr fruchtbar. Ja, bei den beiden Hunden. Ich glaube bei Wolf und Dogge wäre es das Gleiche, weil der Hund stammt vom Wolf ab und deswegen denke ich schon, dass es klappen würde, bei Hund und Hund eben auch. Aber, wenn bei einer Maus und einem Löwen glaube ich, würde das nicht klappen, weil die sind ja sehr unterschiedlich. Ja ich entscheide das nach Abstammung.

Explikation:

Vor dem Unterricht:

A Inhaltliche Vorstellungen

A1 Anpassung durch Artveränderung

Nach Pauls Vorstellung kann eine Artveränderung zielgerichtet durch Merkmalsveränderung über Gebrauch von Merkmalen und folgender Vererbung dieser erworbenen Merkmale, wie im Kontext der Giraffen durch eine zielgerichtete Streckung des Halses, stattfinden. *Vielleicht haben die sich ja immer gestreckt, um an die Bäume zu kommen. ...ich glaube schon, dass sie das auch an die Nachkommen vererben können (74-85).* Die Vorstellung einer Vererbung erworbener Merkmale wird allerdings in anderen Kontexten nicht benannt. Bei den Birkenspannern führen Umweltänderungen als Ursache zu einer als aktiv benannten Anpassung, dessen Ergebnis als Tarnung angegeben wird. Im Falle der Bänderschnecken ist das unterschiedliche Aussehen, wie das folgende Zitat zeigt, direkt durch die Umweltfaktoren bedingt, in diesem Falle führt Paul hellere Formen auf die Bleichwirkung des Sonnenlichts zurück. *...weil auf der Wiese da ist es ja nicht so geschützt, da sind auch keine Bäume, und dann würde die Sonne eher darauf brennen, und dann würde sich vielleicht die Farbe verändern, und im Wald wür-*

den die dann eher dunkler werden, weil es ja da nicht so viel Sonne gibt und die Bäume sehr viel Schatten spenden. Im Gegensatz dazu bewirkt eine Umweltänderung bei den Schwörnchen ein Aussterben aufgrund Nahrungsverknappung oder einer Artveränderung, die nicht genauer erklärt wird.

Der Schüler lehnt eine Veränderung der Arten nicht generell ab. Der Prozess der Artveränderung vollzieht sich nach seiner Vorstellung über einen langen Zeitraum, wobei allerdings nach Pauls Vorstellung ein Zeitraum von zehn bis zwanzig Jahren als sehr lange eingeordnet wird.

Über einen kurzen Zeitraum geht Paul, wie seine Angaben zum Braunbären zeigen, von der Konstanz einer Art über Generationen aus. ... *die Fellfarbe würde sich nicht ändern. Nein, auch die Kinder nicht, die sähen genauso aus (68-73).* Er nimmt innerartliche Variation nicht wahr und kann sich das Auftreten von abweichenden Individuen nicht vorstellen.

Neue Arten können nach Vorstellung des Schülers durch Einwanderung von Arten in einen neuen Lebensraum und anschließender Kreuzung verschiedener Arten entstehen. Obwohl Pauls Erklärungen nach dem ersten Eindruck eher heterogen und inkonsistent wirken, lassen sie die Folgerung zu, dass Paul eine Vorstellung von individueller Veränderung mit Konstanz der nächsten Generation hat. Schrittweise individuell erworbene Veränderung wird weitervererbt, dies bedingt nach seiner Vorstellung die lange Zeitdauer von Artveränderungen. Er führt eine Artveränderung in allen Zusammenhängen auf Umweltbedingungen zurück.

A2 Artbegriff

Die Kreuzbarkeit von Tieren hängt für Paul von der Lebensweise der Arten und dem Bekanntheit der Tiere untereinander ab, welche vor allem bei Haus- und Wildtieren so unterschiedlich sind, dass er in diesen Fällen eine Kreuzbarkeit ablehnt. *Nein, ich glaube nicht, Dogge und Wolf, weil der Wolf hat ja noch so seine Instinkte und wenn er, ich glaube der würde sich nicht irgendwie mit jemand paaren den er gar nicht kennt, also was ihm unbekannt ist (120-135).* Er geht von einer Kreuzbarkeit ähnlicher Haus- und Wildtiere aus, diese ist, wie das Beispiel Fuchs und Wolf zeigt, unabhängig von der gleichen Artzugehörigkeit. Allerdings kann Paul seine Annahme einer Kreuzbarkeit in diesen Fällen nicht begründen.

Pauls Artbegriff ist typologisch, so sind seiner Vorstellung nach die Bänder-schneckenvarianten auf unterschiedliche Unterarten zurückzuführen, welche jeweils in unterschiedlichen Lebensräumen vorkommen.

B Gegensätze

Das von Paul angenommene Aussterben einer Art aufgrund fehlender Nahrung als Resultat einer fiktiven Umweltveränderung bildet einen Gegensatz zu der Aussage, die Art hätte sich, wenn man sie nach längerer Zeit noch finden würde, verändert. Paul scheint die Vorstellung zu haben, dass nur eine Veränderung der Tiere ein Überleben ermöglicht und im anderen Fall die Art ausstirbt.

C Sprachliche Aspekte, Herkunft der Vorstellungen

Die Erklärungen des Schülers sind spontan generiert, da er angibt, dies nicht zu wissen, aber trotzdem zusätzlich eine Erklärung formuliert. Er transferiert zur Erklärung erfahrungsbasierte Vorstellungen aus dem menschlichen Bereich.

Die Erfahrung, dass durch Ringe der Hals beim Menschen gestreckt wird, bestätigt für ihn im Kontext der Giraffen diese Möglichkeit. *Ich glaube, es gibt irgendwie so ein Menschenvolk da machen sich die Frauen immer Ringe um die Hälse. Vielleicht wenn die sich immer strecken, vielleicht ist da ungefähr das gleiche geschehen* (74-85).

Alltagserfahrungen über die Bleichwirkung des Sonnenlichtes verwendet er zur Erklärung der individuellen Veränderung zur Bildung von Varianten der Bänderschnecken. Im Zusammenhang mit den Birkenspannern bilden eigene Wahrnehmungen die Grundlage der Annahme von Tarnung als Ergebnis des Anpassungsprozesses.

Nach dem Unterricht:

A Inhaltliche Vorstellungen

A1 Anpassung durch Artveränderung

Zentral in Pauls Erklärungen der Artveränderung ist die Vorstellung von durch zufällige Mutation bedingte innerartliche Variation als Ansatzpunkt der Selektion. Mutation ist für Paul, im Unterschied zum ersten Interview, die Erklärung für abweichende Tiere, welche er konsistent in allen Zusammenhängen zur Erklärung anwendet.

Den Zufallscharakter von Mutationen beschreibt er als Glück und Zufall, wobei unterschiedliche Mutationen seiner Auffassung nach, selbst wenn sie sich nachteilig in entsprechender Umwelt auswirken, im Hinblick auf ihr Auftreten eine gleiche Wahrscheinlichkeit aufweisen. *Die Veränderungen sind alle gleich unwahrscheinlich, weil die Mutation ist eigentlich per Zufall und das kann man ja nicht vorher sehen* (28-29).

Der Schüler hat allerdings zu diesem Zeitpunkt noch keine vollständig angemessene Vorstellung von Variation, er geht von einer dichotomen Variation

aus. So beschreibt Paul zunächst die Giraffenpopulation als uniform, erst eine Mutation führt zum Auftreten einiger in diesem Merkmal abweichenden Individuen. Ebenso ist seiner Ansicht nach die Population am Ende des Anpassungsprozess uniform, wie im Fall der Birkenspanner, wo es seiner Auffassung nach *zum Schluss nur noch Schwarze gab*.

Besser angepasste Varianten haben seiner Vorstellung nach einen Vorteil, z.B. mehr Nahrung und überleben, sich in der Umwelt als nachteilig herausstellende Variation sterben über einen längeren Zeitraum aus. Diese Vorstellung einer natürlichen Selektion, wendet er ebenfalls - wie die von Mutationen - konsistent in allen Kontexten an. Besonders bemerkenswert ist die Verwendung dieser Vorstellungen zur fachlich angemessenen Erklärung der Entstehung antibiotikaresistenter Bakterien, die darauf hindeutet, dass Mutation und Selektion nach dem Unterricht für Paul allgemein einsetzbare Konzepte darstellen und er Artveränderung nicht mehr aufgrund individuell erworbener Veränderung erklärt.

Wahrscheinlich hatte irgendeine Bakterie eine Mutation oder so etwas und dann lebt die eben weiter und hatte dann auch Nachkommen, und die anderen Bakterien wurden dann durch das Antibiotikum bekämpft und starben dann alle aus, und zum Schluss gab es dann nur noch mehrere dieser Bakterien, die nicht durch das Antibiotikum sterben.(42-45).

Das Resultat des Selektionsprozesses, den Paul zwar als aktiv formulierte Anpassung bezeichnet, ist abhängig vom dem Lebensraum der Population. ...*je nachdem wo die lebten, entweder überlebten nur die Helleren oder die Dunkleren* (30-35).

Im Unterschied dazu hat sich seine Erklärung der Entstehung einer neuen fiktiven Art nicht verändert, auch zu diesem Zeitpunkt geht er von einer Kreuzung von eingewanderten Tieren aus.

A2 Artbegriff

Die Kreuzbarkeit von Arten hängt nicht mehr wie vor der Unterrichtsintervention von der Lebensweise und dem Verstehen der Tiere untereinander ab. Grundlage für eine mögliche Kreuzung ist für ihn ein gewisses Maß an Gleichheit, was er auf eine gemeinsame Abstammung zurückführt. Gemeinsame Abstammung kann nach Pauls Vorstellung auf gemeinsamen Vorfahren beruhen. Im Zusammenhang mit der Bänderschnecken, wo er der Ansicht ist, es handle sich um mehrere Arten, beschreibt er die Artaufspaltung einer Art in mehrere Arten aufgrund von Mutation und folgender Anpassung. Pauls Artbegriff ist zwar auch nach dem Unterricht noch als typologisch einzuordnen, allerdings um das Konzept der Ähnlichkeit aufgrund gemeinsamer Abstammung und

Artaufspaltung einer Art in mehrere Arten angereichert.

B Gegensätze

Pauls Vorstellungen zur Entstehung neuer Arten stehen in Widerspruch zueinander. Auf der einen Seite kann eine neue Art durch interspezifische Kreuzung entstehen (Schwörnchen), auf der anderen Seite beschreibt er, dass Unterschiedlichkeit die Möglichkeit einer Kreuzung verhindert und neue Arten können sich durch Aufspaltung aus vorhandenen Arten entwickeln (Bänderschnecken).

C Sprachliche Aspekte, Herkunft der Vorstellungen

Paul verwendet zur Erklärung der Artveränderung konsistent die Termini „Mutation“ und „natürliche Selektion“, wobei seine Ausführungen darauf hinweisen, dass diese für ihn im Unterricht erworbene Konzepte darstellen. Er gibt in keinem Zusammenhang Nichtwissen an und verwendet nicht mehr, wie im ersten Interview, erfahrungsbasierte Vorstellungen

Konzepte:

Konzepte zu Anpassung

- **Merkmalsänderung durch Gebrauch:** Ständiger Gebrauch führt zu der Veränderung eines Merkmals.
- **Vererbung erworbener Eigenschaften:** Durch z.B. Gebrauch veränderte erworbene Eigenschaften werden vererbt.
- **Umweltinduzierte schrittweise Merkmalsänderung:** Die Umwelt induziert direkt eine schrittweise Veränderung von Merkmalen.
- **Tarnungsziel führt zur Angepasstheit:** Artveränderungen entstehen aufgrund von Umweltänderungen mit dem Ziel der Tarnung.
- **Graduelle Anpassung über Generationen:** Die Artveränderung erfolgt schrittweise über mehrere Generationen und einen längeren Zeitraum.
- **Variationsloses Anpassungsergebnis:** Das Ergebnis des Anpassungsprozesses ist eine uniforme Population ohne Variation.
- **Überlebensvorteil vorteilhafter Varianten:** Umweltveränderungen bedingen veränderte Überlebensvorteile von Typen mit vorteilhaften Merkmalen.
- **Aussortieren benachteiligter Individuen:** Natürliche Selektion ist das Aussortieren benachteiligter Individuen.

- **Fortpflanzung überlebender Varianten:** Individuen mit vorteilhaften Merkmalen überleben und pflanzen sich fort.
- **Dynamische Anpasstheit:** Die Artveränderung ist dynamisch. Angepasste Individuen können durch eine Umweltänderung unangepasst werden.

Konzepte zu Art und Artentstehung

- **Aussterben durch Nahrungsmangel aufgrund Umweltänderung:** Umweltänderungen bedingen Aussterben einer Art aufgrund Nahrungsmangel.
- **Neue Arten durch Migration und artfremde Kreuzung:** Eingewanderte Population einer Art bilden neue Arten durch Kreuzung mit einer anderen Art.
- **Kreuzungsmöglichkeit bei gleichem Lebensraum und / oder Verträglichkeit:** Tiere können miteinander Nachkommen zeugen, wenn sie sich im gleichen Lebensraum begegnen und miteinander vertragen.
- **Kreuzungsmöglichkeit bei Ähnlichkeit:** Ähnliche Haus- bzw. Wildtiere können sich untereinander kreuzen.
- **Verwandtschaft bedingt Ähnlichkeit:** Tiere ähneln sich aufgrund gemeinsamer Verwandtschaft durch Abstammung.
- **Kreuzungsmöglichkeit bei gemeinsamer Abstammung:** Tiere die gemeinsame Abstammung haben können fertile Nachkommen erzeugen.
- **Artaufspaltung durch Mutation und Anpassung:** Durch Mutation und nachfolgender Anpassung durch Selektion kann sich eine Art in Arten aufspalten.

Konzepte zu Variation

- **Innerartliche Variation:** Individuen einer Art können unterschiedlich aussehen.
- **Vererbtes Erscheinungsbild:** Das Aussehen eines Individuums ist von den Eltern abhängig.
- **Konstante Erbanlagen:** Die genetische Information bleibt konstant und ändert sich nicht sprunghaft.

- **Typologischer Artbegriff:** Die Individuen einer Art (Unterart) haben gleiches Aussehen und entsprechen einem Typ.
- **Abweichler durch Mutation:** Unvorhersehbare Mutation erzeugt abweichende Individuen und somit Variation.
- **Plötzliche Mutation:** Erbanlagen können unvorhersehbar und sprunghaft verändert werden.
- **Dichotome Variation:** Typologische Variation, Individuen treten in zwei Formen von Merkmalsvariationen auf.

Tabelle 86: Gegenüberstellung der von Paul vor und nach der Unterrichtsintervention zur Erklärung verwendeten Konzepte

Vor dem Unterricht:	Nach dem Unterricht:
<i>Konzepte zu Anpassung</i>	
Merkmalsänderung durch Gebrauch	
Vererbung erworbener Eigenschaften	
Umweltinduzierte schrittweise	
Merkmalsänderung	
Tarnungsziel führt zur Anpasstheit	
Graduelle Anpassung über	
Generationen	
	Variationsloses Anpassungsergebnis
	Überlebensvorteil vorteilhafter
	Varianten
	Aussortieren benachteiligter
	Individuen
	Fortpflanzung überlebender Varianten
	Dynamische Anpasstheit
<i>Konzepte zu Art und Artentstehung</i>	
Aussterben durch Nahrungsmangel	
aufgrund Umweltänderung	
Neue Arten durch Migration und	Neue Arten durch Migration und
artfremde Kreuzung	artfremde Kreuzung
Kreuzungsmöglichkeit bei gleichem	
Lebensraum und / oder Verträglichkeit	
Kreuzungsmöglichkeit bei Ähnlichkeit	
	Verwandtschaft bedingt Ähnlichkeit
	Kreuzungsmöglichkeit bei
	gemeinsamer Abstammung
	Artaufspaltung durch Mutation und
	Anpassung
<i>Konzepte zu Variation</i>	
Innerartliche Variation	
Vererbtes Erscheinungsbild	
Konstante Erbanlagen	
Typologischer Artbegriff	Typologischer Artbegriff
	Abweichler durch Mutation
	Plötzliche Mutation
	Dichotome Variation

Tabelle 87: *Strukturierung der Schülerkonzepte zu Artveränderung und Anpassung 1*

Konzept		Schüler vor Unterricht	nach Unterricht
Ziel, Zwang oder Notwendigkeit zur Anpassung aufgrund von Umweltänderungen			
Ziel	Tarnungsziel führt zur Angepasstheit	Pia, Paul	
	Anpassungsziel bewirkt Genveränderung	Nicola	Nicola
	gezielte Paarung	Sven	
	vorgegebene Natur	Nicola	
	aktive Anpassung	Michael, Nicola	Michael
Zwang	Anpassungszwang durch Umweltänderung	Sven, Lara, Michael	
	Zwang bewirkt Anpassungsziel	Nicola	
Wahrnehmung, Notwendigkeit	Wahrnehmung einer Anpassungsnotwendigkeit	Michael, Nicola	Michael
	aktive Migration zur Tarnung	Lara	
Anpassung durch erworbene Merkmale			
Gebrauch	Merkmalsänderung durch Gebrauch	Pia, Michael, Nicola, Paul	
	Gebrauch bewirkt Körperwachstum	Lara	
Vererbung	Vererbung erworbener Eigenschaften	Pia, Paul	

8.2.7 *Strukturierung der Schülerkonzepte, Vergleich der Konzepte aus den Einzelfallanalysen*

Einen Vergleich der individuellen Konzepte ermöglicht die nachfolgende Ordnung und Strukturierung (vgl. Tab. 87, Tab. 88 auf der nächsten Seite und Tab. 89 auf Seite 279). Diese bildet die Grundlage zur Analyse der Lernwege, um sowohl lernförderliche Konsequenzen als auch Lernhindernisse aufzuzeigen.

Die Strukturierung der Schülerkonzepte zeigt, dass alle zur Erklärung der Entstehung von Artveränderung vor dem Unterricht Konzepte verwenden, welche sich auf die aus Umweltänderungen resultierenden Ziele, Zwänge oder wahrgenommenen Notwendigkeiten zur Anpassung beziehen. Bis auf eine Aus-

Tabelle 88: *Strukturierung der Schülerkonzepte zu Artveränderung und Anpassung 2*

Konzept		Schüler vor Unterricht	nach Unterricht
Graduelle Anpassung			
Umwelt	umweltinduzierte schrittweise Merkmalsänderung	Paul	Lara
Generation	graduelle Anpassung über Generationen	Sven, Lara, Michael, Paul	Sven, Pia
	Generationsdauer bewirkt Anpassungsdauer		Sven
Vererbung	Anpassung durch Vererbung	Pia	
	Mutationsfolge bewirkt schrittweise Veränderung		Nicola
Paarung	schrittweise Veränderung durch Paarung von Abweichlern		Lara
Dynamische Anpassung			
	zufällige Auswirkung von Variation	Lara	
	Anpassung ist reversibel	Pia, Michael	
	dynamische Angepasstheit		Nicola, Paul

Tabelle 89: Strukturierung der Schülerkonzepte zu Artveränderung und Anpassung 3

Konzept		Schüler vor Unterricht	nach Unterricht
Variation			
	Variationsloses Anpassungsergebnis	Sven	Sven, Paul
	Variation ermöglicht Anpassung		Sven
	Variation in angepasster Population		Lara
Selektion			
Selektives Überleben	Aussterben benachteiligter Individuen		Nicola, Paul
	Überlebensvorteil vorteilhafter Individuen	Nicola	Sven, Pia, Michael, Nicola, Paul
Selektive Fortpflanzung	Fortpflanzungsvorteil vorteilhafter Varianten		Sven, Michael, Nicola
	Fortpflanzung überlebender Varianten		Pia, Paul
Veränderung Merkmalsdurch- schnitt	Anpassung durchschnittliche Variation		Pia, Michael
	schrittweise Veränderung vorteilhafter Merkmale durch selektives Überleben		Lara

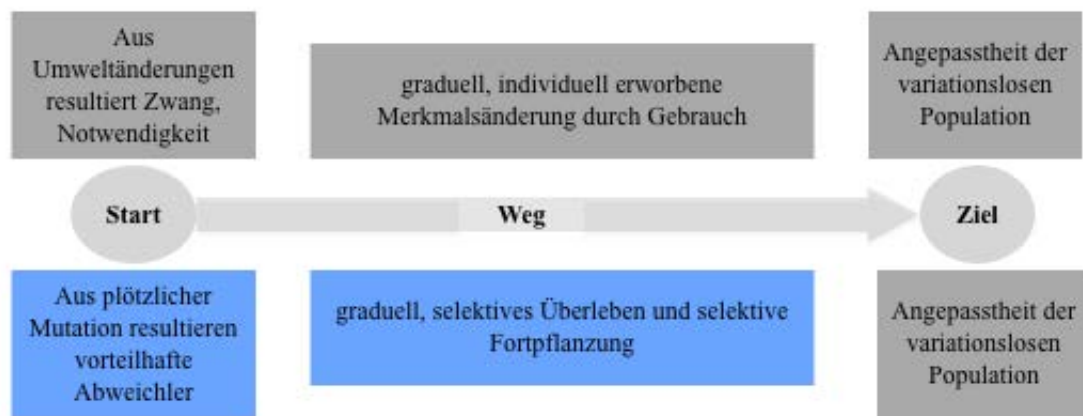


Abbildung 34: Weg-Schema der Anpassung, blau nach Unterricht veränderte Aspekte

nahme treten in Verbindung hiermit Vorstellungen der Anpassung durch erworbene Merkmale bzw. deren Vererbung auf.

Eine deutliche Veränderung zeigt sich in diesem Zusammenhang nach der Unterrichtsintervention. Nur noch zwei Schüler haben die Vorstellungen einer zielorientierten Anpassung, Konzepte zu erworbenen Merkmalen werden von den Schülern nicht mehr zur Erklärung von Anpassung verwendet. Im Gegensatz dazu weisen die Erklärungen aller Schüler selektive Konzepte auf, fünf Schüler kombinieren selektives Überleben mit dem sich daraus logisch abgeleiteten Konzept der selektiven Fortpflanzung. Variationsvorstellungen treten zwar nach dem Unterricht bei der Hälfte der Schüler auf, allerdings ebenfalls die Vorstellung einer graduellen Anpassung, welche sich z.T. in der Qualität geändert hat (vgl. Tab. 89 auf der vorherigen Seite).

Die Analyse der Schülerkonzepte lässt die Folgerung zu, dass die Schüler vor dem Unterricht Anpassung entsprechend eines „Weg-Schemas“, bestehend aus Ausgangspunkt, Wegstrecke, Ziel und Richtung, verstehen. Ausgangspunkt hierbei ist der aus einer Umweltänderung resultierende Zwang, oder die Notwendigkeit und die Richtung der Anpassung ist durch das Ziel der Anpassung gegeben. Der Weg ist für die Schüler graduell über eine individuell erworbene Merkmalsänderung vorstellbar.

Durch den Unterricht werden die Schülervorstellungen in Bezug auf den Weg-Aspekt verändert, es treten fachlich angemessene selektive Erklärungen an die Stelle der erworbenen Merkmalsänderung. Die auch nach dem Unterricht vorhandene Vorstellung einer graduellen Anpassung deutet darauf hin, dass der Ziel-Aspekt nach wie vor Bestandteil des Denkens der Schüler ist (vgl. Abb. 34).

Die meisten Schüler haben inkonsistente Vorstellungen zum biologischen Artbegriff und der Kreuzbarkeit von Tieren. Anthropomorphe Konzepte, die auf lebensweltlichen Erfahrungen des Miteinanders beruhen, werden von zwei

Tabelle 90: Strukturierung der Schülerkonzepte zu Art und Artbegriff ¹

Konzept		Schüler vor Unterricht	nach Unterricht
Artbegriff, Kreuzbarkeit			
Verträglichkeit, Vorstellbarkeit	Kreuzungsmöglichkeit bei gleichem Lebensraum und / oder Verträglichkeit	Lara, Paul	
	Kreuzungsmöglichkeit bei vorstellbaren Nachkommen	Lara	
Ähnlichkeit	Artzugehörigkeit aufgrund von Ähnlichkeit	Sven	
	Kreuzungsmöglichkeit bei Ähnlichkeit	Sven, Paul, Michael	
	Unterschiedlichkeit verhindert Kreuzungsmöglichkeit	Nicola	Lara
Art / Abstammung	Kreuzungsmöglichkeit bei Artzugehörigkeit	Nicola	Sven, Pia, Michael, Nicola
	Sterile Nachkommen artfremder Kreuzung		Michael
	Kreuzungsmöglichkeit bei gemeinsamer Abstammung	Pia, Lara, Nicola, Michael	Pia, Paul
	Verwandtschaft bedingt Ähnlichkeit	Sven, Pia	Paul

Tabelle 91: Strukturierung der Schülerkonzepte zu Art und Artbegriff 2

Konzept		Schüler vor Unterricht	nach Unterricht
Artentstehung			
artfremde Kreuzung	Neue Arten durch Migration und artfremde Kreuzung	Paul	Paul
	Artbildung durch artfremde Kreuzung	Pia, Lara	Lara, Michael
Arttransfor- mation	Neue Arten durch Transformation	Sven, Michael, Nicola	Sven
	Neue Arten durch Migration und Transformation		Michael
Mutation und Anpassung	Arttransformation durch Mutation		Nicola
	Artaufspaltung durch Mutation und Anpassung		Paul
Umweltauswirkungen			
Aussterben durch Umweltän- derungen	Aussterben durch Umweltänderung	Pia, Michael	
	Aussterben durch Nahrungsmangel aufgrund von Umweltänderung	Paul	
	Kleine Populationen durch Umweltänderung	Michael	
Umwelt bestimmt Art	Nischenfüllung durch Artentstehung	Lara	
	Reproduzierbare Artentstehung	Sven, Lara	

Tabelle 92: Strukturierung der Schülerkonzepte zu Variation 1

Konzept		Schüler vor Unterricht	nach Unterricht
Ursache der Variation			
umweltindu- zierte, vorteilhafte Variation	umweltinduzierte Variation		Pia
	vorteilhafte Mutation		Nicola
	vorteilhafte Außenseiter	Sve	
	wahrscheinliche vorteilhafte Mutation		Michael, Nicola
	Abweichler durch Mutation		Nicola
Variation durch Mutation	plötzliche Mutation	Pia, Lara	Pia, Lara, Michael, Paul
	Abweichler durch Mutation		Sven, Michael, Paul
Variation durch Paarung	Variation durch Paarung		Michael
	Variation durch Paarung von Abweichlern	Pia	Pia

Schülern zur Erklärung der Kreuzbarkeit verwendet. Am häufigsten sind bei den Befragten typologische Vorstellungen vertreten, welche durch das Konzept des ähnlichen Aussehens bei Tieren einer Art deutlich werden. Nach dem Unterricht sind die Vorstellungen in Bezug auf den Artbegriff bei fünf der sechs Schülern konsistent, sie führen eine mögliche Kreuzbarkeit fachlich angemessen auf Artzugehörigkeit oder gemeinsame Abstammung zurück.

Das Konzept der Entstehung neuer Arten durch Arttransformation von Vorfahren weisen drei Schülern vor dem Unterricht auf (vgl. Tab. 90 auf Seite 281 und Tab. 91 auf der vorherigen Seite). Nach der Unterrichtsintervention tritt dieses Konzept erweitert durch die Entstehung von Variation bei zwei Befragten auf, hingegen wird das Aussterben als direkte Umweltauswirkung von keinem der interviewten Schüler mehr angeführt.

Das Auftreten von Variation wird für die Schüler durch den Unterricht erklärbar. Alle verwenden in ihren Konzepten nach dem Unterricht das Prinzip der Mutation, für fünf Lernende ist diese ein unvorhersehbares Ereignis, das zur

Tabelle 93: Strukturierung der Schülerkonzepte zu Variation 2

Konzept	Schüler vor Unterricht		nach Unterricht
	Auftreten von Variation		
Genetische Konstanz	konstante Erbanlagen	Pia, Paul	
typologische Population	typologischer Artbegriff	Sven, Michael, Paul	Paul
	entwicklungsabhängige Variation	Michael	Michael
Vererbte Variation	vererbtes Erscheinungsbild	Lara, Paul	Michael
Variation in Population	genetische Variation	Pia, Nicola	
	innerartliche Variation	Lara, Nicola	Nicola
	Menschen zeigen Variation	Sven	
	einzelne Abweichler		Lara
	dichotome Variation		Sven, Paul

Erzeugung von Abweichlern führt. Allerdings ist für drei Lernende eine Mutation ebenso entweder vorteilhaft oder umweltinduziert. Hierdurch wird die Schwierigkeit der Schüler mit dem probabilistischen Charakter von Mutationen deutlich. Zwei Lernende führen Variation auf Paarung zurück und haben ein Konzept von Rekombination.

Obwohl die Schüler nach dem Unterricht eine Erklärung für das Auftreten von Variation zeigen, haben nicht alle ein angemessenes Variationskonzept. Variation in Populationen wird z.T. auf eine dichotome Variation reduziert, es sind typologische Vorstellungen vorhanden, die ein Populationsdenken behindern. Die Schüler nehmen die Variation als Ansatzpunkt für selektive Erklärungen wahr, gehen allerdings auch nach dem Unterricht von einem variationslosen Anpassungsergebnis aus (vgl. Tab. 92 auf der vorherigen Seite und Tab. 93).

DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Die vorliegende Studie hatte das Ziel, Einstellungen und Vorstellungen von jüngeren Lernenden zur Evolution bzw. Evolutionstheorie zu erheben und die Vorstellungsentwicklung im Zusammenhang mit einer Unterrichtsintervention zur Selektionstheorie zu analysieren. Im Folgenden werden zunächst die Ergebnisse der quantitativen und qualitativen Erhebung in Bezug auf die Forschungsfragen zusammengeführt und diskutiert. Es schließt sich ein Vergleich mit anderen Studien an. Den Abschluss bildet die Reflektion der Hauptaspekte der Unterrichtsintervention und sich daraus ableitbaren Folgerungen für den Unterricht.

9.1 ZUSAMMENFÜHRUNG UND DISKUSSION DER QUANTITATIVEN UND QUALITATIVEN ERGEBNISSE DER ERHEBUNG UNTER DEM ASPEKT DER FORSCHUNGSFRAGEN

9.1.1 *Einstellungen der Schüler zur Evolution*

Es konnte gezeigt werden, dass die Schüler zu Beginn der Sekundarstufe I bereits ohne Unterricht zum Thema Evolution eine positive Einstellung zur Evolution haben. Die durchschnittliche Akzeptanz liegt im unteren Bereich einer hohen Akzeptanz. Dieses Ergebnis stimmt mit einer positiven Einstellung europäischer Schüler gegenüber der Evolution überein, wie sie in anderen Arbeiten festgestellt wurde (PRINOU ET AL. 2008, EDER ET AL. 2011). Die ebenfalls moderate Akzeptanz der Evolution von deutschen Schülern am Ende der Sekundarstufe I (LAMMERT, 2012) weist auf eine Konstanz der Akzeptanz während der Sekundarstufe I hin und bestätigt die Annahme von EDER ET AL. (2011), dass sich die Akzeptanz der Evolution bei Schülern verschiedener Altersstufen nicht stark unterscheidet.

Die Schüler akzeptieren die Veränderung der Arten im Laufe der Erdgeschichte als evolutive Entwicklung, die meisten haben die Vorstellung einer Entwicklung heute lebender Lebewesen aus Vorfahren, dies gilt auch für den Menschen. Allerdings ist die sich hieraus ergebende Konsequenz der Abstammung aller Lebewesen von einem gemeinsamen Vorfahren für Schüler dieser Altersklasse möglicherweise aufgrund ihrer Abstraktheit nicht vorstellbar, wobei diese Zustimmung ebenfalls für ältere Schüler in vergleichbarem geringem

Umfang belegt ist (JOHANNSEN & KRÜGER 2005, RETZLAFF-FÜRST & URAHNE 2009) und somit nicht nur auf das Alter der Probanden zurückzuführen ist. Die verbreitete Akzeptanz der Evolution zeigte sich ebenfalls in den durchgeführten Interviews durch eine hohe Akzeptanz der evolutiven Veränderung, Aussterben und Neuentstehung von Arten.

Signifikante Unterschiede in der Akzeptanz der Evolution bei Schülern unterschiedlicher Klassenstufe treten in Abhängigkeit von der Schulform auf. Schüler der fünften Klasse der Gesamtschule weisen gegenüber der sonst hohen Akzeptanz der anderen Probanden nur eine moderate Akzeptanz der Evolution auf. Auch LAMMERT (2012) stellte einzig bei Gymnasiasten eine hohe Akzeptanz von Schülern am Ende der Sekundarstufe fest. Es tritt ein kleiner Gendereffekt auf, männliche Schüler akzeptieren Evolution eher als weibliche Schülerinnen. Dieser Zusammenhang wurde auch von KIM & NEHM (2011) festgestellt. Im Vergleich zu christlichen Schülern oder Schülern ohne Glaubensrichtung ist die Akzeptanz der Evolution bei Probanden muslimischer Glaubensrichtung am geringsten ausgeprägt. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit den Ergebnissen von LAMMERT (2012), ILLNER (2000) und GRAF & SORAN (2011) für ältere Probanden und legt einen altersunabhängigen, allgemeingültigen Zusammenhang nahe, wobei Probanden muslimischer Glaubensrichtung der Evolutionstheorie eher ablehnend gegenüber stehen.

In einem Regressionsmodell werden 13,7% der Varianz der Einstellung zur Evolution und 10,6% der Varianz des Verstehens von Evolution erklärt, wobei das Verstehen der Evolution und die Einstellung zur Evolution in keinem Zusammenhang stehen.

Die Schüler verfügen über Wissen zu Fossilien als versteinerte tierische Materialien oder Abdrücke. Im Laufe der Erdgeschichte treten nach ihrer Auffassung entweder Pflanzen oder Dinosaurier früh auf, wobei sie aber nicht die Ansicht vertreten, dass weniger entwickelte Tiere relativ früh in der Erdgeschichte auftraten.

Ein großer Teil der Schüler geht von einer zeitgleichen Entstehung von Erde und Leben aus. Diese Vorstellung ist aber vermutlich nicht, wie bei jüngeren Grundschulern (TEETZ, 2011) mit biblischen Schöpfungsvorstellungen verbunden, da die Schöpfungsgeschichte den Lernenden relativ unbekannt ist und Unsicherheit in Bezug auf deren Akzeptanz vorherrscht. Allerdings geht ein Teil der Schüler, in einem geringeren Ausmaß als es für ältere Schüler belegt ist (ATES, 2009), von einer grundsätzlichen Sinnhaftigkeit von Lebewesen u.a. für den Menschen aus, wobei ein Nutzen eher bei Pflanzen als bei Tieren angenommen wird.

Wissen über lebensfeindliche Bedingungen der frühen Erde ist verbunden mit einer späteren Entstehung von Lebewesen. Die Themenbereiche „Evoluti-

onsgeschichte“, „Fossilien“ und „Entstehung des Lebens“ zeigen, dass das Erfassen von Zeitdimensionen und zeitlichen Abläufen der Evolution bei dieser Altersgruppe mit Schwierigkeiten verbunden ist.

Ein „Flintstone-Effekt“, die Annahme einer zeitlichen Koexistenz von Dinosauriern und Menschen, tritt bei den Probanden im Gegensatz zu griechischen Schülern (Prinou 2008) nicht auf. Für die Entwicklungsgeschichte des Menschen akzeptieren die Schüler, annähernd so wie ältere deutsche Schüler (RETZLAFF-FÜRST & URAHNE, 2009) eine evolutive Entwicklung.

9.1.2 *Verständnis der Schüler von Evolution und Vorstellungen zu Evolutionsmechanismen im Hinblick auf den Anpassungsprozess*

Das Verstehen der Schüler ist ohne Unterricht zu Evolutionsmechanismen relativ hoch und liegt im unteren als moderat klassifizierten Bereich. Das Verständnis von Evolution verändert sich bis zum Ende der Sekundarstufe I kaum, hier weisen Schüler ebenfalls ein mittleres Verständnis der Evolution auf (LAMMERT, 2012).

Den evolutionsbiologisch richtigen Antworten stimmten die Schüler in einem Bereich von 26% bis 70% zu, was darauf hindeutet, dass eine Kontextabhängigkeit beim korrekten Antworten vorliegt. So ist ein Verständnis der Veränderung der Körperfärbung bei einem Säugetierbeispiel stärker ausgeprägt als bei einem Insektenbeispiel.

Die Schüler verwenden in offenen Fragen in unterschiedlichen Kontexten sowohl die Vorstellung einer „graduell typologischen“ Anpassung als auch im Gegensatz dazu das Konzept „konstanter Erbanlagen“. Hierbei ist die Veränderung einer Art für die Schüler leichter zu erklären als die Entstehung einer Art. Dies belegt die von DEADMAN & KELLY (1978) angeführten Schwierigkeiten von Schülern dieser Altersstufe mit dem Verständnis von Wahrscheinlichkeit und Genetik und die von BAALMANN ET AL. (2005) postulierte Bereichsspezifität der Denkfiguren im Zusammenhang mit Genetik und Evolution auch für jüngere Schüler.

Die Schüler zeigen ebenfalls bei allgemeinen Fragen zur Veränderung von Arten ohne spezifischen Kontext ein inkonsistentes Antwortverhalten. Dies liegt möglicherweise an der nicht eindeutigen Vorstellung für die Ursache der Veränderungen von Arten. Die Notwendigkeit zum Überleben, als Zwang formuliert, wird von vielen angenommen und ist anscheinend den Schülern eine hinreichende Erklärung.

Es konnte in dieser Untersuchung gezeigt werden, dass sich alternative Vorstellungen ebenfalls in Abhängigkeit vom Aufgabenkontext unterscheiden. Die Kontextabhängigkeit evolutionärer Erklärungen der Schüler steht im Einklang

mit den Ergebnissen von ENGEL CLOUGH & WOOD-ROBINSON (1985), KAMPOURAKIS & ZOGZA (2008) und HA ET AL. (2012). Finalistische Vorstellungen sind häufig vertreten, es überwiegt die Vorstellung einer aktiven Anpassung oder Erklärungsansätze automatischer bzw. anthropomorpher Natur. Finalistische Vorstellungen treten auch kombiniert auf und sind häufiger als lamarckistische Vorstellungen vertreten. Als alternative Vorstellungen zur Entstehung der Angepasstheit treten in den offenen Fragen am häufigsten ein Anpassungszwang und die Angabe einer „finalistischen Tarnung“ auf. In den schriftlichen Erklärungen weist die Verwendung von Anpassungsnotwendigkeit, Anpassungswille und Anpassungszwang auf eine vorwiegend finalistische Vorstellung der Lernenden hin. Dies stimmt mit dem Ergebnis von SOUTHERLAND ET AL. (2001a) überein, die teleologische Erklärungen als vorherrschend bei Schülern unterschiedlicher Altersstufen identifizierten.

Die Kontextabhängigkeit der Erklärungen der Artveränderungen zeigt sich ebenfalls in den Interviews. Im Falle der Rekonstruktion eines realen Beispiels treten neben reinen Beschreibungen finalistische Vorstellungen einer graduellen, individuellen Anpassung, nur in geringerem Umfang hingegen lamarckistische Vorstellungen auf. Hierbei finden sich selten aus Alternativkonzepten und Schlüsselkonzepten gemischte, „synthetische“ Erklärungen. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit den von EVANS (2000) für amerikanische Schüler im Alter von zehn bis zwölf Jahren angegebenen exklusiven, nicht gemischten Vorstellungen, die denen Erwachsener entsprechen.

Möglicherweise legt die Rekonstruktion einer gegebenen Angepasstheit die spontane Konstruktion finalistischer Erklärungen nahe. Bei einem fiktiven Kontext und der Spekulation über eine mögliche zukünftige Artveränderung aufgrund von Umweltänderungen werden Konzepte, die auf konstante Erbanlagen und Variationslosigkeit fußen, zur Erklärung verwendet.

Eine Kontextabhängigkeit, bei der Schüler unterschiedliche Erklärungen für dasselbe Phänomen geben, tritt ebenfalls bei griechischen Schülern auf (KAMPOURAKIS & ZOGZA, 2008), wobei teleologische Erklärungen mit sinkender Information in der Aufgabe zunehmen. Die zentrale Tendenz von Grundschulern, Phänomene teleologisch zu erklären (KELEMEN, 2011), bleibt offensichtlich trotz zunehmenden Alters auch in weiterführenden Schulformen erhalten, da diese intentionalen und finalen Vorstellungen nach der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens verkörperte Vorstellungen darstellen, welche aus Erfahrungen in der frühen Kindheit entspringen (BAALMANN ET AL., 2004)

Ein typologisches Artkonzept in Kontexten führt, neben fehlenden Vorstellungen über die Ursache von Variation, auch dazu, dass häufig ein Aussterben statt einer Artveränderung in diesen Kontexten angenommen wird.

Die Einzelfallanalysen der Interviews zeigen ebenfalls, dass die Schüler von aus Umweltänderungen resultierenden Zwängen, Zielen oder wahrgenommenen Notwendigkeiten als Ursache für eine graduelle Artveränderung ausgehen. Die vorunterrichtlichen Erklärungen des Anpassungsprozesses sind nicht einheitlich und werden anscheinend spontan durch Wissenstransfer und Alltagserfahrungen generiert. Der Weg der Anpassung wird häufig durch lamarckistische Konzepte erklärt, so dass eine Kombination von lamarckistischen Weg- und finalistischen Ziel-Vorstellungen unter Verwendung eines „Weg-Ziel-Schemas“ auftritt, die bei der quantitativen Erhebung aufgrund des geschlossenen Aufgabenformats nicht festgestellt werden kann. Dies entspricht einer Vorstellung von Evolution als Reisen nach einem „Weg-Ziel-Schema“, welches von GROSS & GROPENGIESSER (2008) ebenfalls bei älteren deutschen Schülern identifiziert wurde. Außerdem treten Unterschiede in Bezug auf den Zeitraum als Kontext auf. In einem kurzen Zeitraum ist die Vorstellung einer Artkonstanz vorhanden, in einem langen Zeitraum ist hingegen die Vorstellung einer graduellen, typologischen Artveränderung durch eine individuelle Veränderung vertreten.

Die geringe Häufigkeit „synthetischer“ Vorstellungen deutet darauf hin, dass die vorunterrichtlichen Vorstellungen der Schüler entweder aus alternativen Konzepten bestehende Rahmengerüste darstellen, oder aus einzelnen „p-prims“ als Wissenselementen bestehen. Auch Einzelfallanalysen zeigen überwiegend divergierende Vorstellungen der Schüler. Zusätzlich deuten die Unsicherheit und die Angabe der Schüler, zu Phänomenen nichts zu wissen, eher auf spontan generierte Erklärungen als auf verwurzelte Konzepte hin. Dieses Ergebnis entspricht dem von SOUTHERLAND ET AL. (2001a). Diese haben ebenfalls Unsicherheit und Instabilität von Erklärungen in Interviews als Hinweis auf das Vorhandensein von „p-prims“ als einzelne unverbundene Wissenselemente interpretiert.

Die Ergebnisse der Interviews zeigen, dass die Lernenden keine Vorstellung über die Ursachen von Variation haben. Allerdings lehnen sie auch ohne Unterricht zur Genetik, die Vererbung erworbener Merkmale größtenteils, vermutlich aufgrund von Alltagserfahrungen, ab. Die Ablehnung ist bei für die Schüler offensichtlich aktiv erworbenen Merkmalen größer, als wenn diese durch die Umwelt induziert sind. Es werden unterschiedliche Begründungen für Kreuzbarkeit, häufig wird eine Ähnlichkeit angeführt, verwendet. Schüler haben Schwierigkeiten mit dem Artkonzept, allerdings wird eine artfremde Kreuzung nur in geringem Umfang als Möglichkeit zur Bildung von Arten als Erklärung herangezogen.

Die Ablehnung der Vererbung erworbener Merkmale und das unzureichende Artkonzept weisen Alters- und Gendereffekte auf. Diese sind bei den etwas

älteren Schülern der sechsten Klassenstufe bzw. Mädchen stärker als bei jüngeren bzw. männlichen Probanden.

Das Verstehen von Evolution steht zwar in einem positiven Zusammenhang mit der Ablehnung erworbener Merkmale, aber in keinem Zusammenhang mit Vorstellungen zum Artkonzept.

9.1.3 *Entwicklung des Verständnisses der Evolution bei Schülern zu Beginn der Sekundarstufe I durch Unterricht zur Selektionstheorie*

Es konnte gezeigt werden, dass sich durch Unterricht zur Selektionstheorie das Verständnis der Schüler in Richtung eines fachlich angemessenen entwickelt. Es liegen bisher nur wenige vergleichbare Ergebnisse aus Feldstudien, und dann auch nur für ältere Probanden, im Prä-Posttest-Design vor. Ebenfalls einen Anstieg des Verständnisses durch eine Intervention belegen CAVALL & MCCALL (2008), LAWSON & WORSNOP (1992) sowie BISHOP & ANDERSON (1990) im Gegensatz zu SPINDLER & DOHERTY (2009), die keine Veränderung messen konnten.

Die Häufigkeit darwinischer Antworten nimmt durch die Unterrichtsintervention zu, wobei der Faktor „Intervention“ bei der Versuchsgruppe 43% der Varianz erklärt. Die Schüler stimmten nach dem Unterricht in einem Bereich von 34,8% bis 84,5% der evolutionsbiologisch richtigen Antwort zu. Das Verstehen von Evolution liegt im oberen moderaten Bereich und unterscheidet sich signifikant von der Kontrollgruppe. Dieser Effekt ist als groß einzuordnen.

Die Zunahme im Verstehen von Evolutionsmechanismen ist bei jüngeren Schülern und männlichen Lernenden größer als bei älteren oder weiblichen Probanden, wodurch im Nachtest weder ein Altersunterschied noch ein Gendereffekt in Bezug auf das Verständnis auftritt. Nach dem Unterricht steht das Verstehen von Evolution in signifikantem Zusammenhang mit allen untersuchten Konstrukten.

Die Zunahme an darwinischen Vorstellungen zeigt sich ebenfalls durch die gestiegene Verwendung von Schlüsselkonzepten in den Ergebnissen der Interviews. Die Schüler berücksichtigen vorhandene Variation und beziehen sich in ihren Erklärungen der Anpasstheit auf selektive Konzepte.

Die quantitativen Ergebnisse in Bezug auf eine allgemeine Veränderung von Arten zeigen eine Zunahme an fachlich angemessenen Antworten aufgrund von Variation und Selektion sowie eine Abnahme finalistischer Erklärungen. Allerdings wird einer Veränderung aufgrund eines Zwanges häufig zugestimmt. Die Auswirkung von Mutationen wird im Vergleich zum Vortest weniger negativ bewertet. Die schon vor dem Unterricht hohe Ablehnung der Vererbung erworbener Merkmale nimmt in der Versuchsgruppe moderat zu. Vor allem

die Ablehnung der direkten umweltinduzierten Merkmalsänderung verändert sich, wie das Beispiel der durch die Umwelt induzierten Veränderung beim Menschen zeigt.

Finalistische Vorstellungen, z.B. die Vorstellung eines Überlebenszwanges, werden durch den Unterricht reduziert. Allerdings ist das Ausmaß der Änderung vom Aufgabenkontext abhängig. Lamarckistische Vorstellungen treten im Kontext der Anpassungen, wie auch die gesteigerte Ablehnung erworbener Merkmale und die Erklärungen der Artveränderungen in den Interviews zeigen, in den Hintergrund. Insgesamt werden nach dem Unterricht weniger finalistische und lamarckistische Erklärungen gewählt, wenn eine fachlich angemessene Alternative, wie es bei dem geschlossenen Aufgabenformat der Fall ist, gegeben ist.

Im Gegensatz zu JOHANNSEN & KRÜGER (2005) und LAMMERT (2012) kann in dieser Studie eine erfolgreiche Verringerung finalistischer Vorstellungen durch den Unterricht belegt werden. Im Gegensatz zum Regelunterricht trägt die konzipierte Unterrichtseinheit zumindest bei Schülern zu Beginn der Sekundarstufe zu einem besseren Verständnis der Evolution bei.

Die Einzelfallanalysen zeigen, dass nach dem Unterricht fachlich angemessenere Konzepte zur Selektion an die Stelle des Konzeptes einer erworbenen Merkmalsänderung treten. Dies erklärt die Abnahme vor allem lamarckistischer Erklärungen durch den Unterricht, wobei zu berücksichtigen ist, dass nicht alle Kontexte die Verwendung lamarckistischer Konzepten ermöglichen.

Die Erklärungen der Schüler in der offenen Aufgabe sind nach dem Unterricht differenzierter geworden und enthalten vermehrt Schlüsselkonzepte wie „selektives Überleben“, „selektive Fortpflanzung“, „Vorteile von Merkmalsvarianten“ bzw. „Angaben zur Variation“. Es treten ebenso wie vor dem Unterricht kaum schriftliche Erklärungen mit synthetischen Konzepten auf. Die Erklärungen der Schüler enthalten überwiegend entweder nur fachlich korrekte oder nur alternative Konzepte. Das Konzept selektiven Überlebens wird häufiger als selektive Fortpflanzung verwendet. Möglicherweise ist das erste Konzept intuitiver und einfacher für die jüngeren Lernenden erfassbar. NEHM & SCHONFELD (2008) ermittelten ebenfalls als häufigstes Schlüsselkonzept besseres Überleben und mehr Nachwuchs einiger Phänotypen.

Die Beantwortung der Aufgaben weist deutlich darauf hin, dass die Schüler das Prinzip der Anpassung auf neue Kontexte transferieren können, allerdings ist auch nach dem Unterricht z.T. eine zielgerichtete Vorstellung vertreten. Alternative Vorstellungen werden nach dem Unterricht, im Gegensatz zu darwinischen Vorstellungen, in den meisten Fällen nicht konsistent verwendet.

Der Anteil von Schülern mit konsistent darwinischen Vorstellungen steigt durch den Unterricht deutlich an. Für diese Schüler ist die fachlich angemessene

sene Vorstellung ein allgemeines Erklärungsprinzip geworden. Die Schüler aus den Einzelfallanalysen weisen ebenfalls einheitlichere Erklärungen auf, allerdings stellt die Selektion noch kein allgemeines Erklärungsprinzip dar, sondern wird kontextabhängig zur Erklärung des Anpassungsprozesses verwendet.

Die Ergebnisse sind Indiz für einen Konzeptwechsel im Sinne einer conceptual reconstruction.

Das Ausmaß selektionstheoretischer Erklärungen ist nach dem Unterricht ebenfalls kontextabhängig. Die Lernenden sind mit konkretem Material und Information über die Randbedingungen bei der Rekonstruktion konkreter, zeitlich eingegrenzter und für sie zugänglichen Beispiele, eher in der Lage, Schlüsselkonzepte zur Erklärung der Artveränderung zu integrieren und zu transferieren als ohne diese Information oder bei für sie nicht zugänglichen Beispielen wie z.B. Bakterien. Bei Beispielen, in denen kein Wissen transferiert werden kann, werden nach wie vor Erklärungen anhand von Alltagserfahrungen generiert.

Die Rolle der Zufälligkeit bei der Vererbung und der Charakter der Mutationen als Ursache für Variation werden durch die Unterrichtsintervention besser verstanden und bieten einen Ausgangspunkt für Erklärungen mit Konzepten zur Selektion. Das Konzept konstanter Erbanlagen wird durch die Konzepte der Variation durch Mutation und Vererbung abgelöst. Die Lernenden haben eine Vorstellung davon, dass vorhandene Variation eine Artveränderung erst ermöglicht. Das Auftreten der Konzepte „dichotome Variation“ und „variationsloses Anpassungsergebnis“ zeigt, dass ein fachlich angemessenes Variationsverständnis nicht vollständig erreicht werden konnte.

Die Analyse der Erklärungen zeigt, dass das Auftreten von Variation und die Auswirkung in Bezug auf Selektion nicht als getrennte Prozesse verstanden werden. Variation wird für die Schüler durch Mutation erklärbar und ist für sie die Ursache einzelner Abweichler. Das Konzept einer umweltinduzierten Mutation weist aber darauf hin, dass die Möglichkeit einer sprunghaften Veränderung noch nicht vollständig in die Vorstellungen der Schüler integriert ist. Die probabilistische Natur von Mutationen und das von den Umweltbedingungen unabhängige Auftreten von Mutationen sind für die Lernenden schwer zu verstehen. Konzepte einer dichotomen Variation und typologische Artvorstellungen, die in dem Konzept des „variationslosen Anpassungsergebnisses“ deutlich werden, behindern die Entwicklung eines Populationsdenkens.

Variationsvorstellungen treten in den Interviews in Kombination mit gradueller Anpassung auf. Die finalistische Vorstellung einer Zielorientierung tritt zwar nach dem Unterricht seltener auf, allerdings deuten die Konzepte „graduelle Anpassung“ und „variationsloses Anpassungsergebnis“ darauf hin, dass der Ziel-Aspekt zum Teil noch Bestandteil der Vorstellung der Schüler ist.

Der durchgeführte Unterricht zur Selektionstheorie bewirkte bei den Schülern eine positive Veränderung der Einstellung zur Evolution. Die Akzeptanz der evolutiven Veränderung ist durch den Unterricht angestiegen. Die Konstanz der Arten sowie Schöpfungsvorstellungen und eine grundlegende Sinnhaftigkeit von Lebewesen werden nach dem Unterricht vermehrt abgelehnt. Die Entwicklung des Verständnisses dafür, wie die Veränderung von Arten erfolgt, wirkt sich nach den Ergebnissen positiv auf die Akzeptanz einer Artveränderung und die Ablehnung einer Schöpfung aus. Eine sehr hohe Akzeptanz ist nach dem Unterricht in der Versuchsgruppe häufiger vertreten. Sie liegt im mittleren Bereich der Kategorie für eine hohe Akzeptanz der Evolution. Die positive Einstellungsänderung durch den Unterricht ist signifikant und stellt einen großen Effekt dar.

Es tritt ein moderat positiver Zusammenhang zwischen dem Verstehen der Evolution und der Einstellung zur Evolution durch die Unterrichtsintervention auf, obwohl die Akzeptanz nicht im Unterricht thematisiert wurde. Der Anteil geklärter Varianz der Einstellungen zur Evolution ist durch den Unterricht deutlich angestiegen und beträgt 19%. Den größten Beitrag der Varianzerklärung leistet neben dem negativen Beitrag der Gläubigkeit bei Muslimen das Verstehen der Evolution. Der Anteil erklärter Varianz des Verstehens der Evolution beträgt nach der Unterrichtsintervention 27%, er ist ebenfalls durch den Unterricht deutlich angestiegen. Die Unterrichtsintervention leistet im erstellten Modell den größten Beitrag zum Verstehen der Evolution, wirkt sich aber nicht direkt auf die Einstellung zur Evolution aus. Die gestiegene „Ablehnung erworbener Merkmale“ und eine fachliche Vorstellung zum Artkonzept tragen ebenfalls zum Verstehen der Evolution nach dem Unterricht bei. Ein Zusammenhang zwischen der Einstellung und dem Verstehen von Evolution findet sich in der Kontrollgruppe nicht. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit den Ergebnissen von SOUTHERLAND & SINATRA (2005), GREGORY & ELLIS (2009) und LAMMERT (2012) und unterstützt die Folgerung, dass erst ab einem gewissen Ausmaß des Verständnisses sich das Verstehen von Evolution auf die Einstellungen zur Evolution auswirkt.

Die Ergebnisse von Studien in Bezug auf einen positiven Zusammenhang zwischen der Akzeptanz der Evolution und dem Verstehen der Evolutionstheorie sind widersprüchlich. Während verschiedene Studien einen signifikanten Zusammenhang unterschiedlichen Ausmaßes belegen (u.a. GRAF & SORAN (2011), PAPADOPOULOU ET AL. (2011), PEKER ET AL. (2010), GREGORY & ELLIS (2009), DENIZ & DONNELLY (2011), TRANI (2004), RUTLEDGE & WARDEN (2000)), können andere Studien diesen Zusammenhang nicht feststellen (z.B. DENIZ & DONNELLY (2011), AKYOL ET AL. (2010), CAVALL & MCCALL (2008), SOUTHERLAND & SINATRA (2005)). Allerdings wurden diese Studien an unterschiedli-

chen, meist älteren, Probanden durchgeführt und unterschiedliche Messinstrumenten verwendet. Ergebnisse von Interventionsstudien liegen kaum vor. Eine Ausnahme bildet hier die Untersuchung von SHTULMAN & SCHULZ (2008), bei der sowohl vor als auch nach dem Treatment eine positive Korrelation zwischen Verständnis und Akzeptanz auftrat und nur diejenigen einen Lernerfolg aufwiesen, die auch eine höhere Akzeptanz nach dem Treatment zeigten. Der Meinung von Shtulmann und Schulz, dass alleine das Verständnis der Evolution, auch wenn viele andere Faktoren die Akzeptanz beeinflussen, durch Unterricht beeinflussbar sei wird an dieser Stelle durch die Autorin zugestimmt. Sie führen nicht gefundene Zusammenhänge zwischen beiden Konstrukten auf Schwächen der Erhebungsmethode zurück.

9.2 REFLEKTION DER UNTERRICHTSINTERVENTION UND DER ERHEBUNG SOWIE KONSEQUENZEN FÜR DEN UNTERRICHT

9.2.1 *Kritischer Rückblick auf Erhebungsmethoden und Messinstrumente*

In Anbetracht des Fehlens erprobter Messinstrumente für jüngere Lernende zu dem Themenbereich Evolution war es für diese Studie notwendig, selbige selbst zusammen zu stellen bzw. neu zu konzipieren. Als gravierendstes Problem hat sich hierbei eine für die Probanden verständliche Itemformulierung herausgestellt. Aus diesem Grund wies das Messinstrument der quantitativen Erhebung eine nicht sehr hohe Reliabilität auf.

Vor allem bei abstrakteren Formulierungen, wie zur allgemeinen Veränderung von Arten, weisen die Items ein nicht einheitliches Antwortmuster auf. Dahinter stehen wahrscheinlich Verständnisprobleme. Es stellt sich somit die Frage, ob diese Items für jüngere Probanden geeignet sind und ob nicht ein konkreter Kontext sinnvoll ist. Aber auch hierbei treten Probleme auf (siehe oben).

Die Indikatoren zum Artkonzept sind möglicherweise in dieser Zusammenstellung nicht zur Erhebung geeignet, die Ergebnisse weisen auf einen Deckeneffekt hin. Außerdem zeigen die Antwortmuster, dass obwohl diese Items meist fachlich richtig beantwortet wurden, das Biologische Artkonzept nicht angemessen verstanden wurde. Dieses ist relativ abstrakt und schwierig für die Altersstufe. Es stellt sich die Frage, ob eine Thematisierung notwendig ist, da artübergreifende Kreuzungen in geringem Maße zur Erklärung verwendet werden.

Die Selbsteinschätzung des Interesses an Biologie hat sich als wenig aussagekräftig erwiesen. Hier ist eine Erhebung über ein eigenes Konstrukt erwägenswert.

An dieser Stelle wird aus oben angeführten Gründen der Forderung von LAMMERT (2012) ausdrücklich zugestimmt, wonach die (Weiter)-Entwicklung und Erprobung von Messinstrumenten einen Schwerpunkt künftiger Forschung darstellen sollten. Diese würden über verschiedene Altersstufen der Sekundarstufe I vergleichende Erhebungen ermöglichen.

Geschlossene Aufgaben mit einer korrekten Antwortalternative sind unter dem Aspekt möglicher synthetischer Vorstellungen als einziges Erhebungsinstrument nicht sinnvoll, da hier eine Entscheidung für eine Antwortalternative erzwungen wird. Inkonsistentes Antwortverhalten kann auf inkonsistente Vorstellungen, Kontextabhängigkeiten der Erklärungen oder auf die ungünstige Formulierung der Distraktoren zurückführbar sein. Dabei ist vor allem die Prüfung möglicher inkonsistenter Vorstellungen im Hinblick auf die Klärung der Struktur vorunterrichtlicher Vorstellungen interessant. Zur Klärung sind vor allem die Ergebnisse qualitativer Analysen, auch wenn die Ergebnisse der quantitativen und qualitativen Erhebungsmethoden nicht direkt miteinander vergleichbar sind, heranzuziehen. Die Kontextabhängigkeit der Erklärungen der Angepasstheit und die Konsistenz vorunterrichtlicher Vorstellungen sollte weitergehend in quantitativen Studien untersucht und berücksichtigt werden.

9.2.2 *Reflektion des Unterrichts sowie Konsequenzen und Leitlinien für Unterricht zur Selektionstheorie*

Das zentrale Thema der Unterrichtsintervention war in den Augen der beteiligten Schüler die Veränderung von Lebewesen. Allerdings wurde Anpassung nicht als Prozess beschrieben, sondern als Resultat angegeben. Dies entspricht einer auch nach dem Unterricht vorhandenen indirekten Ziel-Vorstellung, die möglicherweise eine Grenze der Lernfähigkeiten bei vielen Schülern dieser Altersstufe darstellt. Die Ergebnisse schließen die Möglichkeit nicht aus, dass Züchtung und natürliche Anpassung nicht als getrennte Prozesse verstanden werden. Ein statisches, vorgegebenes Zuchtziel entspricht den intuitiven finalistischen Vorstellungen und kann durch die Thematisierung der künstlichen Selektion verstärkt werden. Trotzdem sollte Unterricht zur Anpassung durch Selektion, auch nach den in Kapitel 5 auf Seite 49 angegebenen fachdidaktischen Überlungen, gerade bei jüngeren Lernenden zuerst die Züchtung thematisieren. Allerdings sollten hierbei in Zukunft finalistische Vorstellungen bei der Konzeption von Unterricht stärker berücksichtigt und adressiert werden. Weiterhin sollten die Prozesse der künstlichen und natürlichen Selektion mit Herausstellung der Gemeinsamkeiten und der Unterschiede noch stärker einander gegenüber gestellt werden. Dies war in der Konzeption durch das Concept Map am Ende der Unterrichtsintervention vorgesehen, möglicherweise ist

hier aber in manchen Klassen eine Vertiefung aufgrund unterrichtlicher Zeitprobleme nicht realisiert worden. Ein Hinweis hierfür ist die Tatsache, dass die Schüler die Relationen zwischen den Begriffen im Interview nicht reproduzieren konnten.

Die gewählte Unterrichtsstrategie, im Gegensatz zu GIFFHORN & LANGLET (2006), ohne kognitiven Konflikt und Thematisierung lamarckistischer Erklärungen hat sich als erfolgreich erwiesen. Lamarckistische Vorstellungen wurden nicht bestätigt und traten nach dem Unterricht, im Gegensatz zu Zabels (2009) Untersuchung, nicht in vermehrtem Umfang auf.

Der in anderen Studien im Hinblick auf die Entwicklung eines Verständnisses von Selektion für ältere Probanden belegte positive Einsatz eines Simulationsspiels (BEARDSLEY 2004, GERAEDTS & BOERSMA 2006) oder einer interaktiven Computersimulation (ABRAHAM ET AL., 2009) konnte in dieser Studie auch für jüngere Schüler bestätigt werden. Die Computersimulation „EvoDots“ ist trotz der abstrakten Darstellung für die Lernenden verständlich und geeignet, die Bedeutung von Variation und Selektion für die Schüler erfahrbar zu machen. Es sollte in künftigem Unterricht überprüft werden, ob die thematisierten Voraussetzungen für die Veränderung von Arten ebenfalls mit der Simulation verstehbar sind. Die Entwicklung von Simulationen mit Bezug zu real existierenden Organismen, wie z.B. Käfer oder Schnecken, mit denen auch das Auftreten von Mutationen verdeutlicht werden kann, wäre an dieser Stelle wünschenswert. Hierbei sollte vor allem die Population auch im angepassten Zustand Variationen aufweisen, um somit vorhandenen typologischen Vorstellungen entgegen zu wirken und ein Variationsverständnis zu entwickeln.

Die Rekonstruktion realer Beispiele als Kontext in Aufgaben, die Angabe von Randbedingungen und konkretes Material, wie z.B. Bildkarten, erleichtern den Schülern einen Zugang, um selektionstheoretische Erklärungen zu formulieren. Auf der anderen Seite kann gerade die Angabe einer Randbedingung als Ende eines Anpassungsprozesses verstanden werden und die Konstruktion finalistischer Vorstellungen begünstigen. Im Unterricht, aber auch in der Erhebung, sollten Beispiele gewählt werden, welche nicht wie z.B. der Birkenspanner die Vorstellung einer dichotomen Variation nahe legen und möglicherweise die Entwicklung eines angemessenen Variationsverständnisses erschweren. Aus diesen Gründen sollten viele unterschiedliche Beispiele mit unterschiedlichem und steigendem Anforderungsniveau zur selektionstheoretischen Erklärung von Anpassung gewählt werden, damit die darwinische eine generalisierte Erklärung für die Lernenden bildet. Den Kontext sollten rekonstruierte, nicht fiktive Beispiele der Entwicklung von Anpasstheit in kürzeren Zeiträumen bilden, wobei konkrete Angaben von Rahmenbedingungen und Material die angemessene Vorstellungsentwicklung erleichtern können.

Es hat sich gezeigt, dass die Schüler die Benennung einer Entwicklung als ausreichende Erklärung aufgefasst haben. Aus diesem Grunde sollte im Unterricht die Trennung von Beschreibungen und Erklärungen deutlich gemacht werden.

Die frühe Einführung des Begriffs „Mutation“ ohne Thematisierung genetischer Grundlagen wird für diese Altersstufe als sinnvoll erachtet, da hierzu kaum alternative Konzepte existieren und das Auftreten von Variation hierdurch für die Lernenden erklärbar wird. Die Beachtung von vorhandener Variation ist nach WALLIN (2004) ein Schlüsselkonzept für die Konstruktion einer wissenschaftlichen Vorstellung von Evolution. Es treten Verständnisprobleme aufgrund des zufälligen Charakters von Mutationen auf, wobei allerdings die Frage noch nicht beantwortet ist, ob diese nicht auf ein altersunabhängiges, generelles Verständnisproblem probabilistischer Konzepte zurückzuführen sind.

Die Ergebnisse belegen, dass Unterricht zur Anpassung durch Selektion auch in der Orientierungsstufe zur Entwicklung einer fachlich angemesseneren Vorstellung und zur Reduktion von alternativen Vorstellungen beitragen kann. Durch das verbesserte Verständnis der Evolutionsmechanismen wird außerdem die Akzeptanz der Evolution gesteigert.

Die frühe Thematisierung der Selektionstheorie bildet einen Grundstein zur Entwicklung kontinuierlicher Lernwege sowie die Möglichkeit zu einer angemessenen Entwicklung von Schülervorstellungen zur Evolutionstheorie. Sie sollte aus diesem Grunde schon zu Beginn der Sekundarstufe I Thema des Biologieunterrichts sein und in höheren Jahrgangsstufen im Sinne des Spiralcurriculums erneut aufgegriffen und vertieft werden.

LITERATURVERZEICHNIS

- ABRAHAM, J., MEIR, E., PERRY, J., HERRON, J., MARUCA, S. & STAL, D. (2009): *Assessing undergraduate student misconceptions about natural selection with an interactive simulated laboratory*. In: *Evolution Education Outreach*, **2**, 3: 393–404.
- ABRIE, A. (2010): *Student teachers' attitudes towards and willingness to teach evolution in a changing South African environment*. In: *Journal of Biological Education*, **44**, 3: 102–107.
- ADAMINA, M. & MÖLLER, K. (2010): *Zugänge zum naturwissenschaftlichen Lernen öffnen*. In: LABUDDE, P. [Hrsg.]: *Fachdidaktik Naturwissenschaft*. 1. - 9. Schuljahr. Haupt Verlag, Stuttgart.
- AJZEN, I. (2005): *Attitudes, personality, and behavior*. 2. Aufl. Milton-Keynes, England: Open University Press (McGraw-Hill).
- AKYOL, G., TERKAYA, C. & SUNGUR, S. (2010): *The contribution of understandings of evolutionary theory and nature of science to pre-service science teachers' acceptance of evolutionary theory*. In: *Procedia Social and Behavioral Science*, **9**: 1889–1893.
- ASTERHAN, C. S. C. & SCHWARZ, B. B. (2007): *The effects of monological and dialogical argumentation on concept learning in evolutionary theory*. In: *Journal of Educational Psychology*, **99**, 3: 626–639.
- ATES, R. (2009): *Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I zur Evolution*. Universität Dortmund, unveröffentlichte Staatsexamensarbeit.
- ATHANASIOU, K. & PAPADOPOULOU, P. (2011): *Conceptual Ecology of the Evolution Acceptance among Greek Education Students: Knowledge, religious practices and social influences*. In: *Journal of Educational Psychology*, **99**: 626–639.
- BAALMANN, W., FRERICH, V. & KATTMANN, U. (2005): *Genetik im Kontext von Evolution – oder: Warum die Gorillas schwarz wurden*. In: *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, **58**, 7: 420–427.
- BAALMANN, W., FRERICH, V., WEITZEL, H., GROPPENGIESSER, H. & KATTMANN, U. (2004): *Schülervorstellungen zu Prozessen der Anpassung - Ergebnisse einer Interviewstudie im Rahmen der Didaktischen Rekonstruktion*. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, **10**: 7–28.

- BAALMANN, W. & KATTMANN, U. (2000): *Genetik im Kontext von Evolution*. In: Unterricht Biologie, **24**, 260: 32–35.
- BANET, E. & AYUSO, G. (2003): *Teaching of biological inheritance and evolution of living beings in secondary school*. In: International Journal of Science Education, **25**: 373–407.
- BAUMGARTNER, E. & DUNCAN, K. (2009): *Evolution of students' ideas about natural selection through a constructivist framework*. In: The American Biology Teacher, **71**, 4: 218–227.
- BEARDSLEY, P. (2004): *Middle School Student Learning in Evolution: Are Current Standards Achievable?* In: The American Biology Teacher, **66**, 9: 604–612.
- BEHREND, H. & REISKA, P. (2001): *Abwechslung im Naturwissenschaftsunterricht mit Concept Mapping*. In: Plus ucis, **1**: 9–12.
- BERTI, A. E., TONEATTI, L. & ROSATI, V. (2010): *Children's Conceptions About the Origin of Species: A Study of Italian Children's Conceptions With and Without Instruction*. In: Journal of the Learning Sciences, **19**, 4: 506–538.
- BISHOP, A. B. & ANDERSON, C. W. (1990): *Student conceptions of natural selection and its role in evolution*. In: Journal of Research in Science Teaching, **27**, 5: 415–427.
- BM MECKLENBURG-VORPOMMERN MINISTERIUM FÜR BILDUNG, WISSENSCHAFT UND KULTUR MECKLENBURG – VORPOMMERN (2010): *Rahmenplan Biologie für die Jahrgangsstufen 5 und 6 an der Integrierten Gesamtschule sowie an der Regionalen Schule*. URL http://www.bildungsserver-mv.de/download/rahmenplaene/Biologie_OS_2010_Erprobungsfassung.pdf, zuletzt besucht am 27.11.2011.
- BM MECKLENBURG-VORPOMMERN MINISTERIUM FÜR BILDUNG, WISSENSCHAFT UND KULTUR MECKLENBURG – VORPOMMERN (2005): *Rahmenplan Gymnasium Integrierte Gesamtschule Jahrgangsstufen 7 - 10 Biologie*. URL http://www.bildungsserver-mv.de/download/rahmenplaene/rp_biologie_7-10-gym-2005.pdf, zuletzt besucht am 27.11.2011.
- BORTZ, J. & DÖRING, N. (2009): *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*. Springer Medizin Verlag, Heidelberg.
- BRITISH COUNCIL (o.J.): *Survival of the fittest game*. URL <http://www.britishcouncil.org/darwin-now-exhibition-survival-of-the-fittest-facilitators.pdf>, zuletzt besucht am 11.03.2012.

- BRUMBY, M. (1984): *Misconceptions about the Concept of Natural Selection by Medical Biology Students*. In: *Science Education*, **68**, 4: 493–503.
- BRUMBY, M. N. (1979): *Problems in Learning the Concept of Natural Selection*. In: *Journal of Biological Education*, **13**, 2: 119–122.
- BRUMBY, M. N. (1981): *The use of problem-solving in meaningful learning in biology*. In: *Research in Science Education*, **11**, 1: 103–110.
- BSB FREIE UND HANSESTADT HAMBURG BEHÖRDE FÜR SCHULE UND BERUFSBILDUNG (2011): *Bildungsplan Gymnasium Sekundarstufe I Biologie. Hamburg*. URL <http://www.hamburg.de/contentblob/2373254/data/biologie-gym-seki.pdf>, zuletzt besucht am 27.11.2011.
- BÜHNER, M. (2006): *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion*. Pearson Studium, München.
- BURTON, S. & DOBSON, C. (2009): *Spork and beans: Addressing evolutionary misconceptions*. In: *American Biology Teacher*, **71**, 2: 89–91.
- CAVALL, A. & MCCALL, D. (2008): *Seeing May Not Mean Believing: Examining Students Understanding and Beliefs in Evolution*. In: *The American Biology Teacher*, **70**, 9: 522–530.
- CHI, M., KRISTENSEN, A. & ROSCOE, R. (2010): *Misunderstanding emergent causal mechanism in natural selection*. In: ROSENGREN, S., BREM, S. & SINATRA, G. [Hrsg.]: *Evolution Challegens: Integrating Research and Practice in Teaching and Learning about Evolution*. Oxford University Press.
- CHI, M. T. H. (1992): *Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery in science*. In: GIERE, R. [Hrsg.]: *Cognitive Models of Science: Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, 129–186. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- CHRISTENSEN-DALSGAARD, J. & KANNEWORFF, M. (2009): *Evolution in Lego® : A Physical Simulation of Adaptation by Natural Selection*. In: *Evolution: Education and Outreach*, **2**, 3: 518–526.
- CUNNINGHAM, D. L. & WESCOTT, D. J. (2009): *Still more fancy and myth than fact in students' conceptions of evolution*. In: *Evolution: Education and Outreach*, **2**, 3: 505–517.
- DAWKINS, R. (2008): *Der blinde Uhrmacher. Warum die Erkenntnisse der Evolutionstheorie zeigen, daß das Universum nicht durch Design entstanden ist*. Dtv, München.

- DEADMAN, J. & KELLY, P. (1978): *What do secondary school boys understand about evolution and heredity before they are taught the topics?* In: Journal of Biological Education, **12**, 1: 7–15.
- DEMASTES, S. S. (1995): *Students' Conceptions of Natural Selection and Its Role in Evolution: Cases of Replication and Comparison.* In: Journal of Research in Science Teaching, **32**, 5: 535–550.
- DENIZ, H. & DONNELLY, L. (2011): *Preservice Secondary Science Teachers' Acceptance of Evolutionary Theory and Factors related to Acceptance.* In: Reports of the National Center for Science Education, **31**, 4.
- DENIZ, H., DONNELLY, L. A. & YILMAZ, I. (2008): *Exploring the factors related to acceptance of evolutionary theory among Turkish preservice biology teachers: Toward a more informative conceptual ecology for biological evolution.* In: Journal of Research in Science Teaching, **45**, 4: 420–443.
- DISSA, A., GILLESPIE, N. & ESTERLY, J. (2004): *Coherence versus fragmentation in the development of the concept of force.* In: Cognitive Science, **28**: 843–900.
- DISSA, A. A. (1988): *Knowledge in pieces.* In: FORMAN, G. & PUFALL, P. [Hrsg.]: *Constructivism in the computer age.* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- DISSA, A. A. (1993): *Toward an epistemology of physics.* In: Cognition and Instruction, **10**, 2: 105–225.
- DISSA, A. A. (2008): *A bird's eye view of "pieces" vs. "coherence" controversy.* In: VOSNIADOU, S. [Hrsg.]: *Handbook of conceptual change research.* Mahwah: Erlbaum.
- DOLE, J. A. & SINATRA, G. M. (1998): *The nature of naive explanations of natural selection.* In: Educational Psychologist, **33**, 2: 109–128.
- DOMINIK, S. (1999): *Modellversuch zum Thema Evolution. Die Optimierung biologischer Systeme als Prozess von Versuch und Irrtum.* In: Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht, **52**, 3: 174–177.
- DRESING, T. & PEHL, T. (o.J.): *f4 Transkriptionssoftware.* URL <http://www.audiotranskription.de/downloads.html>, zuletzt besucht am 19.03.2012.
- DÜBEL, J. & BAYRHUBER, H. (2007): *Gestaltung des Biologieunterrichts auf evolutionsbiologischer Grundlage.* In: Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht, **60**, 4: 229–234.

- DUIT, R. (2009): *Bibliography – STCSE. Students and Teachers Conceptions and Science Education*. URL <http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html>, zuletzt besucht am 15.09.2012.
- DYLLA, K. (1965): *Eine für die Schule geeigneter Modellversuch zum Nachweis verschiedener Selektionsprinzipien*. In: *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*, **18**: 168–174.
- EAGLY, A. & CHAIKEN, S. (1993): *The psychology of attitudes*. Fort Worth, TX, Harcourt Brace Jovanovich.
- EDER, E., TURIC, K., MILASOWSKY, N., VAN ADZIN, K. & HERGOVICH, A. (2011): *The Relationships Between Paranormal Belief, Creationism, Intelligent Design and Evolution at Secondary Schools in Vienna (Austria)*. In: *Science and Education*, **20**: 125–130.
- ENGEL CLOUGH, E. & WOOD-ROBINSON, C. (1985): *How Secondary Students Interpret Instances of Biological Adaptation*. In: *Journal of Biology Education*, **19**: 125–130.
- EVANS, E. M. (2001): *Cognitive and contextual factors in the emergence of diverse belief systems: Creation versus evolution*. In: *Cognitive Psychology*, **42**: 217–266.
- EVANS, M. E. (2000): *The emergence of beliefs about the origins of species in school-age children*. In: *Merrill-Palmer Quarterly: A Journal of Developmental Psychology*, **46**: 221–254.
- FELZMANN, D. (2006a): *Wie aus Wölfen Dackel wurden. Züchtung als Eingangstor zum Evolutionsunterricht*. In: *Praxis der Naturwissenschaften - Biologie in der Schule*, **55**, 6: 18–24.
- FELZMANN, D. (2006b): *"Der Käfer passt sich an". Zum Variationskonzept unter Individuen und Populationen*. In: *Praxis der Naturwissenschaften - Biologie in der Schule*, **55**, 6: 25–31.
- FERRARI, M. & CHI, M. (1998): *The nature of naive explanations of natural selection*. In: *International Journal of Science Education*.
- FIELD, A. (2009): *Discovering Statistics using SPSS*. SAGE Publications Ltd, London.
- FLANAGAN, J. & ROSEMAN, J. E. (2011): *Assessing Middle and High School Students Understanding of Evolution with Standards-Based Items*. URL http://www.project2061.org/publications/2061connections/2011/media/Flanagan-Roseman_NARST_2011.pdf, zuletzt besucht am 13.04.2012.

- FOWID (2005): *Evolution / Kreationismus*. URL http://fowid.de/fileadmin/datenarchiv/Evolution_Kreationismus_Deutschland_2005.pdf, zuletzt besucht am 07.09.2012.
- GABEL, T. (2009): *Keine Evolution in den Köpfen. Die Evolution der Maschinen und Computer könnte von den Prinzipien der Natur lernen*. In: *mundo*, **10**: 52–54.
- GERAEDTS, C. & BOERSMA, K. (2006): *Reinventing Natural Selection*. In: *International Journal of Science Education*, **28**, 8: 843–870.
- GIFFHORN, B. & LANGLET, J. (2006): *Einführung in die Selektionstheorie. So früh wie möglich*. In: *Praxis der Naturwissenschaften - Biologie in der Schule*, **55**, 6: 6–15.
- GOULD, S. J. (1999): *Illusion Fortschritt – die vielfältigen Wege der Evolution*. Fischer, Frankfurt /M.
- GRABE, S. (2005): *Die Vögel von Avisvaria*. In: *Unterricht Biologie*, **29**, 310: 30–31.
- GRAF, D. (1989): *Begriffslernen im Biologieunterricht der Sekundarstufe I - Empirische Untersuchungen und Häufigkeitsanalysen*. Peter Lang, Frankfurt am Main.
- GRAF, D. (2007): *Alle Biologie ist Evolutionsbiologie*. In: *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*, **60**, 4: 196–234.
- GRAF, D. (2008): *Kreationismus vor den Toren des Biologieunterrichts? – Einstellungen und Vorstellungen zur Evolution*. In: ANTWEILER, C., LAMMERS, C. & THIES, N. [Hrsg.]: *Die unerschöpfte Theorie*. Aschaffenburg: Alibri.
- GRAF, D. & HAMDORF, E. (2011): *Evolution: Verbreitete Fehlvorstellungen zu einem zentralen Thema*. In: DREESMANN, D., GRAF, D. & WITTE, K. [Hrsg.]: *Evolutionsbiologie: Moderne Themen für den Unterricht*, 25–41. Springer Akademischer Verlag, Heidelberg.
- GRAF, D. & SORAN, H. (2011): *Einstellung und Wissen von Lehramtsstudierenden zur Evolution – ein Vergleich zwischen Deutschland und der Türkei*. In: *Evolutions-theorie – Akzeptanz und Vermittlung im europäischen Vergleich*, 141–162. Springer, Berlin.
- GREGORY, T. & ELLIS, C. (2009): *Conceptions of evolution among science graduate students*. In: *BioScience*, **9**, 59: 792–799.
- GROPENGIESSER, H. (2008): *Qualitative Inhaltsanalyse in der fachdidaktischen Lehr-Lernforschung*. In: *Die Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse*, 172–189. Beltz, Weinheim und Basel.

- GROPENGIESSER, H. & KATTMANN, U. [Hrsg.] (2008): *Fachdidaktik Biologie*. Aulis Verlag Deubner, Köln.
- GROSS, J. & GROPENGIESSER, H. (2008): *Warum Humanevolution so schwierig zu verstehen ist*. In: *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik Band 3*, 105–121. Studienverlag, Innsbruck.
- HA, M., HAURY, D. L. & NEHM, R. (2012): *Feeling of certainty: Uncovering a missing link between knowledge and acceptance of evolution*. In: *Journal of Research in Science Teaching*, **49**, 1: 95–121.
- HALLDEN, O. (1988): *The evolution of species: Pupils' perspectives and school perspectives*. In: *International Journal of Science Education*, **10**: 541–552.
- HEDEGAARD, M. (1996): *How instruction influences children's concepts of evolution*. In: *Mind, Culture, and Activity*, **3**, 1: 11–24.
- HERRON, J. (2001): *EvoDots 1.0*. URL <http://faculty.washington.edu/herronjc/SoftwareFolder/EvoDots.html>, zuletzt besucht am 11.03.2012.
- HKM HESSISCHES KULTUSMINISTERIUM (2010): *Lehrplan Biologie Gymnasialer Bildungsgang Jahrgangsstufen 5G bis 9G und gymnasiale Oberstufe*. URL http://www.hessisches-kultusministerium.de/irj/servlet/prt/portal/prtroot/slimp.CMReader/HKM_15/HKM_Internet/med/bd1/bd1704b5-267f-121a-eb6d-f191921321b2,22222222-2222-2222-2222-222222222222,tru, zuletzt besucht am 27.11.2011.
- ILLNER, R. (2000): *Einfluss religiöser Schülervorstellungen auf die Akzeptanz der Evolutionstheorie*. Dissertation. URL <http://oops.uni-oldenburg.de/volltexte/2000/421/>, zuletzt besucht am 07.09.2012.
- INGRAM, E. & NELSON, C. (2006): *Relationship between Achievement and Students' Acceptance of Evolution or Creation in an Upper-Level Evolution Course*. In: *Journal of Research in Science Teaching*, **43**, 1: 7–24.
- IOANNIDES, C. & VOSNIADOU, S. (2002): *The changing meaning of force*. In: *Cognitive Science Quarterly*, **2**, 1: 5–62.
- JIMENEZ-ALEXANDRE, M. P. (1992): *Thinking about theories or thinking with theories? : a classroom study with natural selection*. In: *International Journal of Science Education*, **14**, 1: 51–61.
- JOHANNSEN, M. & KRÜGER, D. (2005): *Schülervorstellungen zur Evolution – eine quantitative Studie*. In: *IDB Münster – Ber. Inst. Didaktik der Biologie*, **14**: 23–48.

- KÄHLER, H. (1991): *Anpassung - Angepaßtheit*. In: Praxis der Naturwissenschaften - Biologie in der Schule, **40**, 7: 1–8.
- KAMPOURAKIS, K., PALAIOKRASSA, E., PAPADOPOULOU, M., PAVLIDI, V. & ARGYROPOULOU, M. (2012): *Children's intuitive teleology: shifting the focus of evolution education research*. In: Evolution Education and Outreach, **5**, 2: 279–291.
- KAMPOURAKIS, K. & ZOGZA, V. (2005): *Students' preconceptions about evolution: comments on the accuracy of characterization "Lamarckian" in connection with the history of evolutionary thought*. In: Teaching and communicating science: what the history, philosophy and sociology of science can contribute. History, Philosophy, and Science Teaching (IHPST) Conference.
- KAMPOURAKIS, K. & ZOGZA, V. (2008): *Students' intuitive explanations of the causes of homologies and adaptations*. In: Science and Education, **17**, 1: 27–47.
- KAMPOURAKIS, K. & ZOGZA, V. (2009): *Preliminary Evolutionary Explanations: A Basic Framework for Conceptual Change and Explanatory Coherence*. In: Science and Education, **18**, 10: 1313–1340.
- KATTMANN, U. (1984): *Annäherung an Darwin. Unterrichtsvorschlag für die Sekundarstufe II*. In: Unterricht Biologie, **8**, 100: 36–40.
- KATTMANN, U. (1995): *Konzeption eines naturgeschichtlichen Biologieunterrichts: Wie Evolution Sinn macht*. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, **1**, 29–42.
- KATTMANN, U. (2000): *Evolutionsgenetik*. In: Unterricht Biologie, **24**, 260: 4–11.
- KATTMANN, U., JANSSEN-BARTELS, A. & MÜLLER, M. (2005): *Selektion: die Entstehung von Giraffe und Okapi*. In: Unterricht Biologie, 12–17.
- KELEMEN, D. (2011): *Teleological minds: How natural intuitions about agency and purpose influence learning about evolution*. In: K.S. ROSENGREN, E. E., S. BREM & SINATRA, G. [Hrsg.]: *Evolution challenges: Integrating research and practice in teaching and learning about evolution*. Oxford: University Press.
- KIM, S. & NEHM, R. (2011): *A Cross-Cultural Comparison of Korean and American Science Teachers' Views of Evolution and the Nature of Science*. In: International Journal of Science Education, **30**, 2: 197–227.
- KLAUER, K. J. (1993): *Denktraining für Jugendliche. Ein Programm zur intellektuellen Förderung*. Hogrefe, Göttingen.
- KM MINISTERIUM FÜR KULTUS, JUGEND UND SPORT BADEN-WÜRTTEMBERG (2004): *Biologie Bildungsplan Gymnasium*. URL <http://www.>

- bildung-staerkt-menschen.de/service/downloads/Bildungsstandards/Gym/Gym_Bio_bs.pdf, zuletzt besucht am 27.11.2011.
- KMK KULTUSMINISTERKONFERENZ (2005): *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss*.
- KONNEMANN, C., ASSHOFF, R. & HAMMANN, M. (2012): *Einstellungen zur Evolutionstheorie: theoretische und messtheoretische Aspekte*. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, **18**: 55–79.
- KROMBASS, H. U., A. (2006): *Ein computergestütztes Informationssystem zur Biodiversität als motivierende und lernförderliche Ergänzung der Exponate eines Naturkundemuseums*. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, **12**, 7–22.
- KRÜGER, D. (2007): *Die Conceptual Change-Theorie*. In: KRÜGER, D. & VOGT, H. [Hrsg.]: *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung*, 81–92. Berlin u. a.: Springer.
- KUCKARTZ, U. (2007): *Einführung in die computergestützte Analyse qualitativer Daten*. Wiesbaden: VS Verlag, Wiesbaden.
- KUCKARTZ, U., DRESING, T., RÄDIKER, S. & STEFER, C. (2008): *Qualitative Evaluation. Der Einstieg in die Praxis*. VS Verlag, Wiesbaden.
- KUHN, K., PROBST, W. & SCHILKE, K. (1986): *Auslese*. In: *Biologie im Freien*, 233–236. Metzler Stuttgart.
- KUHN, T. (1976): *Die Struktur wissenschaftlicher Revolution*. Suhrkamp, Frankfurt am Main.
- KULTUSMINISTERIUM DES LANDES SACHSEN-ANHALT (2003): *Rahmenrichtlinien Gymnasium Biologie Schuljahrgänge 5 – 12*. URL http://www.bildung-lsa.de/pool/RRL_Lehrplaene/biogyma.pdf, zuletzt besucht am 27.11.2011.
- LAMMERT, N. (2012): *Akzeptanz, Vorstellungen und Wissen von Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I zu Evolution und Wissenschaft*. Dissertation, TU Dortmund.
- LANDMARK COLLEGE (2005): *Mussel Beach*. URL http://intranet.landmark.edu/ctolman/Mussel_Beach.htm, zuletzt besucht am 26.2.2012.
- LAWSON, A. & WORSNOP, W. (1992): *Learning about evolution and rejecting a belief in special creation: Effects of reflective reasoning skill, prior knowledge, prior belief and religious commitment*. In: *Journal of Research in Science Teaching*, **29**, 2: 143–166.

- LAWSON, A. E. & THOMPSON, L. D. (1988): *Formal Reasoning Ability And Misconceptions Concerning Genetics And Natural Selection*. In: Journal Of Research in Science Teaching, **25**, 9: 733–746.
- LICHTNER, H.-D. (2007): *Virtuelle Hundezüchtung 2.4*. URL <http://www.biologieunterricht.homepage.t-online.de/Biodateien/biosoft.html>, zuletzt besucht am 26.02.2012.
- LINNENBRINK-GARCIA, L., PUGH, K. J., KOSKEY, K. L. K. & STEWART, V. (2012): *Developing conceptual understanding of natural selection: The role of interest, efficacy, and basic prior knowledge*. In: Journal of Experimental Education, **80**, 1: 45–68.
- Low, C. (2004): *NOVA Teachers, Dogs and More Dogs. Classroom Activity*. URL http://www.pbs.org/wgbh/nova/teachers/activities/3103_dogs.html, zuletzt besucht am 26.2.2012.
- MANDL, H. & REINMANN-ROTHMEIER, G. (2001): *Unterrichten und Lernumgebungen gestalten*. In: KRAPP, A. & WEIDENMANN, B. [Hrsg.]: *Pädagogische Psychologie*. Beltz PVU, Weinheim.
- MARQUES, L. & THOMPSON, D. (1997): *Portuguese Students' Understanding at Ages 10-11 and 14-15 of the Origin and Nature of the Earth and the Development of Life*. In: Research in Science and Technological Education, **15**, 1: 29–51.
- MASON, L. (2001): *Responses to anomalous data on controversial topics and theory of change*. In: Learning and Instruction, **11**, 6: 452–484.
- MAYER, H. O. (2006): *Interview und schriftliche Befragung: Entwicklung, Durchführung und Auswertung*. Oldenbourg, München.
- MAYRING, P. (2010): *Design*. In: MEY, G. & MRUCK, K. [Hrsg.]: *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie*. VS Verlag, Wiesbaden.
- MBJS MINISTERIUM FÜR BILDUNG, JUGEND UND SPORT DES LANDES BRANDENBURG (2004): *Rahmenlehrplan Grundschule Biologie*. URL http://bildungsserver.berlin-brandenburg.de/fileadmin/bbb/unterricht/rahmenlehrplaene_und_curriculare_materialien/grundschule/Biologie-RLP_GS_2004_Brandenburg.pdf, zuletzt besucht am 27.11.2011.
- MBJS MINISTERIUM FÜR BILDUNG, JUGEND UND SPORT DES LANDES BRANDENBURG (2008): *Rahmenlehrplan für die Sekundarstufe I Jahrgangsstufen 7 – 10 Biologie*. URL http://bildungsserver.berlin-brandenburg.de/fileadmin/bbb/unterricht/rahmenlehrplaene_und_curriculare_materialien/sekundarstufe_I/2008/Biologie-RLP_Sek.I_2008_Brandenburg.pdf, zuletzt besucht am 27.11.2011.

- MBWWK MINISTERIN FÜR BILDUNG, WISSENSCHAFT, JUGEND UND KULTUR RHEINLAND-PFALZ (2010): *Rahmenlehrplan Naturwissenschaften für die weiterführenden Schulen in Rheinland-Pfalz*. URL http://naturwissenschaften.bildung-rp.de/fileadmin/user_upload/naturwissenschaften.bildung-rp.de/pdf-download/Rahmenlehrplan_Naturwissenschaften_OS_2010.pdf, zuletzt besucht am 27.11.2011.
- MEY, G. & MRUCK, K. (2011): *Qualitative Interviews*. In: NADERER, G. & BALZER, E. [Hrsg.]: *Handbuch Marktforschung*. Gabler, Wiesbaden.
- MILLER, J. D., SCOTT, E. C. & OKAMOTO, S. (2006): *Science communication: Public acceptance of evolution*. In: *Science*, **313**: 765–766.
- MILNE, C. (2008): *The beaks of finches and the tool analogy: Use with care*. In: *American Biology Teacher*, 153–157.
- MINISTERIUM FÜR BILDUNG, WISSENSCHAFT, FORSCHUNG UND KULTUR DES LANDES SCHLESWIG-HOLSTEIN (1997): *Lehrplan für die Sekundarstufe I der weiterführenden allgemeinbildenden Schulen Hauptschule, Realschule, Gymnasium*. URL <http://lehrplan.lernnetz.de/index.php?DownloadID=19>, zuletzt besucht am 27.11.2011.
- MINISTERIUM FÜR BILDUNG, WISSENSCHAFT, JUGEND UND KULTUR RHEINLAND-PFALZ (1998): *Lehrplan-Entwürfe Lernbereich Naturwissenschaften Biologie Physik Chemie Orientierungsstufe (Klassen 5-6) Hauptschule Realschule Gymnasium (Klassen 7-9/10) Beispiele für fachübergreifenden Unterricht*. URL http://naturwissenschaften.bildung-rp.de/fileadmin/user_upload/physik.bildung-rp.de/Naturwissenschaften_gesamt.pdf, zuletzt besucht am 27.11.2011.
- MÖLLER, K. (2010): *Lernen von Naturwissenschaften heißt: Konzepte verändern*. In: LABUDDE, P. [Hrsg.]: *Fachdidaktik Naturwissenschaft*. 1. - 9. Schuljahr. Haupt Verlag Stuttgart.
- MOORE, R., BROOKS, D. & COTNER, S. (2011): *The Relation of High School Biology Courses and Students' Religious Beliefs to College Students' Knowledge of Evolution*. In: *The American Biology Teacher*, **73**, 4: 222–226.
- MSW MINISTERIUM FÜR SCHULE UND WEITERBILDUNG DES LANDES NRW (2008): *Sekundarstufe I. Gymnasium. Biologie Kernlehrplan Schule in NRW Nr. 3413*. URL http://www.standardsicherung.schulministerium.nrw.de/lehrplaene/upload/lehrplaene_download/gymnasium_g8/gym8_biologie.pdf, zuletzt besucht am 27.11.2011.

- NADELSON, L. & SOUTHERLAND, S. (2010): *Examining the Interaction of Acceptance and Understanding: How Does the Relationship Change with a Focus on Macroevolution?* In: *Evolution Education and Outreach*, **3**: 82–88.
- NADELSON, L. S. & SINATRA, G. M. (2009): *Educational Professionals' Knowledge and Acceptance of Evolution*. In: *Evolutionary Psychology*, **7**, 4: 490–516.
- NATIONAL CENTER FOR SCIENCE EDUCATION (2012): *Evolution coming early to England*. URL <http://ncse.com/news/2012/06/evolution-coming-early-to-england-007448>, zuletzt besucht am 19.09.2012.
- NATURAL SELECTION LAB (o.J.): *Natural Selection M&M Lab*. URL <http://www.slideshare.net/kleinkea/natural-selection-mm-lab>, zuletzt besucht am 26.2.2012.
- NEHM, R. & HA, M. (2011): *Item feature effects in evolution assessment*. In: *Journal of Research in Science Teaching*, **48**, 3: 237–256.
- NEHM, R. & SCHONFELD, I. (2008): *Measuring knowledge of natural selection: a comparison of the CINS, and open-response instrument, and oral interview*. In: *Journal of Research in Science Teaching*, **45**, 10: 1131–1160.
- NEHM, R. H. & REILLY, L. (2007): *Biology majors' knowledge and misconceptions of natural selection*. In: *Bioscene*, **57**, 3: 263–272.
- NIEDERSÄCHSISCHES KULTUSMINISTERIUM (2007): *Kerncurriculum für das Gymnasium Schuljahrgänge 5 -10 Naturwissenschaften*. URL db2.nibis.de/1db/cuvo/datei/kc_gym_nws_07_nib.pdf, zuletzt besucht am 27.11.2011.
- NIEDERSÄCHSISCHES KULTUSMINISTERIUM (o.J.): *Kerncurriculum Niedersachsen Biologie Gymnasien*. URL http://www.nibis.de/nli1/gohrgs/materialien/bio_kc_gym/uebersicht_bio_kc_gym.htm, zuletzt besucht am 12.03.2012.
- NOVAK, J. D. (1990): *Concept mapping: A usefull tool for science education*. In: *Journal of Research in Science Teaching*, **10**, 27: 937–949.
- NOVAK, M. AND WILENSKY, U. (2005): *Net Logo Bug Huns Speeds model*. URL <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/BugHuntSpeeds>, zuletzt besucht am 27.02.2012.
- NUNNALLY, J. C. (1978): *Psychometric Theory*. McGraw-Hill, New York.
- OERL CURRICULUM DEVELOPMENT INSTRUMENTS (o.J.): *Understanding Biological Change*. URL <http://oerl.sri.com/instruments/cd/studassess/instr37.html>, zuletzt besucht am 20.3.2012.

- OLANDER, C. (2008): *The reasoning of students aged 11 -16 about biological evolution*. In: HAMMANN, M., REISS, M., BOULTER, C. & TUNNICLIFFE, S. [Hrsg.]: *Biology in Context, Learning and teaching for the twenty-first century*, 64–74. Institute of Education, London.
- OLANDER, C. (2009): *Teaching biological evolution: internal and external evaluation*. In: *Nordic Studies in Science Education*, 5, 2: 171–184.
- OSTEEN, P. & BRIGHT, C. (2010): *Effect sizes and intervention research*. Society for Social Work and Research (SSWR) Conference, San Francisco, CA.
URL http://www.family.umaryland.edu/ryc_research_and_evaluation/publication_product_files/selected_presentations/presentation_files/pdfs/effect%20size%20and%20intervention%20research.pdf, zuletzt besucht am 25.03.2012.
- ÖZDEMİR, G. & CLARK, D. (2009): *Knowledge structure coherence in Turkish students' understanding of force*. In: *Journal of Research in Science Teaching*, 46, 5: 570–596.
- ÖZDEMİR, G. & CLARK, D. B. (2007): *An overview of conceptual change theories*. In: *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 3, 4: 351–361.
- PALLANT, J. (2010): *SPSS Survival Manual: A Step by Step Guide to Data Analysis using SPSS for Windows*. Open University Press, Maidenhead.
- PALMER, D. (1996): *Students' application of a biological concept: Factors affecting consistency*. In: *Research in Science Education*, 26, 4: 409–419.
- PAPADOPOULOU, P., STANISAVLJEVIC, J., KATAKOS, E. & K., A. (2011): *Acceptance and understanding of evolution theory: a comparative study of greek and serbian teachers*. Esera conference.
- PEDERSEN, S. & HALLDEN, O. (1994): *Intuitive ideas and scientific explanations as parts of students' developing understanding of biology: The case of evolution*. In: *European Journal of Psychology of Education*, 9, 2: 127–137.
- PEKER, D., COMERT, G. G. & KENCE, A. (2010): *Three Decades of Anti-evolution Campaign and its Results: Turkish Undergraduates' Acceptance and Understanding of the Biological Evolution Theory*. In: *Science and Education*, 19: 739–755.
- PETER, S. I. (1997): *Kundenbindung als Marketingziel: Identifikation und Analyse zentraler Determinanten*. Gabler, Wiesbaden.
- PIAGET, J. (1952): *The origins of intelligence in children*. New York: International Universities Press.

- POSNER, G. J., STRIKE, K. A., HEWSON, P. & W.A., G. (1982): *Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change*. In: *Science Education*, **66**, 2: 211–227.
- PRINOU, L., HALKIA, L. & SKORDOULIS, C. (2008): *What Conceptions do Greek School Students Form about Biological Evolution?* In: *Evolution Education and Outreach*, **1**: 312–317.
- REICHERT, U. & LASKOWSKI, W. (1970): *Ein Schulversuch zur Demonstration des Selektionsprinzips in der Biologie*. In: *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*, **23**, 6: 364–366.
- RETZLAFF-FÜRST, C. & URAHNE, D. (2009): *Evolutionstheorie, Religiosität und Kreativismus und wie die Schüler darüber denken*. In: *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, **62**, 3: 173–178.
- RIEDL, A. (2004): *Grundlagen der Didaktik*. Steiner Verlag, Stuttgart.
- ROBINSON, J. P., SHAVER, P. R. & WRIGHTSMAN, L. S. (1991): *Criteria for scale selection and evaluation*. In: ROBINSON, J. P., SHAVER, P. R. & WRIGHTSMAN, L. S. [Hrsg.]: *Measures of social psychological attitudes Vol. 1, Measures of personality and social psychological attitudes*. Academic Press, San Diego.
- ROTTLÄNDER, E. (2006): *Nutzpflanzen und Nahrungspflanzen. Erstellung eines Begriffsnetzes*. In: *Praxis der Naturwissenschaften - Biologie in der Schule*, **55**, 6: 6–15.
- RUTLEDGE, M. & MITCHELL, M. (2002): *High School Biology Teachers' Knowledge Structure, Acceptance and Teaching of Evolution*. In: *The American Biology Teacher*, **64**, 1: 21–28.
- RUTLEDGE, M. L. & WARDEN, M. A. (1999): *The Development and Validation of the Measure of Acceptance of the Theory of Evolution Instrument*. In: *School Science and Mathematics*, **99**, 13–18.
- RUTLEDGE, M. L. & WARDEN, M. A. (2000): *Science and high school biology teachers: Critical relationships*. In: *The American Biology Teacher*, **62**: 23–31.
- SAARLAND MINISTERIUM FÜR BILDUNG (2010): *Achtjähriges Gymnasium Lehrplan Naturwissenschaften Klassenstufen 5 und 6*. URL http://www.saarland.de/dokumente/thema_bildung/NW5-6.pdf(, zuletzt besucht am 27.11.2011.
- SAARLAND MINISTERIUM FÜR BILDUNG (2011): *Anpassung an die Stundentafel des Schuljahres 2011/12 Biologie*. URL http://www.saarland.de/dokumente/thema_bildung/Anpassung_Lehrplan_Gymnasium_2011-12_Biologie.pdf, zuletzt besucht am 27.11.2011.

- SAARLAND MINISTERIUM FÜR BILDUNG, KULTUR UND WISSENSCHAFT (2004): *Achtjähriges Gymnasium Lehrplan für das Fach Biologie Klassenstufe 8. Saarbrücken.* URL http://www.saarland.de/dokumente/thema_bildung/Biologie8.pdf, zuletzt besucht am 27.11.2011.
- SAARLAND MINISTERIUM FÜR BILDUNG, KULTUR UND WISSENSCHAFT (2005): *Achtjähriges Gymnasium Lehrplan für das Fach Biologie Klassenstufe 9. Saarbrücken.* URL http://www.saarland.de/dokumente/thema_bildung/biologie9.pdf, zuletzt besucht am 27.11.2011.
- SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR KULTUS UND SPORT (2011): *Lehrplan Gymnasium Biologie 2004/2007/2009/2011.* URL http://www.sachsen-macht-schule.de/apps/lehrplandb/downloads/lehrplaene/lp_gy_biologie_2011.pdf, zuletzt besucht am 27.11.2011.
- SAMARAPUNGA VAN, A. & WIERS, R. W. (1997): *Children's Thoughts on the Origin of Species: A Study of Explanatory Coherence.* In: *Cognitive Science*, **21**: 147–177.
- SCHEERSOI, A. & KULLMANN, H. (2007): *Gendrift und Selektion spielerisch vermitteln.* In: *Praxis der Naturwissenschaften - Biologie in der Schule*, **56**, 7: 45–47.
- SCHMIDT, C. (2009): *Analyse von Leitfadeninterviews.* In: FLICK, E., U. AND KARDORFF & STEINKE, I. [Hrsg.]: *Qualitative Forschung: Ein Handbuch*, 447–456. Reinbek: Rowohlt Verlag.
- SCHNEIDER, J. & KATTMANN, U. (2002): *Vom Ziehen zum Kreuzen - die Entwicklung einer Pferderasse.* In: *Unterricht Biologie*, **26**, 272: 23–26.
- SENATOR FÜR BILDUNG UND WISSENSCHAFT BREMEN (2006): *Naturwissenschaften, Biologie - Chemie - Physik Bildungsplan für das Gymnasium Jahrgangsstufe 5 -10.* URL http://www.lis.bremen.de/sixcms/media.php/13/06-12-06_nat_gy.pdf, zuletzt besucht am 27.11.2011.
- SENBJS SENATSVERWALTUNG FÜR BILDUNG, JUGEND UND SPORT BERLIN (2004): *Rahmenlehrplan Grundschule Naturwissenschaften.* URL http://www.berlin.de/imperia/md/content/sen-bildung/schulorganisation/lehrplaene/gr_natur.pdf, zuletzt besucht am 27.11.2011.
- SENBJS SENATSVERWALTUNG FÜR BILDUNG, JUGEND UND SPORT BERLIN (2006): *Rahmenlehrplan für die Sekundarstufe I Biologie.* URL http://www.berlin.de/imperia/md/content/sen-bildung/schulorganisation/lehrplaene/sek1_biologie.pdf, zuletzt besucht am 27.11.2011.
- SHTULMAN, A. (2006): *Qualitative Differences between Naive and Scientific Theories of Evolution.* In: *Cognitive Psychology*, **52**, 2: 170–194.

- SHTULMAN, A. & SCHULZ, L. (2008): *The relation between essentialist beliefs and evolutionary reasoning*. In: *Cognitive Science*, **32**: 1049–1062.
- SINATRA, G. M., BREM, S. K. & EVANS, E. M. (2008): *Changing Minds? Implications of Conceptual Change for Teaching and Learning about Biological Evolution*. In: *Evolution: Education and Outreach*, 189–195.
- SOUTHERLAND, S. & SINATRA, G. (2005): *The Shifting Roles of Acceptance and Dispositions in Understanding Biological Evolution*. In: *Beyond Cartesian Dualism Contemporary Trends and Issues in Science Education*, **29**: 69–78.
- SOUTHERLAND, S. A., ABRAMS, E., CUMMINS, C. L. & ANZELMO, J. (2001a): *Understanding students' explanations of biological phenomena: Conceptual frameworks or p-prims?* In: *Science education*, **85**, 4: 328–348.
- SOUTHERLAND, S. A., SINATRA, G. M. & MATTHEWS, M. R. (2001b): *Belief, knowledge, and science education*. In: *Educational Psychology Review*, **13**, 4: 325–351.
- SOUTHERLAND, S. A., SMITH, M. U. & CUMMINS, C. L. (2000): *Chapter 4 - "what do you mean by that?" using structured interviews to assess science understanding*. In: *Assessing science understanding. A human constructivist view*. Academic Press, San Diego.
- SPINDLER, L. & DOHERTY, J. (2009): *Assessment of the teaching of evolution by natural selection through a hands-on simulation*. In: *Teaching Issues and Experiments in Ecology*, **6**.
- STARK, R. (2002): *Conceptual Change: kognitivistisch oder kontextualistisch?* München: Ludwig-Maximilians-Universität, Lehrstuhl für Empirische Pädagogik und Pädagogische Psychologie.
- STEBBINS, R. C. & ALLEN, B. (1979): *Schulversuche zur Evolution - Simulation der natürlichen Auslese*. In: *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*, **32**, 1: 37–44.
- StMUK BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UNTERRICHT UND KULTUS (2009): *Lehrplan für das Gymnasium in Bayern G 8*. URL <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1.neu/g8.de/index.php?StoryID=26386>, zuletzt besucht am 27.11.2011.
- STOVER, S. & MABRY, M. (2007): *Influences of teleological and Lamarckian thinking on student understanding of natural selection*. In: *Bioscene*, **33**, 1: 11–18.
- TEETZ, S. (2011): *Vorstellungen von Kindern. Im Grundschulalter zum Thema Evolution - eine empirische Untersuchung*. Bachelorarbeit, unveröffentlicht, Dortmund.

- TEVIS, C. (o.J.): *Peppered Moth Natural Selection in Black and White*. URL <http://www.techapps.net/interactives/pepperMoths.swf>, zuletzt besucht am 12.03.2012.
- THÜRINGER KULTUSMINISTERIUM (1999): *Thüringer Kultusministerium Lehrplan für das Gymnasium Biologie*. URL http://thillm.rz.tu-ilmenau.de/get.aspx?mid=1406&did=6308&file=gy_lp_bi.pdf&usage=2&sid=e9f18dcd-3ac5-4e8c-a48e-947f84ce73bd, zuletzt besucht am 27.11.2011.
- THÜRINGER MINISTERIUM FÜR BILDUNG, WISSENSCHAFT UND KULTUR (2009): *Thüringer Kultusministerium Lehrplan für das Gymnasium Mensch - Natur - Technik (MNT) Erprobungsfassung*. URL http://thillm.rz.tu-ilmenau.de/get.aspx?mid=1393&did=14011&file=MNT_gy_Erprobungsfassung_25_08_2011.pdf&usage=2&sid=e9f18dcd-3ac5-4e8c-a48e-947f84ce73bd, zuletzt besucht am 27.11.2011.
- THÜRINGER MINISTERIUM FÜR BILDUNG, WISSENSCHAFT UND KULTUR (2011): *Thüringer Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur Lehrplan, für den Erwerb der allgemeinen Hochschulreife Biologie Erprobungsfassung Klassenstufe 7/8 Biologie*. URL http://salza-gymnasium.de/cms1/files/gy7_8_lp_biologie_10_05_2011.pdf, zuletzt besucht am 27.11.2011.
- TRANI, R. (2004): *I won't teach evolution: It's against my religion*. In: *American Biology Teacher*, **66**: 419–427.
- VAN DIJK, E. & KATTMANN, U. (2008): *Biologieunterricht in naturgeschichtlicher Perspektive. Zur Reform auf der Sekundarstufe I. Teil I: Grundlagen. Teil II: Umsetzung*. In: *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*, **61**, 1: 107–114.
- VOSNIADOU, S. & BREWER, W. (1992): *Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood*. In: *Cognitive Psychology*, **24**.
- VOSNIADOU, S., VAMVAKOUSSI, X. & SKOPELITI, I. (2008): *The framework theory approach to the problem of conceptual change*. In: *International handbook of research on conceptual change*. New York, NY: Routledge.
- WALLIN, A. (2004): *The theory of evolution in the classroom*. Dissertation, Göteborg Studies in Educational Sciences 212.
- WEITZEL, H. & GROPENGIESSER, H. (2009): *Vorstellungsentwicklung zur stammesgeschichtlichen Anpassung: Wie man Lernhindernisse verstehen und förderliche Lernangebote machen kann*. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, **15**: 285–303.

- WELLCOME TRUST (o.J.): *I 'm a Worm, Get Me Out of Here' m a Worm, Get Me Out of Here*. URL <http://survivalrivals.org/i-am-a-worm-get-me-out-of-here/about>, zuletzt besucht am 26.2.2012.
- WEST, S. G., FINCH, J. F. & CURRAN, P. J. (1995): *Structural equation models with nonnormal variables: Problems and remedies*. In: HOYLE, R. H. [Hrsg.]: *Structural equation modeling: Concepts, issues and applications*. Sage, Thousand Oakes.
- WILES, J. R. & ALTERS, B. (2011): *Effects of an educational experience incorporating an inventory of factors influencing students' acceptance of biological evolution*. In: *International Journal of Science Education*, **33**, 18: 1–27.
- WILSON, J. (2001): *Pseudoscientific beliefs among college students*. In: *Reports of the National Center for Science Education*, **21**: 9–13.
- WINKEL, G. (1992): *Vom Haustier zum Wildtier? Unterrichtsmodell für die Orientierungs-, Sekundarstufe 6., 7. Schülerjahrgang*. In: *Unterricht Biologie*, **16**, 179: 16–21.
- YOUNG, H. & YOUNG, T. (2003): *A Hands-on Exercise To Demonstrate Evolution by Natural Selection and Genetic Drift*. In: *American Biology Teacher*, **65**, 6: 444–448.
- ZABEL, J. (2006): *Evolutionsunterricht in der Sekundarstufe I. Argumente und Anregungen*. In: *Praxis der Naturwissenschaften - Biologie in der Schule*, **55**, 6.
- ZABEL, J. (2009): *Die Rolle der Narration beim Verstehen der Evolutionstheorie*. Band 24. Didaktisches Zentrum der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg.
- ZABEL, J. & GROPPENGIESSER, H. (2010): *Darwins konzeptuelle Landkarte: Lernfortschritt im Evolutionsunterricht*. In: HARMS, U. & MACKENSEN-FRIEDRICHS, I. [Hrsg.]: *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik, Band 4, Heterogenität erfassen - individuell fördern im Biologieunterricht*, 209–224. Innsbruck: Studienverlag.
- ZÖFEL, P. (2003): *Statistik für Psychologen*. Pearson Studium, München.

Teil I

ANHANG



Anpassung durch Selektion

Veränderung von Arten durch Variation und künstliche bzw. natürliche Selektion

Konzept einer Unterrichtsreihe für die Jahrgangsstufen 5/6 zur Einführung der Selektionstheorie und Vermittlung eines evolutionären Grundverständnisses.

Fakultät Chemie
Biologie und Didaktik der Biologie
StR¹ Anuschka Fenner

Inhaltsverzeichnis:

	Seite
Informationen zu Konzept und Durchführung der Unterrichtsreihe	1
Übersicht über Unterrichtsreihe und Untersuchungsdesign	3
Tabelle: Stundenthemen und Materialien	4
Begriffsliste	5
 Planung der Unterrichtsstunden und Materialien	
1. Stunde: Vom zahmen Wolf zum Dackel	6
2. Stunde: Durch Auswahl auf den Dackel gekommen	11
3. Stunde: Auslesezüchtung als allgemeines Zuchtprinzip	18
4. Stunde: Alles Kohl –Mutation erzeugt Variation	25
5. Stunde: Vernetzte Begriffe	32
6. Stunde: Bunte Punkte erklären Anpassung	37
7. Stunde: Darwins Selektionstheorie	41
8./9. Stunde: Anpassung erklärt durch Variation und Selektion	47
 Anhang / Beilagen	
Arbeitsblätter	
Folien	
CD mit Computerprogramme	

Information zu Konzept und Durchführung

Informationen zum Konzept der Unterrichtsreihe:

Die vorliegende Unterrichtsreihe **Anpassung durch Selektion** wurde für die Jahrgangsstufe 5/6 konzipiert und soll die Selektionstheorie nach Darwin in Anknüpfung an die vertiefte Behandlung der Auslesezüchtung vermitteln. Die Schülerinnen und Schüler sollen durch diesen Unterricht ein Grundverständnis für die aus evolutionsbiologischer Sicht elementaren Begriffe Variation und Selektion entwickeln und diese zur Erklärung der Veränderung von Arten anwenden können.

Es ist bekannt, dass Schülerinnen und Schüler zahlreiche und tiefsitzende Fehlvorstellungen in diesem Inhaltsbereich haben. Die Unterrichtsreihe ist Bestandteil wichtiger schule relevanter biologiedidaktischer Forschung im Rahmen einer Promotion. In dieser Studie soll eine Unterrichtsreihe zum Thema „Anpassung durch Selektion“ in Bezug auf Veränderung von Schülervorstellungen evaluiert werden. Für das Projekt sind wir vor allem auf die Unterstützung erfahrener Biologielehrerinnen und -lehrer angewiesen. Selbstverständlich werden alle Daten anonym erhoben und streng vertraulich behandelt.

Zur Evaluation der Unterrichtsreihe werden Vorstellungen und Wissen der Schülerinnen und Schüler durch Pre- und Posttests erhoben. Hierbei werden zwei parallele Lerngruppen untersucht. In einer Klasse wird die hier dargestellte Unterrichtsreihe unterrichtet, in der anderen Klasse hingegen eine andere Thematik des Biologieunterrichts behandelt. Außerdem werden Ergebnisse aus dem Unterricht einbezogen (siehe Abb. S. 3).

Die Umsetzung der Unterrichtsreihe ist für neun Unterrichtsstunden konzipiert, wovon sich die ersten fünf Stunden thematisch auf die Züchtung durch künstliche Selektion, die nachfolgenden drei bis vier Stunden auf die Veränderung von Arten durch natürliche Selektion beziehen.

Durchführung der Unterrichtsreihe und Struktur des Materials:

Zur Steigerung der Übersichtlichkeit weist das Material eine einheitliche Struktur auf. Bei jeder Stunde enthält die erste Seite Themen und Ziele der jeweiligen Stunde, sowie Hinweise und Erläuterungen die den folgenden Stundenverlaufsplan ergänzen. Die Nummerierungen dieser Hinweise zur Durchführung beziehen sich auf die entsprechenden Stellen des Stundenverlaufsplans. Tafelbilder, Folien, Materialvorlagen, Lösungen von Arbeitsaufträgen und die Arbeitsblätter sind jeder Stunde beigelegt. Die Arbeitsblätter für die Lernenden befinden sich auch als Kopiervorlagen im Anhang der Unterrichtsreihe. Außerdem sind ein Satz Folien, sowie die in der Unterrichtsreihe verwendeten Programme Bestandteil des Materials.

Im Laufe der Unterrichtsreihe werden wichtige Begriffe erklärt und definiert, die Schüler fertigen hierzu eine sukzessive zu erweiternde Liste an. Diese Begriffe sind mit Zuordnung zu der entsprechenden Unterrichtsstunde als Liste angefügt.

Einen schnellen Überblick über die Themen der einzelnen Stunde, vor allem aber auch über die benötigten Materialien und wichtigen Anmerkungen ermöglicht die tabellarische Übersicht über die Unterrichtsreihe (S. 4). Hierdurch soll die Unterrichtsvorbereitung erleichtert werden. Diese Übersicht, sowie die Hinweise und Stundenverlaufspläne bieten die wichtigste Information zur konkreten Umsetzung und sollen vor dem Unterricht aufmerksam gelesen werden.

Information zu Konzept und Durchführung

Sicherlich kann die in einzelne Schulstunden eingeteilte zeitliche Vorgabe nicht immer nach Plan umgesetzt werden, so dass in Abhängigkeit von der Lerngruppe und Ereignissen im Schulalltag Abweichungen von diesem Zeitplan möglich sein können. Zur Gewährleistung einer Vergleichbarkeit ist es aber wichtig, dass der geplante Inhalt der Unterrichtsreihe tatsächlich unterrichtet wird. Abweichungen vom Ablauf sollten von der Lehrperson protokolliert werden.

Durchführung der Erhebung von Wissen und Vorstellungen der Lernenden:

Zwecks Evaluation der Unterrichtsreihe sind die Erhebungen, die sich auf das Wissen und die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler beziehen sehr wichtig und ermöglichen erst die wissenschaftliche Auswertung (siehe Abb. nächste Seite).

Als Testverfahren werden Fragebögen im Pre- und Posttestdesign eingesetzt. Die Bearbeitungszeit der Fragebogen liegt ungefähr bei 20 min. Getestet werden parallele Lerngruppen.

Die Ergebnisse aus dem Unterricht sollen an entsprechender Stelle oder am Ende der Unterrichtsreihe eingesammelt und kopiert werden. Wichtig ist hierbei, dass die Schüler angehalten werden auf den entsprechenden Materialien den gleichen Code wie auf den Fragebögen zu verwenden. Dies ermöglicht die spätere Zuordnung von Arbeitsergebnissen und Fragebögen unter Wahrung der Anonymität.

Übersicht über Unterrichtsreihe und Untersuchungsdesign



Erhebung von Wissen und Vorstellungen

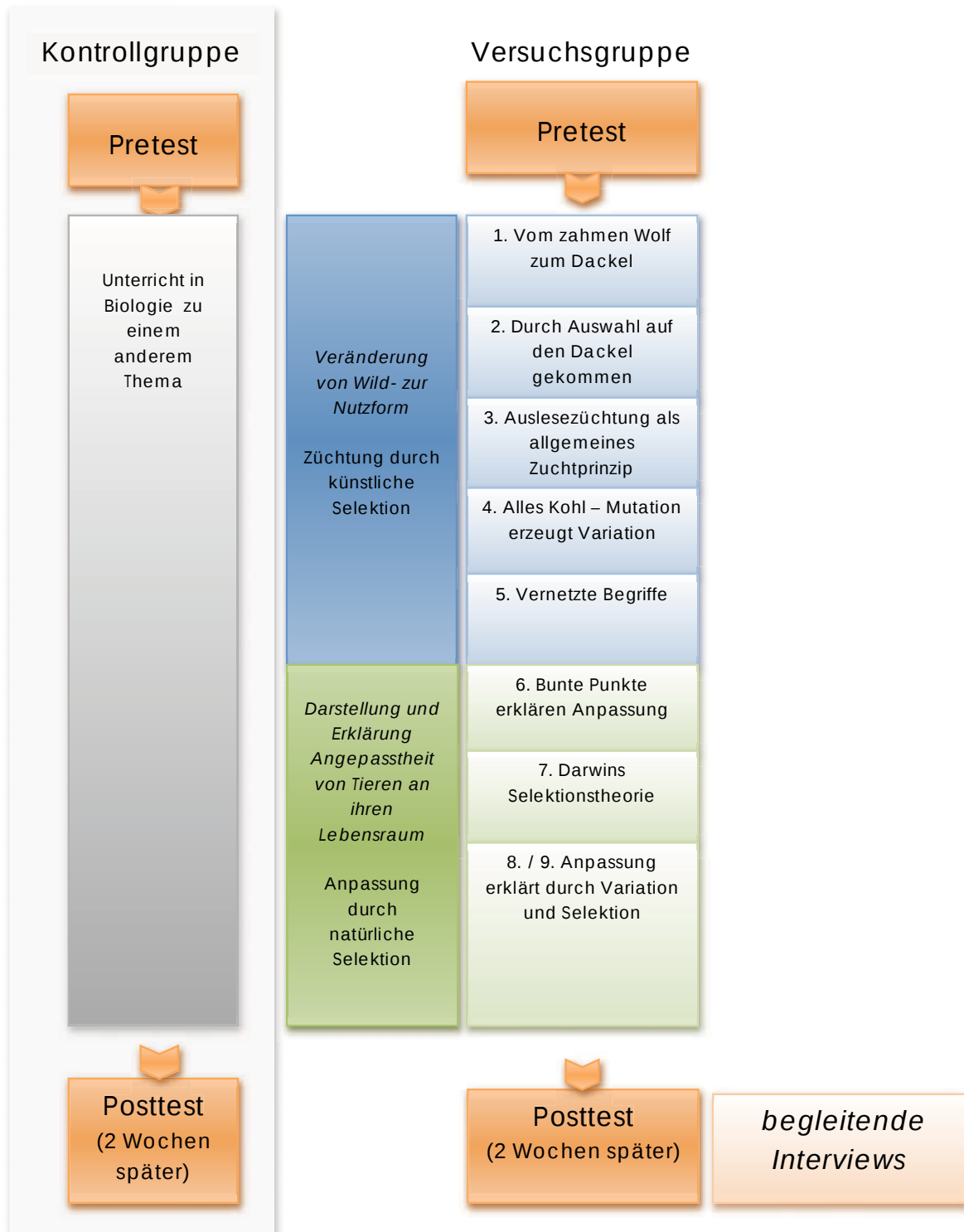


Tabelle: Stundenthemen und Materialien

Stunde	Thema	Materialien	Anmerkungen
1. Vom zahmen Wolf zum Dackel	Einstieg: Entwicklung von Hypothesen unter Berücksichtigung von Schülervorstellungen zur Hundezucht anhand einer Geschichte zur steinzeitlichen Kaninchenjagd	• Folie 1.1 / 1,2 • Folienstift • Karteikarten in 3 Farben • AB 1	➤ Notieren der Hypothesen ➤ Einsammeln Karteikarten
2. Durch Auswahl auf den Dackel gekommen	Artkonzept, erworbene und vererbte Merkmale, sowie Züchtungsprinzipien erarbeitet anhand von Arbeitsblättern und einer Computersimulation	• Folie 2 • AB 2 / AB 3 • Folienstift • Computer / Laptop • Beamer • Programm Hundezüchtung	• Programm / Link für Schüler zur Verfügung stellen
3. Auslesezüchtung als allgemeines Zuchtprinzip	Anwendung und Übertragung des Prinzips der Auslesezüchtung auf andere Beispiele	• Folie 2 / Folie 3 • AB 4 / AB 5 • Karten mit Symbol und Nummer • Computer / Laptop • Beamer • Programm Hundezüchtung	• Folie 3 in Teile zerschneiden • Karten für Gruppeneinteilung schneiden
4. Alles Kohl – Mutation erzeugt Variation	Beitrag der Mutation zur Erzeugung von Variation und allgemeiner Ablauf der Auslesezüchtung.	• Folie 3 • Folie 4.1 / 4.2 / 4.3 • AB 7 • Folienstift • Scheren • Klebe	➤ AB 5: Zucht von Pflanzen einsammeln / kopieren
5. Vernetzte Begriffe	Entwicklung von Begriffsnetzen zur künstlichen Selektion	• Folie 5 • AB 8 • Begriffskarten • Magnete oder Klebestreifen • Begriffskarten	• Begriffskarten schneiden ➤ Begriffsnetze einsammeln / kopieren
6. Bunte Punkte erklären Anpassung	Anpassung als Abwandlung einer Population durch Selektion erarbeitet unter Anwendung der Computersimulation EvoDots	• Folie 6 • AB 9 • Computer • Programm EvoDots	• Computerraum • Programm installieren / bereitstellen
7. Darwins Selektionstheorie	Anwendung und Überprüfung der Selektionstheorie anhand der Veränderung einer virtuellen Punktpopulation	• Folie 7 • AB 10 / 11 • Computer • Programm EvoDots	• Computerraum • Programm installieren / bereitstellen
8./ 9 Anpassung erklärt durch Variation und Selektion	Evolution als Veränderung von Arten und Erklärung der Entstehung von Anpasstheit bei Tieren anhand Anwendung der Selektionstheorie.	• AB 12 • Folie 8, AB 11, AB 12 • Folienstift • Computer, Beamer • Video 8.1, 8.2 • Spielmaterialien (Karten Tiermerkmale, Karten Szenarien, Anleitung) • Begriffskarten • Klebestreifen / Magnete	• Videos in Präsentation einbinden • Spielmaterialien vorbereiten • Begriffskarten schneiden ➤ beide Erklärungen Anpasstheit Schneehasen und AB 12 Evolution der Giraffe einsammeln / kopieren

Begriffsliste

Übersicht über die im Verlauf der Unterrichtseinheit definierten Begriffe (Begriffsliste):

Merkmal: Ein Merkmal ist eine kennzeichnende Eigenschaft eines Lebewesens. (1.Std)

Art: Eine Gruppe von Individuen („Einzellebewesen“) wird als Art bezeichnet, wenn sich die Tiere in der Natur paaren und dabei fruchtbare Nachkommen haben. (2. Std)

Erbsubstanz: Die Erbsubstanz (DNA) ist die Grundinformation, die bestimmt wie ein Lebewesen aufgebaut ist. Sie ist eine Art „Bauanleitung“ und besteht aus Genen. Die Erbsubstanz eines Lebewesens stammt je zur Hälfte von den Eltern. (2. Std)

Vererbung: Die Erbsubstanz wird bei der Vererbung an die nächste Generation weitergegeben. Vererbte Merkmale werden durch die Gene bestimmt. Durch körperliche Veränderungen erworbene Merkmale werden nicht vererbt. (2. Std)

Variation: Lebewesen einer Art sind nicht gleich, sondern unterscheiden sich in Merkmalen. Diese Variation beruht auf unterschiedlichen Genen. So sehen Nachkommen den Eltern ähnlich, gleichen ihnen aber nicht völlig. Geschwister unterscheiden sich voneinander. (2. Std)

Künstliche Selektion: Bei der Züchtung werden aus allen Nachkommen die zur weiteren Zucht ausgesucht (selektiert), die dem Zuchtziel im Hinblick auf die gewünschte Merkmale am ehesten entsprechen. (2. Std)

Mutation: Eine Mutation ist eine nicht vorhersehbare Veränderung der Erbsubstanz, die spontan und zufällig auftritt. (4. Std)

Population: Eine Population ist eine Gruppe von Lebewesen einer Art, die in einem Gebiet lebt und die sich untereinander kreuzen können. (7. Std)

Natürliche Selektion: Es überleben am ehesten die Lebewesen, welche vorteilhafte Merkmale aufweisen. Diese können sich dann fortpflanzen und die Merkmale vererben. (Welche Merkmale vorteilhaft sind, ist von der Umwelt abhängig). (7. Std)

Evolution: Die Veränderung von Arten im Laufe der Zeit. (8. Std)

Anpassung: Die Arten werden an die Umwelt durch natürliche Selektion im Laufe der Zeit angepasst. (8. Std)

1. Stunde: Vom zahmen Wolf zum Dackel**Ziele, Hinweise****Thema der 1. Stunde:**

Vom zahmen Wolf zum Dackel – Einstieg: Entwicklung von Hypothesen unter Berücksichtigung von Schülervorstellungen zur Hundezucht anhand einer Geschichte zur steinzeitlichen Kaninchenjagd.

Lernziele**Stundenziel:**

Die Schülerinnen und Schüler sollen einen evolutiven Zusammenhang zwischen Haus- und Wildtierform am Beispiel von Hund und Wolf bilden und Hypothesen zur Hundezüchtung unter dem Aspekt der Verwendung als Kaninchenjäger formulieren.

Teilziele: Die Schülerinnen und Schüler sollen

- die ausgeprägten Variationen der Merkmale bei Hunden verschiedener Rassen erkennen und konkrete Merkmalsunterschiede benennen.
- durch Vergleich der beiden Abbildungen die geringere Variation der Wölfe untereinander bemerken und diese herausstellen.
- einen evolutiven Zusammenhang zwischen Hunden und Wölfen mit Hilfe von Impulsen bilden und ausgehend hiervon eine sinnvolle Problemfrage entwickeln.
- Hypothesen zur möglichen Vorgehensweise der Steinzeitjäger im Hinblick auf die Züchtung "kleiner zahmer Wölfe" anhand der Geschichte unter Einbezug ihrer eigenen Vorstellung bilden.
- durch Sortieren und Gruppieren der Hypothesen zur Züchtung sich im Strukturieren und Abstrahieren üben.

Hinweise und Erläuterungen zur Durchführung des Unterrichts

Es ist sinnvoll zuerst die Hunde und erst danach die Wölfe als Abbildung zu zeigen um den Blick auf die hier deutlichen Unterschiede zu fokussieren. Um Einzelheiten herauszustellen werden beide Bilder erst einzeln präsentiert. Nach der Definition des Begriffs Merkmal sollten die SuS das Tafelbild ins Heft übernehmen und eine **Begriffsliste** separat beginnen, die in nachfolgenden Stunden weitergeführt wird.

- (1) Zur Herstellung eines Zusammenhangs sollte die zweite Folie je nach Reaktion der Lerngruppe schrittweise ergänzt werden. Bei der Frageformulierung ist darauf zu achten, dass die Frage sich auf die Abstammung bzw. Entwicklung und auf die unterschiedlichen Hunderassen bezieht. Ggf. sollte die recht komplexe Fragestellung in Abhängigkeit der Schülerbeiträge in einzelne Fragen aufgeteilt werden.
- (2) Schüler werden vermutlich an dieser Stelle die Zucht als Schlagwort angeben, aber hierzu keine Vorstellung eines Vorgangs entwickelt haben. (**Hypothesen bitte notieren**)
- (3) Die Einigung auf eine Fragestellung der Steinzeitjäger ist als gemeinsamer Ausgangspunkt an dieser Stelle für die Entwicklung der Ideen vor der Bearbeitung der Aufgabe 2 wichtig.
- (4) Die Schüler könnten hier durch die Benutzung von z.B. verschiedenfarbigen Karteikarten den Gruppen zugeordnet werden. Wichtig: **Karteikarten bitte später alle einsammeln und verwahren.** (Alternatives Stundenende: Bei Zeitmangel können die Karten eingesammelt und in der nächsten Stunde gruppiert werden.)
- (5) Als Vermutungen sollten mind. die in Tafelbild 1.2 angegebenen Ideen notiert werden, da diese in der nächsten Stunde verifiziert bzw. falsifiziert werden.

1. Stunde: Vom zahmen Wolf zum Dackel

Stundenverlaufsplan

Stundenverlaufsplan 1. Stunde: Vom zahmen Wolf zum Dackel

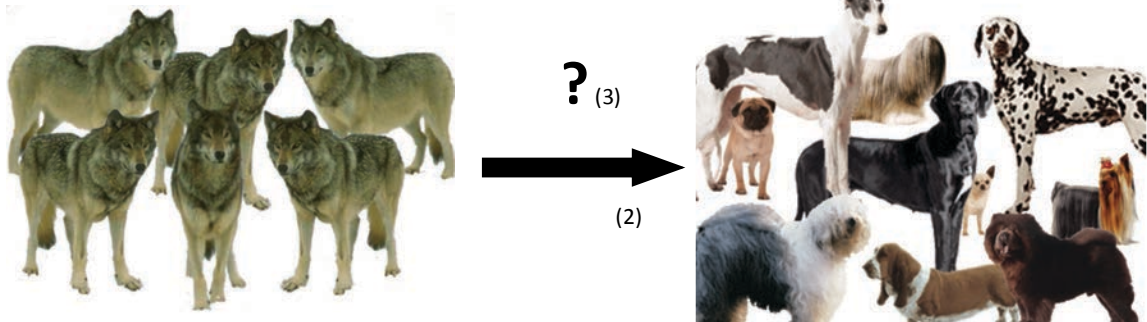
Unterrichtsphase	Sach- / Verhaltensaspekt	Medien	SF
Einstieg (1)	- Impuls: Schrittweise Präsentation von 1. Vertretern verschiedener Hunderassen und 2. einer Gruppe von Wölfen. - Sammlung von Schülerbeiträgen zu den Abbildungen. - Präsentation der beiden Bilder nebeneinander (über der Tafel). - Vergleich der beiden Gruppen (Wölfe und Hunde) im Hinblick auf Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den Individuen unter dem Aspekt der Variation in Merkmalen. - Definition des Begriffs Merkmal.	OHP, Folie 1.1 OHP, Folie 1.2 Tafel, TB 1.1 <i>(Begriffsliste)</i>	LI, SB UG
Entwicklung einer übergeordneten Problemfrage (2)	- Bilden eines Zusammenhanges zwischen den beiden Bildern im Hinblick auf Entwicklung bzw. Abstammung der Hunde von den Wölfen. Hierbei schrittweise die Folie ergänzen durch „Nahe Verwandte....“(1), Zeichnung eines Pfeils (2) und eines Fragezeichens (3). - Formulierung einer Problemfrage zu obigem Zusammenhang (Impuls: Fragezeichen (3)), z.B. <i>„Wie ist es zu erklären, dass sich ausgehend vom Wolf so unterschiedlich aussehende Hunderassen entwickelt haben?“</i> oder mehrere einzelner Fragen, z.B.: <i>„Wie hat sich der Hund aus dem Wolf entwickelt? Wie kommt es, dass Hunde verschiedener Rassen so stark in den Merkmalen variieren?“</i>	Folienstift Tafel, TB 1.1	UG, LI
Erarbeitung 1 (3)	- SuS wird Gelegenheit gegeben, Hypothesen zur Fragestellung zu äußern. Schwierigkeiten hierbei bieten einen möglichen Anlass sich ein konkretes Beispiel anzusehen. - SuS lesen die Geschichte auf dem AB1 und bearbeiten die 1. Aufgabe.	<i>(notieren)</i> AB 1	UG EA
Formulierung einer konkreten Fragestellung (4)	- Anhand der Aufgabe 1 benennen SuS das Problem der Steinzeitjäger (Kleine Hunde als Jagdhelfer, Vergleich Dackel) und tragen ihre Fragestellungen vor. - Einigung auf eine Fragenformulierung, z.B. <i>„Wie sollten die Steinzeitjäger vorgehen um kleine zahme Wölfe zu erhalten, welche den Kaninchen in den Bau folgen können?“</i>	Tafel, TB 1.2	SB UG
Erarbeitung 2 (5)	- SuS bearbeiten Aufgabe 2 des AB 1. - Vergleich und Gruppierung der Ideen (Karten) in Gruppen (8-10 Schüler, 3 Gruppen).	Karteikarten (in 3 Farben)	EA GA
Ergebnis (6)	- Die Ideen werden vorgestellt. - Anhand der gefundenen Ideen werden Vermutungen zur Fragestellung notiert. <i>(Die Steinzeitjäger sollten...)</i>	Tafel, TB 1.2 <i>(Karteikarten aufbewahren)</i>	SB, UG

1. Stunde: Vom zahmen Wolf zum Dackel

Tafelbild 1.1, 1.2/ Folien 1.2, 2

Tafelbilder: Folie 1.2 /Tafelbild 1.1:

Nahe Verwandte....⁽¹⁾



Wölfe sind / haben

- etwa gleich groß
- etwa gleiche Fellfarbe / Felllänge
- aufrechte Ohren
- (hängende Rute)

➔ Wölfe unterscheiden sich kaum voneinander.

Hunde sind / haben

- verschieden groß
- unterschiedliche Fellfarben / Felllänge
- aufrechte oder hängende Ohren
- (hängende oder aufrechte Rute)

➔ Hunde unterscheiden sich in vielen Merkmalen.

Begriff Merkmal: Ein Merkmal ist eine kennzeichnende Eigenschaft eines Lebewesens.

Wie ist es zu erklären, dass sich ausgehend vom Wolf so unterschiedlich aussehende Hunderassen entwickelt haben?

Tafelbild 1.2 / Folie 2:

Wie sollten die Steinzeitjäger vorgehen um kleine zahme Wölfe erhalten, welche den Kaninchen in den Bau folgen können?“

Die Steinzeitjäger sollten

- die Wölfe mit kleinen anderen Tieren paaren / kreuzen. (z.B. Fuchs, Hase...)
- das Wachstum der Wölfe verhindern. (z.B. durch Aufzucht in Höhlen, weniger Nahrung)
- nur die kleinsten Wölfe für die Vermehrung auswählen. (immer wiederholen)

1. Stunde: Vom zahmen Wolf zum Dackel**AB 1****Arbeitsblatt 1: Wölfe für die Kaninchenjagd**

Schon seit Sonnenaufgang streicht die Gruppe von 10 Steinzeitjägern durch die Steppe Südspaniens. Sie sind auf der Jagd. Doch die Ausbeute ist gering: zwei Rebhühner und ein Kaninchen. Und hätten sie ihre gezähmten Wölfe nicht dabei, dann hätten sie bisher gar nichts gejagt. Allerdings hatten sie die beiden Wolfsweibchen Raja und Clara heute nicht dabei, sie hatten gerade Junge geworfen. Die Steinzeitjäger hatten gemerkt, dass Wölfe bei der Jagd eine Hilfe sein können. So halfen ihnen die Wölfe Jagdwild zu finden. Auch bei der Jagd selbst halfen sie ihnen, indem sie die Beute auf die Jäger zutrieben oder aber indem die Wölfe selbst Beute fingen, die sie den Jägern brachten. Als Belohnung erhielten sie dann einen Teil der Beute. So zogen die Steinzeitjäger schon seit vielen Jahren durch die Steppe.

Doch in letzter Zeit war nicht viel Wild in der Steppe zu sehen, bis auf die zahlreichen Kaninchen. Meistens aber entkamen die Kaninchen den Speeren der Jäger und den Zähnen der Wölfe. Blitzschnell verschwanden sie in ihren Löchern und die Jäger standen mit ihren Wölfen, die noch ein bisschen am Höhleneingang scharrrten, frustriert vor dem Höhleneingang, indem das Kaninchen verschwunden war. „Wenn man ihnen doch nur in ihre kleinen Höhlen folgen könnte und sie daraus treiben könnte, denn außerhalb ihrer Höhle sind sie leicht zu jagen.“ denkt etwas laut einer der Jäger.

(verändert nach Felzmann 2006)

Aufgaben:

1. Überlege, welches Problem sich den Steinzeitjägern stellt. Formuliere hierzu eine passende Frage.
2. Sicher hast Du eine Vorstellung, wie die Steinzeitjäger vorgehen könnten. Schreibe deine Idee hierzu auf eine Karte.

2. Stunde: Durch Auswahl auf den Dackel gekommen**Ziele, Hinweise****2. Stunde:**

Durch Auswahl auf den Dackel gekommen - Artkonzept, erworbene und vererbte Merkmale, sowie Züchtungsprinzipien erarbeitet anhand von Arbeitsblättern und einer Computersimulation.

Lernziele**Stundenziel:**

Die Schülerinnen und Schüler sollen das Artkonzept anwenden, erworbene und vererbte Merkmale unterscheiden und mit Hilfe eines Computerprogramms das Prinzip der künstlichen Selektion selbstständig erarbeiten.

Teilziele: Die Schülerinnen und Schüler sollen

- die biologische Artdefinition kennen lernen und auf die dargestellten Kreuzungsbeispiele anwenden.
- sich im Bewerten durch Formulierung von Argumenten in Hinsicht auf das Kupieren bei Hunden üben.
- anhand des kupierten Boxers als Beispiel erkennen und benennen, dass erworbene Merkmale nicht vererbt werden.
- Inhalte den Mitschülern verständlich darstellen, so dass diese die Information erfolgreich anwenden können.
- Variation von Eltern und Nachkommen am Beispiel der virtuellen Hundezüchtung erkennen und benennen.
- bei der Hypothesenprüfung folgern, dass erworbene Merkmale und artfremde Kreuzungen keinen Beitrag zur Züchtung leisten können.

Hinweise und Erläuterungen zur Durchführung des Unterrichts

- (1) Die Folie dient der schnelleren Anknüpfung an die letzte Stunde und sollte soviel Platz aufweisen, dass bei der Hypothesenprüfung Begründungen eingefügt werden können (siehe Folie 2)
- (2) Auf eine detailliertere Angabe der relativ grausamen Verfahren wurde verzichtet und deshalb bei der Aufgabe der Schwerpunkt auf das Kupieren gelegt.
- (3) Bei der Vorstellung der Ergebnisse der ersten drei Aufgaben sollte besonders Wert auf die Anwendung des Artkonzepts und das Verständnis erworbener Merkmale gelegt werden (jeweils die 3. Aufgabe von AB 2 /AB 3), deshalb werden diese an der Tafel gesichert. Im Unterrichtsgespräch sollten hier Beispiele für verschiedene Merkmalen den Eigenschaften vererbt oder erworben zugeordnet werden. Hier ist es wichtig, bei erworbenen Beispielen Veränderungen durch Gebrauch und Nichtgebrauch zu diskutieren um lamarckistischen Vorstellungen vorzubeugen. Ebenso sollte deutlich werden, dass willentliche Veränderungen (aufgrund von Bedürfnissen) nicht vererbbar sind. Die richtige Anwendung des Artkonzepts sollte an weiteren Beispielen geübt werden (z.B. Kreuzungen Pferderassen, Esel, Katzen...).
- (4) Je nach Möglichkeiten der Schule kann die virtuelle Hundezüchtung auch in einem Computerraum in Partnerarbeit erfolgen. Dies dürfte aber einen größeren Zeitaufwand erfordern. Das verwendete Programm kann entweder als Kopie oder Link zur Verfügung gestellt werden, da der Einsatz für den privaten Gebrauch oder an der eigenen Schule vom Autor erlaubt ist.

2. Stunde: Durch Auswahl auf den Dackel gekommen

Stundenverlaufsplan

Stundenverlaufsplan 2. Stunde: Durch Auswahl auf den Dackel gekommen

Unterrichtsphase	Sach- / Verhaltensaspekt	Medien	SF
Einstieg (1)	- Rückgriff auf die Problemfrage und die zugehörigen Hypothesen in Zusammenhang mit den Steinzeitjägern der letzten Stunde. - Klärung der Vorgehensweise zur Überprüfung der Vermutungen	OHP, Folie 2	UG
Erarbeitung 1 (2)	- Arbeitsteilige Bearbeitung (jeder bearbeitet entweder AB 2 oder AB 3) der Aufgaben 1-3 der beiden Arbeitsblätter AB 2 bzw. AB 3 in Einzelarbeit. - Information und Aufgabenergebnisse werden einem Mitschüler, der diese AB nicht bearbeitet hatte, dargestellt und erklärt. Gemeinsam wird jeweils die vierte Aufgabe beider ABs gelöst. - Begriffe der Arbeitsblätter werden in die Begriffsliste übertragen.	AB 2, AB 3 (Begriffsliste)	EA PA
Ergebnis 1 (3)	- Ergebnisse der ersten drei Aufgaben werden vorgestellt. - Das Artkonzept und die Unterscheidung zwischen erworbenen / vererbten Merkmalen wird auf weitere Beispiele im Unterrichtsgespräch übertragen. - Zwei der Hypothesen werden anhand Lösung der vierten Aufgaben begründet falsifiziert.	Tafel, TB 2.1 OHP, Folie 2, Folienstift	SB UG
Erarbeitung 2 (4)	Schrittweise Durchführung einer virtuellen Hundezüchtung mit dem Computerprogramm als Schülerdemonstration.	Computer, Programm Hundezüchtung, Beamer	KU
Ergebnis 2 (5)	- Definieren der Begriffe Variation und künstliche Selektion mit Hilfe der Erfahrungen der virtuellen Hundezüchtung. - Hausaufgabe: Selbstständiges Durchführen der virtuellen Hundezüchtung und Bearbeitung der Aufgaben des AB 4.	Tafel, TB 2.2 (Begriffsliste) AB 4	UG

2. Stunde: Durch Auswahl auf den Dackel gekommen**Folie 2 /, Tafelbild 2.1, 2.2**

Folie 2: (nach Ergebnissicherung mit begründet überprüften Hypothesen)

Wie sollten die Steinzeitjäger vorgehen um kleine zahme Wölfe erhalten, welche den Kaninchen in den Bau folgen können?“

Die Steinzeitjäger sollten

- ~~die Wölfe mit kleinen anderen Tieren paaren / kreuzen. (z.B. Fuchs, Hase...)~~

Die Steinzeitjäger können nicht Wölfe mit kleineren Tieren anderer Arten, z.B. Füchse kreuzen um kleinere Wölfe zu erhalten, da die Nachkommen unfruchtbar wären.

- ~~das Wachstum der Wölfe verhindern. (z.B. durch Aufzucht in Höhlen, weniger Nahrung)~~

Die Steinzeitjäger können nicht zur Zucht kleiner Wölfe das Wachstum von Jungtieren einschränken, da erworbene Merkmale nicht vererbt werden.

- nur die kleinsten Wölfe für die Vermehrung auswählen. (immer wiederholen)

Durch diese künstliche Selektion können die Steinzeitjäger kleine Wölfe züchten. Die Beinlänge der Nachkommen wird so im Durchschnitt kürzer und nach längerer Zeit werden dackelähnliche Tiere entstanden sein.

Tafelbild 2.1:

Wolf und Hund gehören zur selben Art, da ihre Nachkommen die Wolfshunde fruchtbar sind und weitere Nachkommen haben können. (Sie gehören zu Unterarten.)

Der Nachwuchs von kupierten Boxern hat, ebenso wie der Nachwuchs von nichtkupierten Boxern, eine Rute. Durch das Kupieren wird zwar der Körper verändert, aber dieses Merkmal ist nicht genetisch bestimmt, sondern erworben.

Tafelbild 2.2:

Variation: Lebewesen einer Art sind nicht gleich, sondern unterscheiden sich in Merkmalen. Diese Variation beruht auf unterschiedlichen Genen. So sehen Nachkommen den Eltern ähnlich, gleichen ihnen aber nicht völlig. Geschwister unterscheiden sich voneinander.

künstliche Selektion: Bei der Züchtung werden aus allen Nachkommen die zur weiteren Zucht ausgesucht (selektiert), die dem Zuchtziel im Hinblick auf die gewünschte Merkmale am ehesten entsprechen.

2. Stunde: Durch Auswahl auf den Dackel gekommen

AB 2

Arbeitsblatt 2: Seltene, seltsame Mischungen...



Hercules lebt im Jungle Island Miami und steht als die größte Katze der Erde im Guinness Buch der Rekorde. Auf seinen Hinterbeinen stehend ist er 3,3 Meter lang und wiegt 500kg.



Ecluse lebt seit 2007 im Safaripark Stukenbrock und ist selbst unter ihres gleichen einzigartig.

Aufgaben: Löse zuerst die Aufgaben 1, 2 und 3 alleine

1. Ordne folgende Bezeichnungen den Bildern zu: Schiege, Zebroid, Wolfshund und Liger.
2. Erkläre diese „Mischungen“ anhand Beschreibung von Merkmalen und Angabe der Eltern.
3. Gehören die Elterntiere alle zu verschiedenen Arten?
4. Erkläre, was diese Information mit unseren Ideen zur Zucht „kleiner Wölfe“ zu tun hat.

Begriff Art:

Eine Gruppe von Individuen („Einzellebewesen“) wird als Art bezeichnet, wenn sich die Tiere in der Natur paaren und dabei fruchtbare Nachkommen haben.

Information:

Hercules, Ecluse und Lisa sind im Gegensatz zu Senta unfruchtbar, können also keine Nachkommen zeugen.



Bauer Externbrink aus Schwerte ist Besitzer von Lisa, die dort 2008 auf die Welt kam. Bis dahin wusste er nicht, dass es so was überhaupt gibt.



Tiere wie Senta kommen selten auch in der Natur vor, wie z.B. in Lausitz (Ostdeutschland).

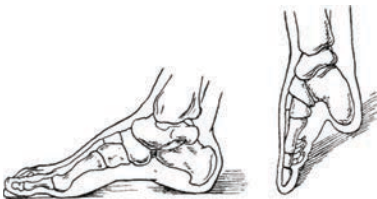
2. Stunde: Durch Auswahl auf den Dackel gekommen

AB 3

Arbeitsblatt 3: Erworbene Merkmale

Kupieren

Beim Kupieren werden Hunden die Rute oder die Ohren verändert. Hierzu wird unter Vollnarkose entweder im Alter von 1-2 Tagen der Schwanz zwischen den Wirbel gekappt oder im Alter von 7-14 Wochen die Ohren geschnitten. In vielen Ländern Europas, auch in Deutschland, ist das Kupieren verboten.

**Lilienfuß**

Die Schönheit von Frauen im alten China wurde an der Größe der Füße gemessen. Damit sie eine Chance auf spätere Heirat hatten, wurde jungen Mädchen ab etwa zwei Jahren die vier kleinen Zehen mit langen Bändern unter die Fußsohle gebunden. Der Fuß sollte später an eine Mondsichel erinnern.

Wespentaille

Ein Korsett sollte den Körper von Frauen entsprechend der Mode formen. Hierzu wurde bereits bei 12jährigen Mädchen begonnen, wobei die Taille durch das versteifte Kleidungsstück bis auf 35 cm zusammengeschnürt wurde. Ärzte warnten schon im 18. Jahrhundert vor dem schädlichen Einfluss des Korsetts.

**Begriff Erbsubstanz:**

Die Erbsubstanz (DNA) ist die Grundinformation, die bestimmt wie ein Lebewesen aufgebaut ist. Sie ist eine Art „Bauanleitung“ und besteht aus Genen. Die Erbsubstanz eines Lebewesens stammt je zur Hälfte von den Eltern.

Begriff Vererbung:

Die Erbsubstanz wird bei der Vererbung an die nächste Generation weitergegeben. Vererbte Merkmale werden durch die Gene bestimmt. Durch körperliche Veränderungen erworbene Merkmale werden nicht vererbt.

Aufgaben: Löse zuerst die Aufgaben 1, 2 und 3 alleine

1. Bei manchen Rassen ist das Kupieren der Rute bei jagdlicher Nutzung noch erlaubt. Finde Argumente gegen bzw. für das Kupieren der Rute bei Hunden.
2. Vergleiche und stelle Gemeinsamkeiten der drei beschriebenen Verfahren zusammen.
3. Folgere, wie der Nachwuchs eines Boxers mit kupierter Rute aussieht.
4. Erkläre, was diese Information mit unseren Ideen zur Zucht „kleiner Wölfe“ zu tun hat.

2. Stunde: Durch Auswahl auf den Dackel gekommen

AB 4, Lösung AB 2

Arbeitsblatt 4: Virtuelle Hundezüchtung

Mit Programm „Hundezüchtung“ kannst Du herausfinden, wie ein Hundezüchter arbeitet.

Starte hierzu das Programm mit einem Doppelklick und versuche dich als Züchter. Bearbeite dabei die unten stehenden Aufgaben. (Hinweis: Manchmal „hakt“ das Programm bei der Kreuzung, dann Korrektur wählen und noch einmal die Elterntiere auswählen.)

Aufgaben:

1. Gib an, welche Eigenschaft eine zur Züchtung geeignete Hundegruppe aufweisen sollte.
2. Beschreibe den von dir als Zuchtziel gewählten Hundetyp.
3. Beschreibe dein Vorgehen bei der Züchtung und gib die Anzahl der Zuchtschritte bis zum Erreichen des Zuchtziels an.
4. Vergleiche die Nachkommen untereinander und mit ihren Eltern.
5. Welche Änderungen stellst du mit steigender Anzahl an Züchtungsschritten fest?

Lösungen zu den Arbeitsblättern:

Lösung Arbeitsblatt 2: Seltene, seltsame Mischungen...:

1./2./3.:

Name	Bezeichnung	Eltern	Eltern versch. Arten?
Lisa	Schiege	Schaf, Ziege	Ja
Eclyse	Zebroid	Pferd, Zebra	Ja
Senta	Wolfshund	Wolf, Hund	Nein
Hercules	Liger	Löwe, Tiger	ja

Wolf und Hund gehören zur selben Art, da ihre Nachkommen die Wolfshunde fruchtbar sind und weitere Nachkommen haben können. (Sie gehören zu Unterarten.)

4.: Es ist nicht möglich zur Züchtung Tiere verschiedener Arten miteinander zu kreuzen, da ihre Nachkommen unfruchtbar sind.

Die Steinzeitjäger können nicht Wölfe mit kleineren Tieren anderer Arten, z.B. Füchse, kreuzen um kleinere Wölfe zu erhalten.

2. Stunde: Durch Auswahl auf den Dackel gekommen**Lösung AB 3**

Lösung Arbeitsblatt 3: Erworbene Merkmale:

1. Argumente gegen das Kupieren: Schmerzen, fehlende Balance, geringere Verständigungsmöglichkeit, nur für „Schönheit“ – sinnlos

Argumente für Kupieren: weniger Verletzungen und Einschränkungen bei der Jagd

2. Gemeinsamkeiten der drei Verfahren:
 - führen zu körperlichen Veränderungen
 - werden in jungem Alter durchgeführt
 - entsprechen sinnlosen Schönheitsidealen
 - sind sehr schmerzhaft
 - sind gesundheitlich bedenklich
3. Der Nachwuchs von kupierten Boxern hat, ebenso wie der Nachwuchs von nicht-kupierten Boxern, eine Rute. Durch das Kupieren wird zwar der Körper verändert, aber dieses Merkmal ist nicht genetisch bestimmt, sondern erworben.
4. Körperliche Veränderungen, die bei Lebewesen durchgeführt werden ändern nicht die Gene und werden deshalb nicht vererbt. Die Steinzeitjäger können also nicht zur Zucht kleiner Wölfe das Wachstum von Jungtieren einschränken.

3. Stunde: Auslesezüchtung als allgemeines Zuchtprinzip**Ziele, Hinweise****Thema der 3. Stunde:**

Auslesezüchtung als allgemeines Zuchtprinzip – Anwendung und Übertragung des Prinzips der Auslesezüchtung auf weitere Beispiele

Lernziele**Stundenziel:**

Die Schülerinnen und Schüler sollen das Prinzip der künstlichen Selektion selbstständig erarbeiten, dieses auf Beispiele transferieren und als allgemeines Prinzip abstrahieren können.

Teilziele:

Die Schülerinnen und Schüler sollen

- das Prinzip der künstlichen Selektion anhand der Arbeit mit dem Computerprogramm als Hausaufgabe selbstständig entdeckt haben und erklärend darstellen können.
- das Problem der Steinzeitjäger durch Transfer des Zuchtprinzips lösen.
- die Bedeutung der Variation anhand der Bearbeitung des Arbeitsblattes beschreiben.
- das Prinzip der Auslesezüchtung auf die Beispiele der Pflanzenzucht übertragen.
- allgemeine Schritte bei der klassischen Züchtung als Ablauf bei der Erstellung des Flussdiagramms folgern.

Hinweise und Erläuterungen zur Durchführung des Unterrichts

- (2) Der Vergleich der Anzahl der Zuchtschritte hat einen gewissen Wettbewerbscharakter und es bietet sich an, den Schüler mit den geringsten Zuchtschritten präsentieren zu lassen.
- (3) Bei Zeitknappheit kann auf die schriftliche Fixierung der Aufgabenergebnisse verzichtet werden.
- (4) Als bekannter Anknüpfungspunkt dient das Beispiel Wolf-Dackel. Lehrerimpulse und Hilfestellung sollten in Abhängigkeit von der Lerngruppe schrittweise gegeben werden.
- (5) Die Darstellungen auf den Karten dient bei Bedarf als Zeichenvorlage und, wie die Zahlen auch, einer unkomplizierten und schnellen Zuordnung. Ggf. den Tipp geben, dass als Zuchtziel neben Form und Größe auch Farbigkeit dienen könnte. Nach den Tauschvorgängen sollten jeweils Kriterien zur Kontrolle formuliert und bei der Überprüfung der Zeichnungen angewendet werden. Deshalb ist es sinnvoll darauf hinzuweisen nur mit Bleistift zu zeichnen. Bei Zeitknappheit kann nach dem ersten Tauschen die weitere Bearbeitung des Arbeitsblatts in die Hausaufgabe verlagert werden.

3. Stunde: Auslesezüchtung als allgemeines Zuchtprinzip

Stundenverlaufsplan

Stundenverlaufsplan 3. Stunde: Auslesezüchtung als allgemeines Zuchtprinzip

Unterrichtsphase	Sach- / Verhaltensaspekt	Medien	SF
Einstieg (1)	Rückgriff auf letzte zu überprüfende Hypothese der vorherigen Stunde.	OHP, Folie 2	UG
Erarbeitung 1 (2)	- Schrittweises Besprechen der Hausaufgabe und damit verbunden der Ergebnisse der Aufgaben des AB 4 mit Hilfe des Computerprogramms. - Beschreibung der verschiedenen als Zuchtziel ausgewählten Hundetypen, Vergleich der Anzahl an Zuchtschritten, sowie Vorstellung der Vorgehensweise bei der Hundezüchtung durch SuS.	Computer, Programm Hundezüchtung, Beamer Tafel TB 3 Lösung AB 4	SB
Ergebnis 1 (3)	- Ergebnis der Aufgaben 1 und 4 des AB 4 werden an der Tafel als <i>Voraussetzungen zur Zucht</i> gesichert und ins Heft übernommen. - Verifizierung der letzten Hypothese mit Erklärung.	Tafel, Lösung AB 4 OHP, Folie 2, Folienstift	UG
Überleitung (4)	- Präsentation von Abbildungen verschiedener Wild- und Nutzformen als unsortierte "Folienschnipsel". - Ggf. Aufforderung der Schüler zum Sortieren (Bilden zweier Gruppen) und Darstellen eines möglichen Zusammenhangs (→ <i>Übertragung des Zuchtprinzips auf Pflanzen: Nicht nur Haustiere, sondern auch Nutzpflanzen sind durch Züchtung entstanden.</i>)	OHP, Folie 3 Tafel TB 3	LI UG, SB
Erarbeitung 2 (5)	- Übertragung der Vorgehensweise bei der Züchtung auf die Beispiele Apfel und Karotte anhand zeichnerischer Darstellung von drei Generationen auf dem AB 5. - Erklärung der Bearbeitung von AB 5: - Karte mit Symbol und Zahl ordnet Objekt (Äpfel oder Karotten) und Partner (gleiche Nummer) zu. - Zeichnen der ersten Generation und Beschreibung eines Zuchtziels. - Tauschen der AB und weitere Bearbeitung durch den Partner. - Kontrolle der Bearbeitung durch erneuten Tausch. - Verteilen der Karten, Finden der Partner und Bearbeitung des AB 5 durch SuS.	AB 5, Karten mit Symbol und Nummer	LV PA

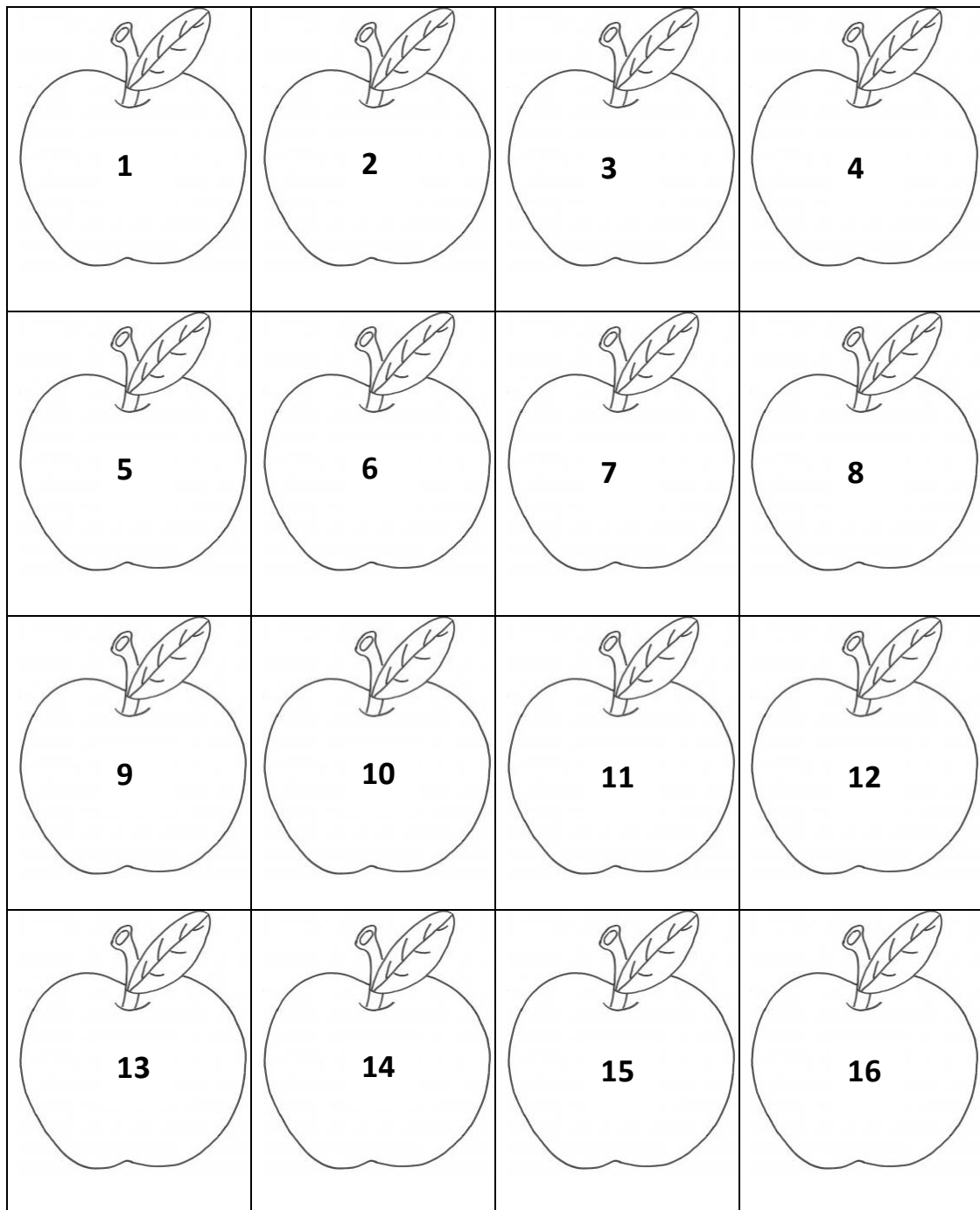
3. Stunde: Auslesezüchtung als allgemeines Zuchtprinzip**Tafelbild 3, Folie 3****Tafelbild 3:****Vorraussetzungen zur Zucht:**

Variation: Eine zur Zucht geeignete Gruppe von Lebewesen sollte große Unterschiede an Merkmalen aufweisen.

Vererbung: Nachkommen sehen den Eltern ähnlich, gleichen ihnen aber nicht völlig. So haben die Hunde längere/kürzere Beine oder dunkleres/helleres Fell als die Eltern. Geschwister unterscheiden sich voneinander.

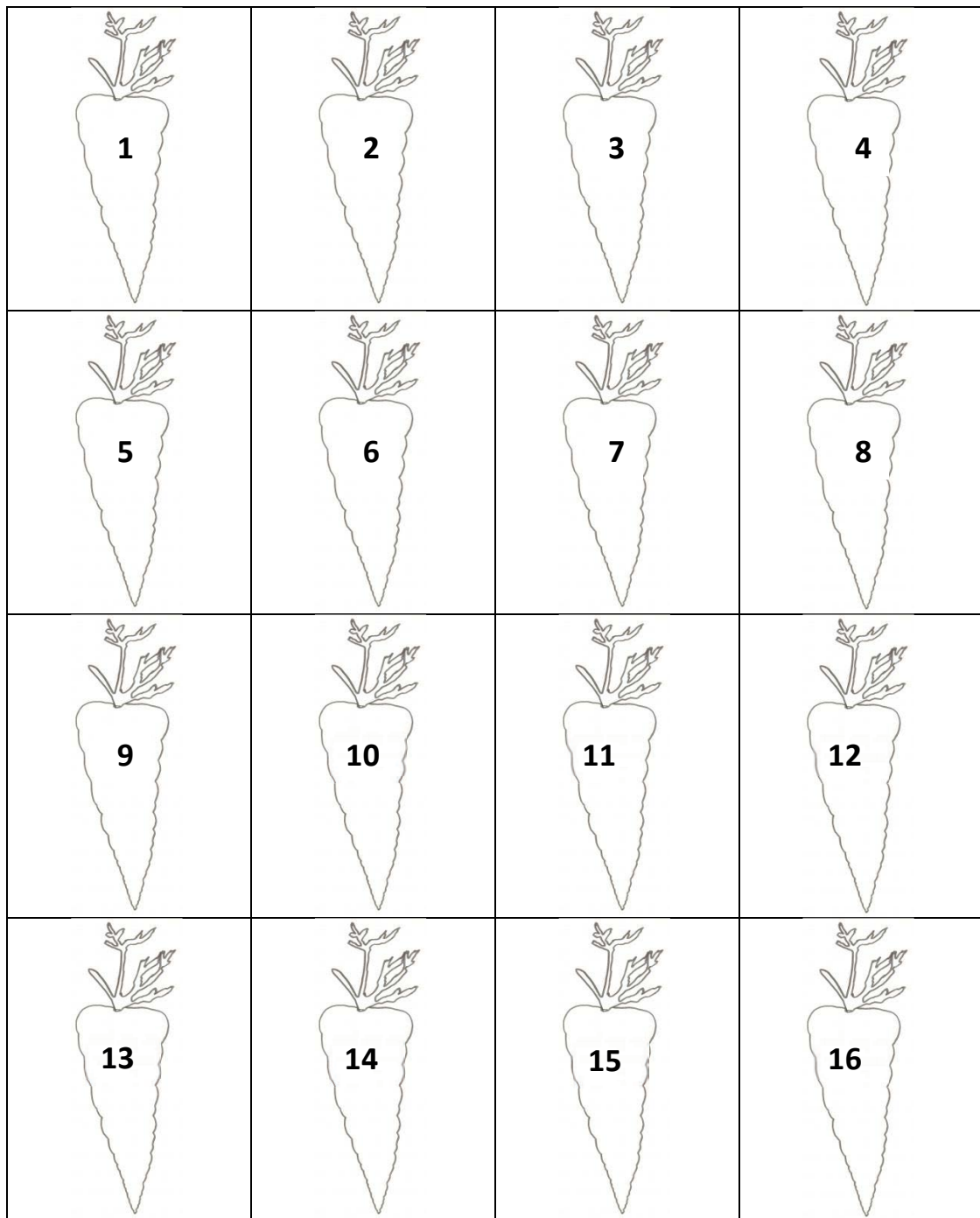
Nicht nur Haustiere, sondern auch Nutzpflanzen sind durch Züchtung entstanden. Das Prinzip von Züchtung können wir bei Pflanzen anwenden.

Folie 3:

3. Stunde: Auslesezüchtung als allgemeines Zuchtprinzip**Kartenvorlage****Kartenvorlage mit Symbolen und Nummern:**

3. Stunde: Auslesezüchtung als allgemeines Zuchtprinzip

Kartenvorlage



3. Stunde: Auslesezüchtung**Lösung AB 4**

Lösung Arbeitsblatt 4: Virtuelle Hundezüchtung:

1. Eine zur Zucht geeignete Hundegruppe sollte große Unterschiede an Merkmalen aufweisen.
2. Je nach Zuchtziel werden die Angaben unterschiedlich sein. Hier sollte der Hundetyp in Hinblick auf die beiden Merkmalsvariationen Fellfarbe (Kontrast) und Körpergröße (Beinlänge), sowie daraus resultierenden Verwendungsmöglichkeiten beschrieben werden.
3. Je nach Zuchtziel werden die Angaben unterschiedlich sein. Bei jedem Zuchtschritt werden aus den fünf Nachkommen die beiden zur weiteren Zucht ausgesucht, die dem Zuchtziel im Hinblick auf die beiden Merkmale am ehesten entsprechen. Hierbei wird jeweils ein Kompromiss zwischen den beiden Variationen getroffen.
4. Nachkommen sehen den Eltern ähnlich, gleichen ihnen aber nicht völlig. So haben die Hunde längere/kürzere Beine oder dunkleres/helleres Fell als die Eltern. Geschwister unterscheiden sich voneinander.
5. Je mehr Züchtungsschritte man durchführt, desto mehr entsprechen die Nachkommen im Durchschnitt dem Zuchtziel. Sollen kurzbeinige Hunde mit dunklem Fell gezüchtet werden, so wird mit jedem Züchtungsschritt (Generation) die Beinlänge der Nachkommen im Durchschnitt kürzer und das Fell dunkler werden.

3. Stunde: Auslesezüchtung als allgemeines Zuchtprinzip

AB 5

AB 5: Die Zucht von Pflanzen: Bei der Zucht von Pflanzen überträgt der Züchter gezielt mit dem Pinsel Pollen der einen Pflanze (= Vater der nächsten Generation) auf die Blüte einer anderen Pflanze übertragen (= Mutter der nächsten Generation). Aus den hieraus entstandenen Samen werden wieder Pflanzen gezüchtet (Kinder = 2. Generation).
(verändert nach Felzmann 2006)

Aufgaben:

1. Zeichne die erste Generation von Wilden Möhren oder Karotten(beachte Variationen) und lege ein Zuchtziel fest. Tausche das Arbeitsblatt mit deinem Partner.
2. Führe die Zucht für die zweite und dritte Generation durch und markiere in jeder Generation, welche du zur Zucht ausgewählt hast.
3. Tausche wieder mit deinem Partner und kontrolliere seine Ergebnisse.

Die erste Generation von

Zuchtziel:

--	--	--	--	--	--

Die zweite Generation:

--	--	--	--	--	--

Die dritte Generation:

--	--	--	--	--	--

4. Stunde: Alles Kohl –Mutation erzeugt Variation**Ziele, Hinweise****Thema der 4. Stunde:**

Alles Kohl – Mutation erzeugt Variation – Beitrag der Mutation zur Erzeugung von Variation und allgemeiner Ablauf der Auslesezüchtung

Lernziele**Stundenziel:**

Die Schülerinnen und Schüler sollen die Bedeutung von Mutationen für die Variation von Merkmalen am Beispiel der Züchtung von Kohlsorten kennen und den allgemeinen Ablauf der Auslesezüchtung in Einzelschritten beschreiben können.

Teilziele: Die Schülerinnen und Schüler sollen

- ihr Vorgehen bei der Züchtung von Möhren bzw. Äpfeln im Hinblick auf Auswahl der Elterntiere zum Kreuzen und Veränderung des betrachteten Merkmals über die Generationen beschreiben.
- durch die Textabschnitte erkennen, dass Züchtung nach einzelnen, zeitlich folgenden Schritten abläuft und deren zeitliche Sortierung vorschlagen.
- ihre Erkenntnisse der konkreten Beispiele auf abstrakte verallgemeinerte Schritte der klassischen Züchtung bei der Erstellung der Ablaufschemas transferieren.
- Anpassung als schrittweisen, über Generationen verlaufenden Prozess bei der Züchtung beschreiben.
- den Unterschied der Entstehung mehrerer Sorten aus einer Wildform beim Kohl im Vergleich zu den anderen Beispielen anhand der Abbildungen benennen und hinterfragen.
- unter Einbezug ihres Vorwissens die Kohlsorten und Speicherorgane richtig benennen.
- die Bedeutung von Mutation zur Erzeugung von Variation durch das Beispiel der Entstehung der Kohlsorten erkennen und herausstellen.

Hinweise und Erläuterungen zur Durchführung des Unterrichts

- (1) Die bekannten Abbildungen ermöglichen einen schnellen Einstieg. Haben Schüler unterschiedliche Zuchtziele festgelegt, sollten diese bei ausreichender Zeit auch vorgestellt werden. Bei den Zeichnungen ist im Gespräch zu überprüfen, ob das Prinzip der Variation entsprechend berücksichtigt wurde und sich das betrachtete Merkmal nicht bei allen Individuen dem Zuchtziel nähert (sondern nur der Durchschnitt). Vor allem letzteres ist wichtig damit deutlich wird, dass Anpassung ein Prozess ist, der sich nicht auf das Individuum sondern die Population bezieht. Die Ergebnisse der Schüler (AB7) sollten eingesammelt und aufbewahrt oder kopiert werden, dabei sollte der Code eingefügt werden.
- (2) Der Arbeitsauftrag zur Bearbeitung von AB 6a/b wird mündlich bei der Betrachtung der Textabschnitte formuliert. Die Schüler sind darauf hinzuweisen, die Textkärtchen zuerst nur lose in die Felder zu legen und nach dem Vergleichen durch Einzukleben zu fixieren.
- (6) An dieser Stelle kann auch das erstellte Ablaufschema als Folie zur Hilfe genommen und verdeutlicht werden, dass Variation durch Mutation und Vererbung entsteht. Im Gespräch sollte Wert auf den nichtvorhersehbaren Charakter, vor allem den nicht immer vorteilhaften Charakter von Mutationen Wert gelegt werden.

4. Stunde: Alles Kohl –Mutation erzeugt Variation

Stundenverlaufsplan

Stundenverlaufsplan 4. Stunde: Alles Kohl – Mutation erzeugt Variation

Unterrichts-phase	Sach- / Verhaltensaspekt	Medien	SF
Einstieg und Ergebnis 1 (1)	- Anknüpfung an die vorherige Stunde durch erneute Präsentation der Folienschnipsel. - Vorstellen und Vergleich der Züchtungen (AB 5).	OHP, Folie 3	UG SB
Sicherung 1 (Erarbeitung 1) (2)	- Präsentation der Textfelder für die Erstellung eines Ablaufschemas. - Folgerung durch SuS, dass Textabschnitte einen Ablauf darstellen und deshalb in Reihenfolge sortiert werden können. - Bearbeitung des AB 6b „Wie Züchtung funktioniert“ durch Zuordnung der Textabschnitte (AB 6a) in die leeren Felder des Ablaufschemas (AB 6b). - Vergleich der Ergebnisse auf Folie und Einkleben der Textfelder in das Schema.	OHP, Folie 4.1, AB 6 Scheren, Klebe OHP, Folie 4.1, 4.2	UG PA SB
Überleitung (3)	- Erneuter Rückgriff auf Abbildungen und Vergleich des Kohls mit den anderen Beispielen. - Formulierung einer Problemfrage: <i>“Wie ist es zu erklären, dass ausgehend vom Wildkohl so unterschiedliche Kohlsorten entstanden sind?”</i>	OHP, Folie 3 Tafel, TB 4	LI UG
Erarbeitung 2 (4)	Bearbeitung des AB 7 zur Klärung der aufgeworfenen Fragestellung.	AB 7	EA / PA
Ergebnis 2 (5)	- Darstellung und Vergleich der ersten drei Aufgaben des AB 7 anhand Eintragung der Lösungen auf Folie. - Erklärung der Entstehung der Kohlsorten durch Schüler.	OHP, Folie 4.3 Tafel, TB 4	SB
Sicherung 2 (6)	- Eine Antwort auf die Fragestellung wird formuliert, wobei die Bedeutung von Mutation zur Erzeugung von Variation herausgestellt wird. - Der Begriff Mutation wird in die Begriffsliste übernommen.	Tafel, TB 4 <i>(Begriffsliste)</i>	UG

4. Stunde: Alles Kohl –Mutation erzeugt Variation**Tafelbild 4, Folie 4.1****Tafelbild 4:**

Wie ist es zu erklären, dass ausgehend vom Wildkohl so unterschiedliche Kohlsorten entstanden sind?

Durch unterschiedliche Mutationen fand eine Veränderung der verschiedenen Speicherorgane (Blätter, Blütenstand und Sprossachse) statt.

Hierdurch konnten verschiedene Sorten durch Züchtung aus einer Ursprungspflanze entstehen.

Mutationen können zur Veränderung eines Merkmals führen und so zur Variation beitragen.

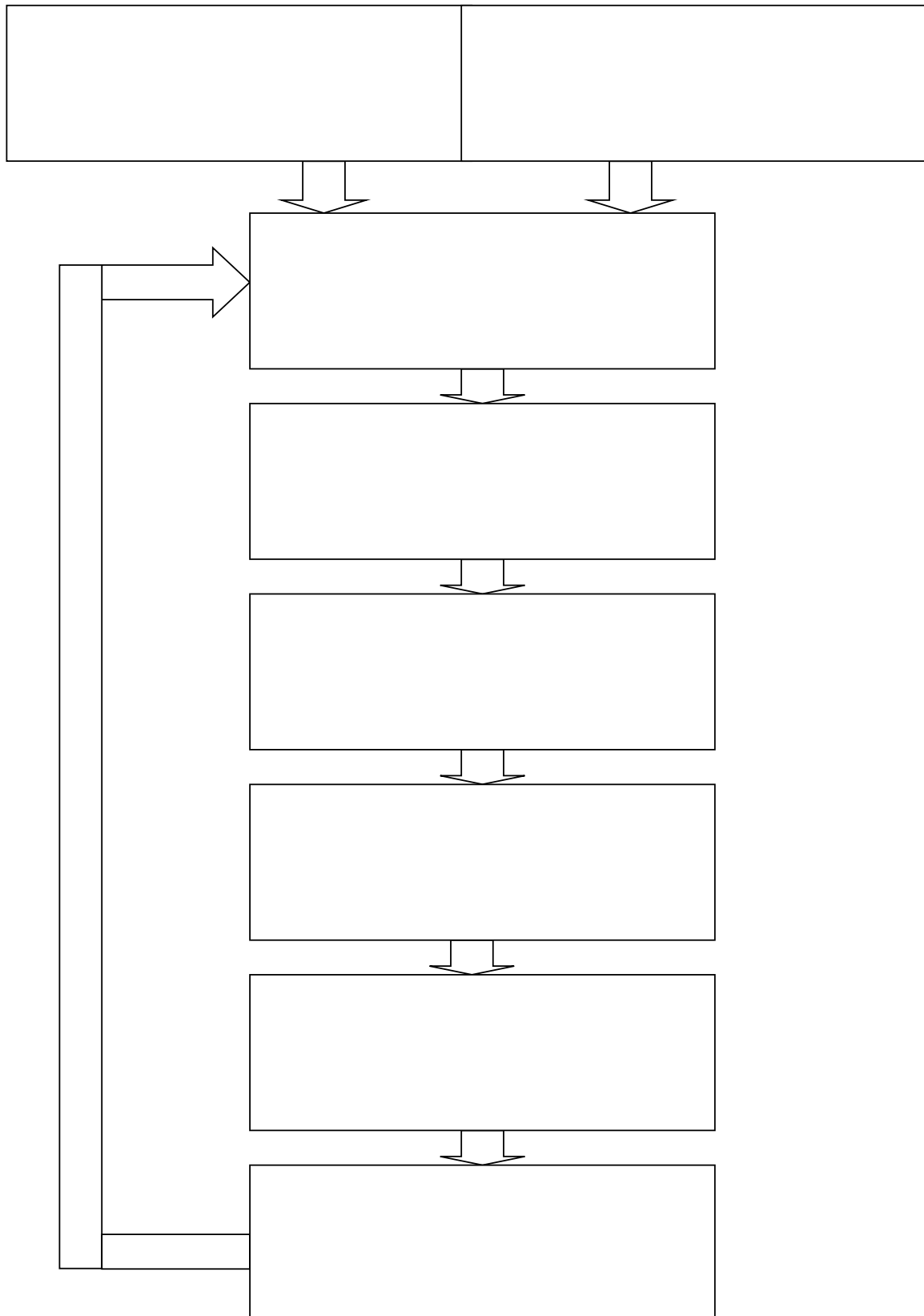
Folie 4.1 Textfelder für das Flussdiagramm

Kreuzen der ausgewählten Individuen.	Weitergabe der Erbsubstanz an die Nachkommen.
Schrittweise Anpassung an das Zuchtziel	Individuen einer Art zeigen eine Variation in Merkmalen.
Bestimmung eines Zuchtziels mit bestimmten Merkmalen	Nachkommen entsprechen im Durchschnitt etwas mehr dem Zuchtziel.
Vererbte Merkmale sind durch Gene festgelegt.	Künstliche Selektion von Lebewesen nach bestimmten Merkmalen

4. Stunde: Alles Kohl –Mutation erzeugt Variation

Folie 4.2

Folie 4.2 Wie Züchtung funktioniert – eine Übersicht

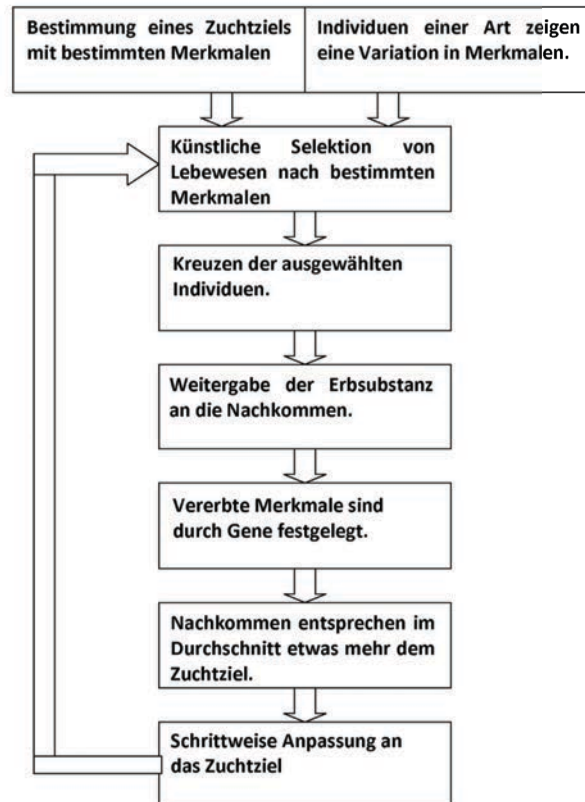


4. Stunde: Alles Kohl – Mutation erzeugt Variation

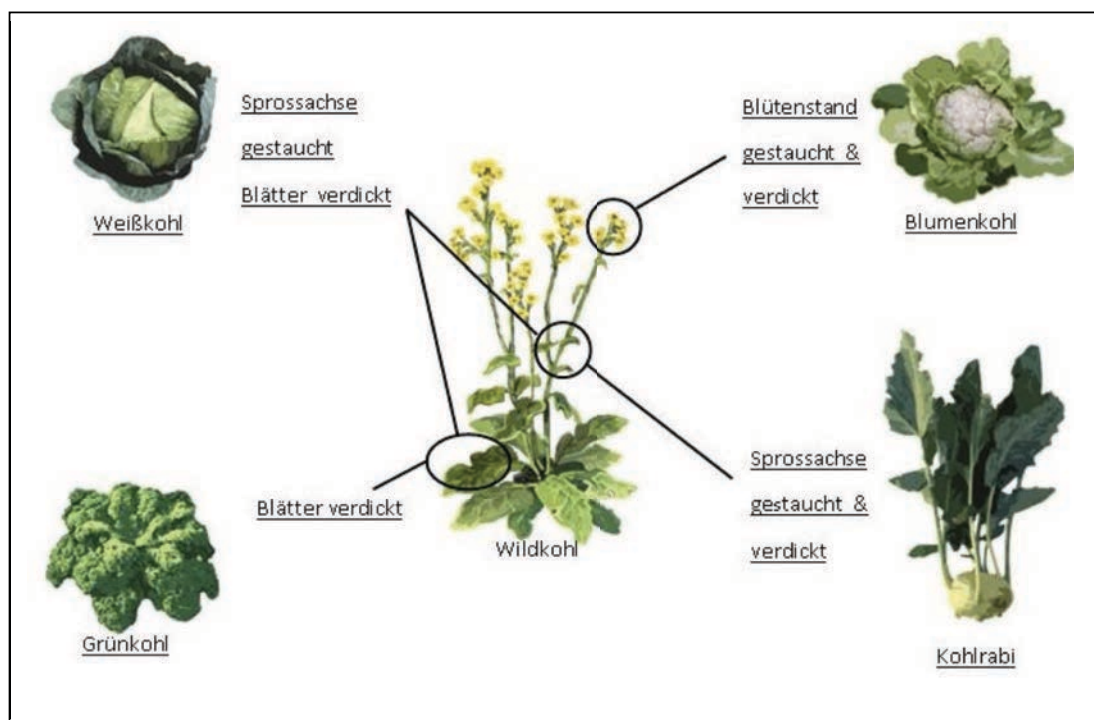
Lösung AB 6, AB 7

Lösung der Arbeitsblätter

Lösung AB 6 Wie Züchtung funktioniert – eine Übersicht



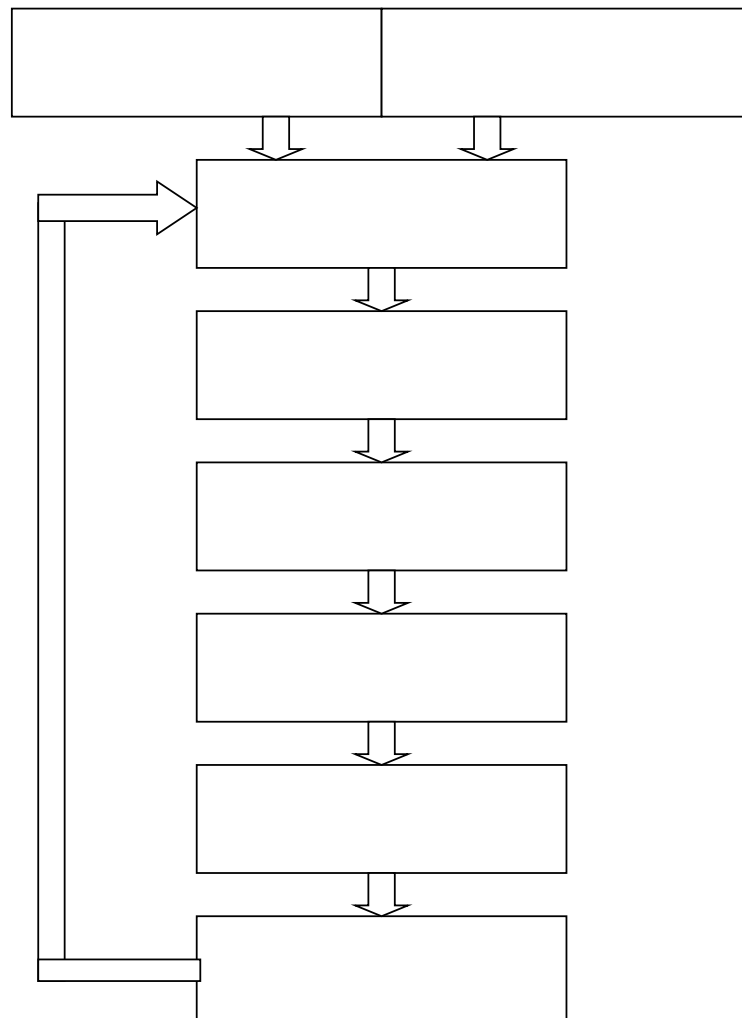
Lösung AB 7: Entstehung der Kohlsorten



4. Stunde: Alles Kohl – Mutation erzeugt Variation -

AB 6

AB 6: Wie Züchtung funktioniert – eine Übersicht



Kreuzen der ausgewählten Individuen.	Schrittweise Anpassung an das Zuchtziel
Bestimmung eines Zuchtziels mit bestimmten Merkmalen	Vererbte Merkmale sind durch Gene festgelegt.
Weitergabe der Erbsubstanz an die Nachkommen.	Individuen einer Art zeigen eine Variation in Merkmalen.
Nachkommen entsprechen im Durchschnitt etwas mehr dem Zuchtziel.	Künstliche Selektion von Lebewesen nach bestimmten Merkmalen

4. Stunde: Alles Kohl – Mutation erzeugt Variation -

Folie 4.3 / AB 7

Folie 4.3 / AB 7: Entstehung der Kohlsorten

Die Kohlsorten stammen von einem gemeinsamen Vorfahren, dem Wildkohl, ab und gehören mit diesem zusammen zu einer Art. Bei diesem fand durch natürliche Mutation eine Umwandlung von Pflanzenteilen zu Speicherorganen statt.

**Pflanzennamen:**

- Kohlrabi
- Weißkohl
- Grünkohl
- Wildkohl
- Blumenkohl

Begriff Mutation:

Eine Mutation ist eine nicht vorhersehbare Veränderung der Erbsubstanz, die spontan und zufällig auftritt.

Umwandlung zu**Speicherorganen:**

- Blätter verdickt
- Blütenstand gestaucht + verdickt
- Sprossachse gestaucht + Blätter verdickt
- Sprossachse gestaucht + verdickt

Aufgaben:

1. Ordne den Abbildungen Pflanzennamen zu.
2. Schreibe zu jeder Pflanze die erfolgte Umwandlung zu Speicherorganen.
3. Markiere bei der mittleren Abbildung den umgewandelten Pflanzenteil und ziehe Verbindungslinien zum entsprechenden Text.
4. Bestimmt kannst du die Entstehung der Kohlsorten erklären. Suche dir ein Beispiel aus und überlege dir eine entsprechende Erklärung mündlich

5. Stunde: Vernetzte Begriffe**Ziele, Hinweise****Thema der 5. Stunde:**

Vernetzte Begriffe – Entwicklung von Begriffsnetzen zur künstlichen Selektion

Lernziele**Stundenziel:**

Die Schülerinnen und Schüler sollen einen Überblick über das Thema künstliche Selektion erhalten, indem sie durch die Erstellung von Begriffsnetzen Zusammenhänge zwischen bisher erarbeiteten Begriffen bilden und benennen.

Teilziele: Die Schülerinnen und Schüler sollen

- die Methode des Concept-Mapping kennen lernen und Zusammenhänge aus einem gegebenen Beispielnetz angeben.
- Charakteristika eines Begriffsnetzes anhand des Beispiels auf dem Arbeitsblatt benennen.
- Zusammenhänge zwischen den erarbeiteten Begriffen bilden.
- Relationen zwischen den Begriffen anhand einer vorgegebenen Wortauswahl bilden.
- selbst erstellte Begriffsnetze ändern präsentieren.
- Strukturen in Begriffsnetzen vergleichen.

Hinweise und Erläuterungen zur Durchführung des Unterrichts

Diese Stunde bildet in Bezug auf die Thematik Auslesezüchtung durch künstliche Selektion den Abschluss. Aus diesem Grunde werden an dieser Stelle bisher behandelten Begriffe aufgegriffen und in Form von Begriffsnetzen Zusammenhänge gebildet. Gleichzeitig dient diese Stunde auch als „Zeitpuffer“, bei Zeitknappheit sollte der Stundenablauf durch Streichen der Gruppenarbeit variiert werden.

- (2) Die meisten Schüler werden mit der Methode des Erstellens von Begriffsnetzen nicht vertraut sein, deshalb ist es an dieser Stelle wichtig vor dem eigenen Erstellen von Concept-Maps Grundprinzipien an dem Beispielnetz zu verdeutlichen.

Es sollte verdeutlicht werden, dass im Prinzip mit Hilfe der beschrifteten, gerichteten Verbindung und den beiden Begriffen ein Satz gebildet werden kann (z.B. Die Katze ist ein Tier). Die Bedeutung der Pfeilspitze ist an einem Beispiel anzusprechen: Die eine Richtung ergibt einen sachlich richtigen Zusammenhang (z.B.: Die Maus frisst den Käse), die Umkehrung hingegen ergibt Unsinn (z.B.: Der Käse frisst die Maus). Es ist sinnvoll, auf die Verwendungsmöglichkeit von Präpositionen anstelle von Verben hinzuweisen, da diese auch in der Wortliste auf dem Arbeitsblatt vorkommen.

Als Vereinfachung wurde die Anordnung der Begriffe auf dem Arbeitsblatt sowie zu verwendende Wörter für die Beschriftung der Pfeile, vorgegeben. Die Schüler sind darauf hinzuweisen, dass es keine feste vorgegebene Anzahl von Verbindungen gibt.

- (3) Da Begriffsnetze sich anhand der Anzahl und Art der dargestellten Zusammenhänge zur Analyse von Wissensstrukturen eignen, sollten an dieser Stelle die Ergebnisse der einzelnen Schüler eingesammelt und aufbewahrt werden.
- (4) Der Vergleich der Begriffsnetze in der Gruppe bietet Diskussionsmöglichkeiten, wobei falsche Zusammenhänge erkannt und bei der Bildung eines gemeinsamen Begriffsnetzes geändert werden können.

5. Stunde: Vernetzte Begriffe**Stundenverlaufsplan****Stundenverlaufsplan 5. Stunde: Vernetzte Begriffe –Begriffsnetzen zur künstlichen Selektion**

Unterrichts-phase	Sach- / Verhaltensaspekt	Medien	SF
Einstieg (1)	- Anheften von Begriffskarten mit bisher behandelten Begriffen an die Tafel. - Impuls Begriffe zu Ordnen und Zusammenhänge zu erläutern. - Information: Methode zur Verdeutlichung und Strukturierung von Zusammenhängen	Begriffskarten, Magnete oder Klebestreifen	LI SB, UG
Erarbeitung 1 (2)	- SuS entnehmen dem AB 8 allgemeine Informationen über ein Begriffsnetz. - Charakteristische Eigenschaften eines solchen Concept-Map werden anhand des angegebenen Beispiels besprochen und herausgestellt. - Gemeinsame Umsetzung der Arbeitsanweisungen auf dem AB 8 an einem Begriffspaar (Variation – in – Merkmal) als erster Schritt zur Erstellung eines eigenen Begriffsnetzes - Klärung von Verständnisfragen zur weiteren Bearbeitung. - Fertigstellen des Begriffsnetzes.	AB 8 OHP, Folie 5	EA UG EA
Ergebnis 1 (3)	- Bilden von Gruppen (4-6 SuS) - Vorstellen und Vergleichen der Begriffsnetze in Gruppen		GA
Erarbeitung 2 (4)	Diskussion über Zusammenhänge und Bilden eines Gruppen-Begriffsnetzes	Abb. Folie 5	GA
Ergebnis 2 (5)	Vergleich der Begriffsnetze der Gruppen		UG

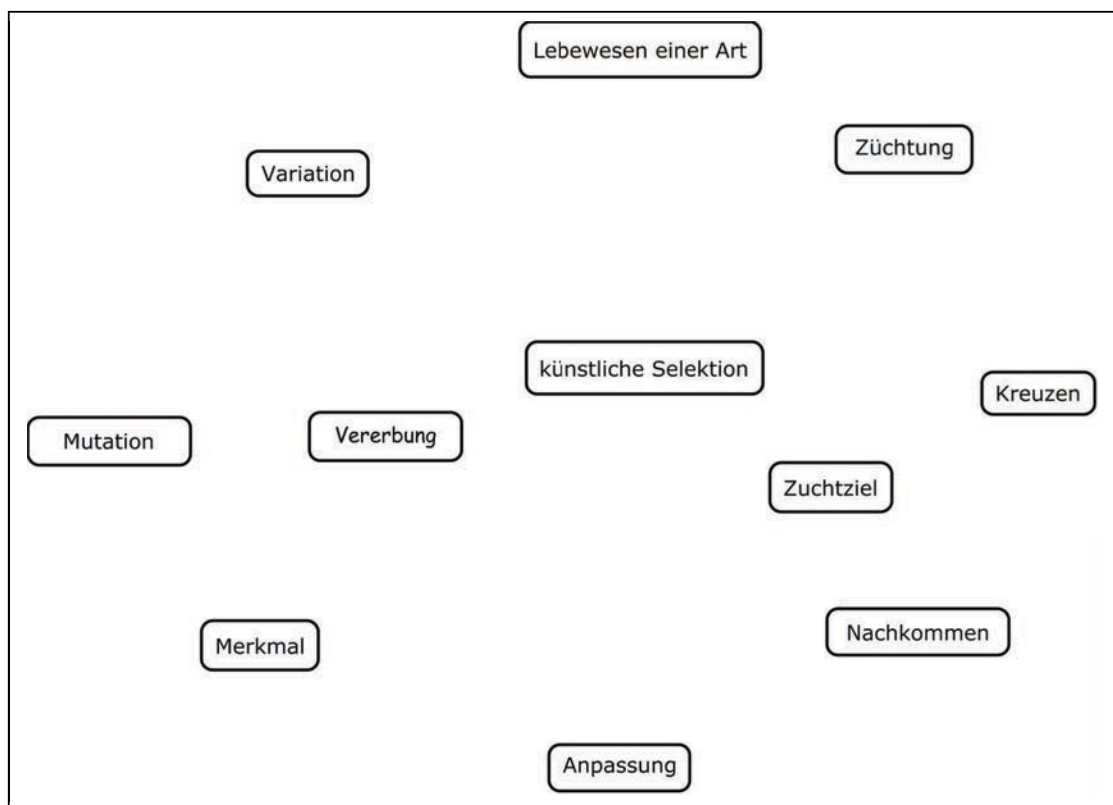
5. Stunde: Vernetzte Begriffe

Begriffskarten, Folie 5

Vorlage Begriffskarten (beim Kopieren entsprechend vergrößern):

Variation	künstliche Selektion
Mutation	Zuchtziel
Vererbung	Nachkommen
Merkmal	Anpassung
Kreuzen	Züchtung
Lebewesen einer Art	

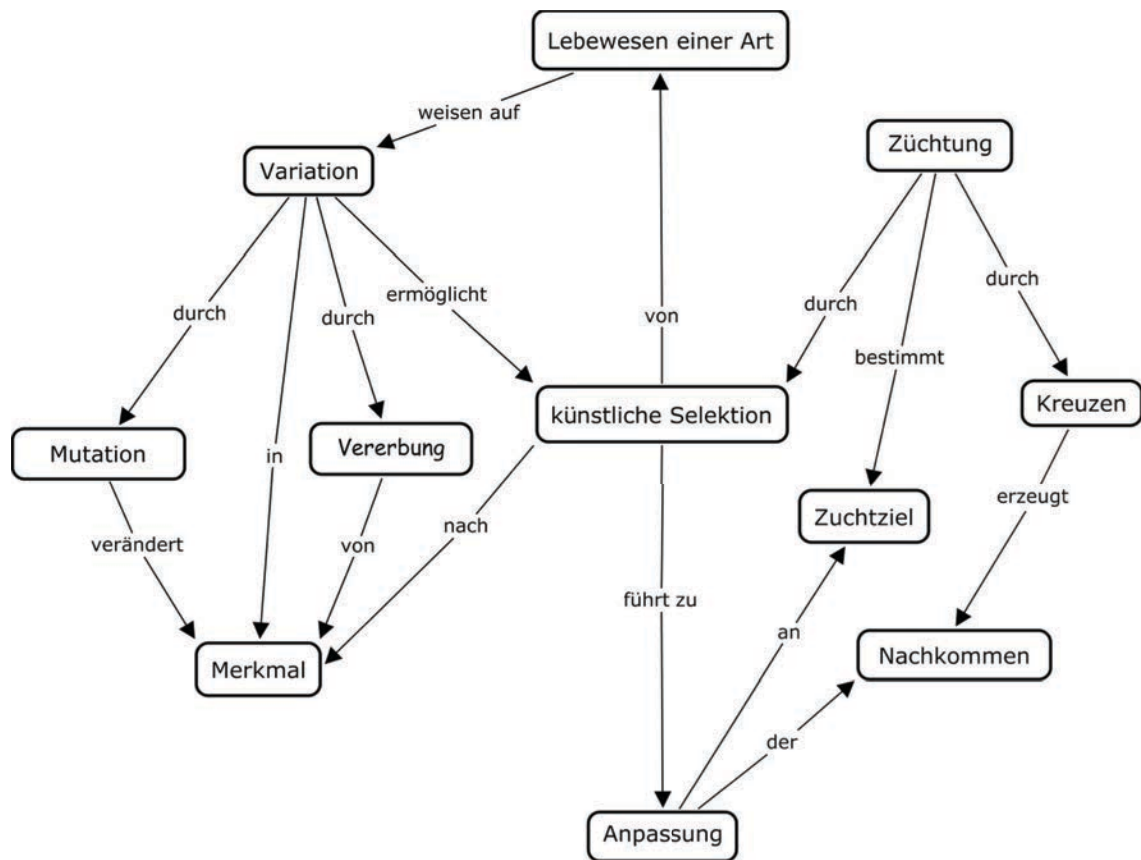
Folie 5 (beim Kopieren für Gruppen Größe entsprechend verändern):



5. Stunde: Vernetzte Begriffe

Lösung AB 8

Lösungsvariante AB 8



5. Stunde: Vernetzte Begriffe

AB 8

AB 8: Ein Begriffsnetz erstellen

Mit Begriffsnetzen kannst du schnell einen Überblick über ein Thema erhalten. Zusammenhänge zwischen den einzelnen Begriffen werden hierbei durch beschriftete Verbindungen dargestellt und ermöglichen ein Thema als Ganzes besser zu verstehen.

Versuch es doch selbst einmal!

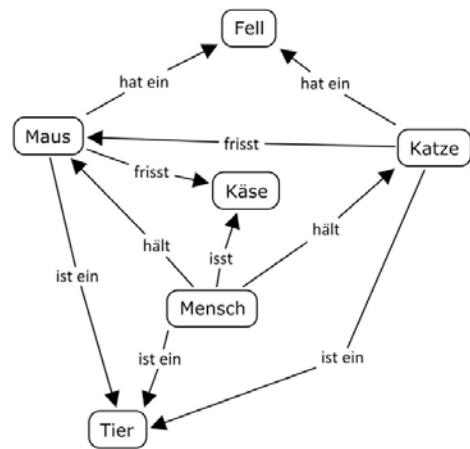
Aufgaben: Die unten abgebildeten Begriffe hast Du in den letzten Stunden kennengelernt. Diese sollst Du nun zu einem Begriffsnetz ergänzen:

1. **Zusammenhängende Begriffe verbinden:**

Verbinde Begriffe die etwas miteinander zu tun haben durch eine Linie.

2. **Verbindungen erklären:**

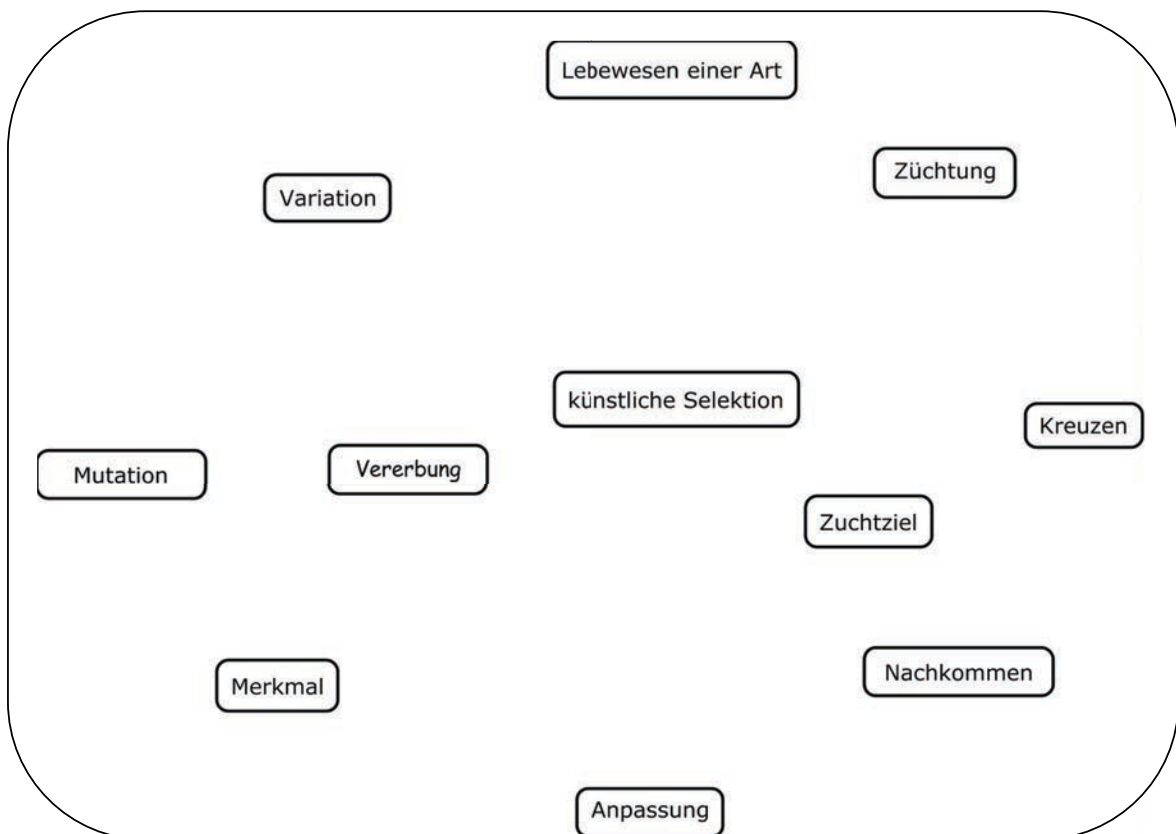
Um die Verbindungen zu erklären, musst Du nun auf jede Linie ein oder mehrere Wörter schreiben. Verwende hierzu Wörter aus der angegebenen Wortliste. Du darfst auch das gleiche Wort mehrfach verwenden und du musst nicht alle Wörter verwenden. Verdeutliche deine Erklärung, indem du die Linie mit einer Pfeilspitze versiehst.



Beispiel für ein Begriffsnetz

Wortliste:

an	bestimmt	durch
ermöglicht	erzeugt	führt zu
haben	in	nach
verändert	von	weisen auf



6. Stunde: Bunte Punkte erklären Anpassung**Ziele, Hinweise****Thema der 6. Stunde:**

Bunte Punkte erklären Anpassung – Anpassung als Abwandlung einer Population durch Selektion erarbeitet mit Hilfe der Computersimulation EvoDots.

Lernziele**Stundenziel:**

Die Schülerinnen und Schüler sollen mit Hilfe der Computersimulation EvoDots das Grundprinzip der natürlichen Selektion erfahren und dies zur Erklärung der Anpassung der simulierten Punkte anwenden können.

Teilziele: Die Schülerinnen und Schüler sollen

- die Angepasstheit von vielen Tieren anhand der Abbildungen von Schneehase, Birkenspanner, wandelndem Blatt und Eisbär bemerken und herausstellen.
- ihre Vorstellungen zur Entstehung von Anpassungen am Beispiel des Schneehasen als Vermutung formulieren.
- die Computersimulation EvoDots in Gruppen- bzw. Partnerarbeit anhand der Anleitung auf dem Arbeitsblatt selbstständig durchführen.
- erkennen und benennen, dass in der Simulation die langsameren Punkte häufiger gefressen werden.
- aus den Erkenntnissen bei der Simulation folgern, dass höhere Geschwindigkeit wahrscheinlicher zum Überleben führt, Fortpflanzung ermöglicht und ein Anstieg der Durchschnittsgeschwindigkeit als Anpassung erfolgt.

Hinweise und Erläuterungen zur Durchführung des Unterrichts

- (2) Bei der Formulierung der Problemfrage ist darauf zu achten, dass als einleitendes Fragewort nicht warum gewählt wird, da die SuS dann eher funktionale Beschreibungen, aber nicht Erklärungen liefern. Ebenso sollte auf die Verwendung der passiven Form („...Punkte wurden angepasst“) für den Prozess und der substantivierten Form (Angepasstheit) für den Zustand geachtet werden.
- (3) Zur Ermittlung und späteren Reflektion der Schülervorstellungen sollten die Schüler eine kurze Erklärung der Entstehung des Winterfells des Schneehasen an dieser Stelle formulieren. Die Wahl des konkreten Beispiels macht die Erklärung einfacher. Zur Hilfestellung sind entsprechend einleitende Worte zu wählen.
- (4) Je nach Möglichkeiten und Anzahl von Computern kann die Simulation in Partner- oder Gruppenarbeit durchgeführt werden. Hierbei ist darauf zu achten, dass die SuS erst die Durchführung komplett lesen und bei Verständnisschwierigkeiten entsprechend nachfragen. Das Programm EvoDots ist ein frei verfügbares, ursprünglich englisches Programm. Ein Teil der Beschriftung, vor allem die der Buttons, wurde in deutsche Sprache übersetzt, dies war leider aber nicht für alle Programmteile möglich.
- (5) An dieser Stelle sollte die Herstellung des Zusammenhangs zwischen Ergebnissen der Simulation und Anpassung der Punkte hergestellt werden. Ein Transfer auf Beispiele aus der Natur ist zu diesem Zeitpunkt schwierig und ist deshalb erst nach weiterer Anwendung nach der nächsten Stunde sinnvoll. Bei der Besprechung der Aufgaben kann, wenn sich die Möglichkeit bietet, die Überlegung initiiert werden, ob eine weitere Veränderung nach erfolgter Anpassung hier noch möglich wäre.

6. Stunde: Bunte Punkte erklären Anpassung

Stundenverlaufsplan

Stundenverlaufsplan 6. Stunde: Bunte Punkte erklären Anpassung

Unterrichtsphase	Sach- / Verhaltensaspekt	Medien	SF
Einstieg (1)	- Präsentation der Abbildungen von Lebewesen auf Folie, welche Angepasstheit an ihren Lebensraum aufweisen. - Beschreibung der Abbildungen und Herausstellen der Angepasstheit an Lebensräume als Gemeinsamkeit.	Folie 6, OHP	LI, UG
Entwicklung einer Problemfrage (2)	z.B.: „Wie ist es zu erklären, dass die Lebewesen so stark an ihre Umwelt angepasst sind?“ oder „Wie hat sich die Angepasstheit der Lebewesen entwickelt?“	Tafel, TB 6	UG
Einbezug von Schülervorstellungen (3)	- Überleitung: SuS überlegen Angepasstheiten entstanden sind. - SuS formulieren ihre Vorstellungen, wie das Winterfell des Schneehasen nach ihren Vorstellungen entstanden sein könnte. „Erkläre, wie das weiße Fell des Schneehasen entstanden sein könnte. Gehe hierbei davon aus, dass es zuerst nur Hasen mit braunem Fell gab.“		EA
Erarbeitung (4)	- Durchführung der Computersimulation EvoDots, wobei die Punkte im Merkmal Geschwindigkeit variieren. - Bearbeitung der Aufgaben des ABs.	AB 9, Computer, Programm EvoDots	PA / GA
Auswertung und Ergebnissicherung (5)	- Vorstellen und Besprechen der Aufgaben. - Herausstellen der Veränderung der mittleren durchschnittlichen Geschwindigkeit der Punkte - Bilden eines Zusammenhangs in Bezug auf den Prozess der Anpassung.	AB 9 Tafel, TB 6	UG,

6. Stunde: Bunte Punkte erklären Anpassung**Tafelbild 6 / Lösung AB 9 / Folie 6****Tafelbild 6:**

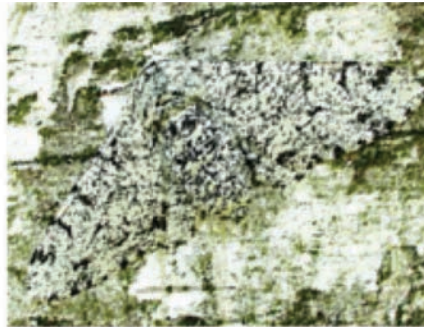
Frage: Wie ist es zu erklären, dass viele Tiere scheinbar so perfekt an ihre Umgebung angepasst sind?

Vorgehensweise: Wir benutzen das Computerprogramm EvoDots und jagen bewegliche Punkte, die sich in ihrer Geschwindigkeit unterscheiden.

Erklärung: Der Räuber frisst eher die langsameren Punkte. Hierdurch können die schnelleren Punkte überleben und sich vermehren. Es erfolgt eine Selektion von schnelleren Punkten und eine Anpassung in Form von Erhöhung der mittleren Geschwindigkeit.

Lösung der Aufgaben von AB 9:

- a) Je langsamer sich die Punkte bewegen, desto häufiger werden sie gefressen. Deshalb werden die Farben schwarz und violett relativ häufig angeklickt.
- b) Die schnelleren Punkte werden nicht gefressen, ihre Anzahl steigt mit zunehmenden Jagdrunden.
- c) *wahrscheinlich orange*
- d) Die Farbe eines Punktes wechselt nicht, aber die Häufigkeit der Punkte. Die langsamen Punkte werden häufiger gefressen und können aussterben.
- e) Am Ende ganz vieler Jagdzeiten werden wahrscheinlich nur rote Punkte vorhanden sein, da sie die schnellsten sind.

Folie 6:

6. Stunde: Bunte Punkte erklären Anpassung

AB 9

AB 9: EvoDots – Jagd auf bunte Punkte

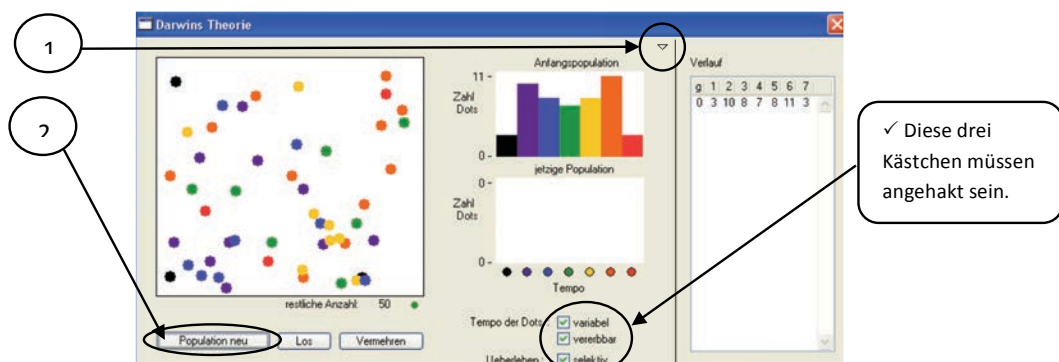
Das Computerprogramm EvoDots hilft dir die Entwicklung bzw. Veränderung von Lebewesen im Laufe der Zeit zu erforschen.

Hierbei geht es um farbige Punkte, die Dots. Du schlüpfst hierbei in die Rolle des Punktefressers. Deine Aufgabe ist es, den sich bewegenden Dots hinterher zu jagen und sie durch Klicken mit der Maus zu fressen, wobei Du alle Farben gleich gern frisst.



Aufgaben:

1. Starte das Programm EvoDots.
2. Einigt euch, wer in eurer Gruppe die Rolle des Punktefressers und wer die Rolle des Spielwächters übernimmt.
3. Klicke wie unten unter 1. und 2. gezeigt, dann sollte dein Fenster wie folgt aussehen:



4. Bevor ihr loslegt, tragt die Anzahl der Punkte jeder Farbe und die Gesamtpunktzahl in die Tabelle ein.
5. Der Spielwächter gibt nun das *Startkommando* und stoppt die Zeit. Die Jagd für den Punktefresser beginnt. Er klickt auf **Los** und versucht möglichst viele Punkte zu fressen. Nach 20 Sekunden gibt der Spielwächter das *Stoppsignal* und der Punktefresser klickt auf **Stopp**. Die Jagd ist vorüber.
6. Notiere jetzt noch nicht die Anzahl verbleibender Punkte, sondern klicke auf **Vermehren** und notiere nun die Punktezahl in die Tabelle.
7. Wiederhole die Schritte 5 und 6, bis die Tabelle komplett ausgefüllt ist.
8. Beantworte anschließend die folgenden Fragen, begründe dabei deine Antworten.

	Anzahl Punkte							
	schwarz (1)	violett (2)	blau (3)	grün (4)	gelb (5)	orange (6)	rot (7)	gesamt
0								
1								
2								
3								
4								

Fragen:

- a. Habt ihr auf einige Farben häufiger als auf andere geklickt? Warum?
- b. Hat sich die Punkteanzahl jeder Farbe im Verlauf der Jagdzeiten geändert? Warum?
- c. Welche Farbe ist am Ende am häufigsten vertreten?
- d. Hat sich die Farbe eines bestimmten Punktes geändert, oder die Häufigkeit der Farbe? Kannst du das erklären?
- e. Was erwartest du, wenn du ganz viele Jagdzeiten hintereinander durchführen würdest?

7. Stunde: Darwins Selektionstheorie**Ziele, Hinweise****Thema der 7. Stunde:**

Darwins Selektionstheorie – Anwendung und Überprüfung der Selektionstheorie anhand der Veränderung einer virtuellen Punktepopulation.

Lernziele**Stundenziel:**

Die Schülerinnen und Schüler sollen die Grundgedanken von Darwins Selektionstheorie kennen lernen und auf die Veränderung einer simulierten Punktepopulation anwenden können.

Teilziele: Die Schülerinnen und Schüler sollen

- unter Verwendung von Darwins Theorie begründet Vermutungen im Hinblick auf Veränderung der Punktepopulation in Bezug auf Abnahme der Größe bzw. Kontrast aufstellen.
- die Anpassung der Punkte unter Transfer der Erkenntnisse aus der letzten Stunde und der Selektionstheorie erklären.
- die Bedingungen Variabilität, Vererbbarkeit und Selektivität einzeln anhand des Computerprogramms auf ihre Notwendigkeit überprüfen und so die Bedeutung der Faktoren für Veränderung von Arten einschätzen.
- die Untersuchung der Veränderung einzelner, isolierter Parameter unter Konstanthaltung anderer Parameter in Versuchen am Beispiel der Theorieüberprüfung nennen.
- natürliche Selektion und vorteilhafte Merkmale anhand von Beispielen aus der Simulation erklären.

Hinweise und Erläuterungen zur Durchführung des Unterrichts

- (1) Den Einstieg bildet eine kurze Lehrerinformation über Darwin. Diese könnte z.B. folgendes beinhalten, wobei zuerst das Bild und dann die Selektionstheorie von Folie 7 gezeigt wird:
Ähnliche Fragen wie wir: Wie ist die Anpasstheit der Lebewesen an ihre Umgebung entstanden? Wie kommt es, dass es so viele unterschiedliche Arten gibt? Woher kommen wir? hat sich auch der berühmte Wissenschaftler Charles Darwin gestellt. Darwin bereiste die Welt, sammelte und verglich sehr viele Arten und forschte über 20 Jahre an seiner Idee. Vor 150 Jahren schrieb er ein Buch über seine Theorie der natürlichen Selektion und erklärte damit, wie sich das Leben auf der Erde und damit auch der Mensch entwickelt hat.
- (2) Zur Klärung, wie Vermutungen an dieser Stelle zu formulieren sind, bietet es sich an auf die letzte Stunde zurückzugreifen und die Variation an Geschwindigkeit bei den Dots als Beispiel zu betrachten. Aus Zeitgründen sollten die Gruppen arbeitsteilig die Anwendung der Theorie auf eines der Merkmale Form oder Kontrast untersuchen, die Zuordnung ist vor Beginn fest zu legen.
- (4) An dieser Stelle ist es zum Verständnis wichtig, die drei Bedingungen von Darwins Theorie (Variabilität, Vererbbarkeit und Selektivität) deutlich von den Schülerinnen und Schülern benennen zu lassen und im Gespräch zu klären, dass zur Überprüfung immer nur eine Bedingung isoliert zu verändern ist.
- (5) Der relativ abstrakte Begriff Umwelt muss mit konkretem Inhalt bzw. Beispielen verbunden werden. Es sollte dargestellt werden, dass Merkmale sich nicht nur vorteilhaft, sondern auch nachteilig oder neutral auswirken können.

7. Stunde: Darwins Selektionstheorie

Stundenverlaufsplan

Stundenverlaufsplan 7. Stunde: Darwins Selektionstheorie

Unterrichtsphase	Sach- / Verhaltensaspekt	Medien	SF
Einstieg (1)	- Kurzes Vorstellen von Charles Darwin, seinen Fragestellungen und seinem Werk. - Darstellen der Selektionstheorie auf Folie	Folie 7, OHP	LV,
Erarbeitung I (2)	- Besprechung des Vorgehens: Klärung der Formulierung von Vermutungen, Festlegung des zu untersuchenden Merkmals. - Anwendung von Darwins Theorie zur Erklärung von Anpassung unter Verwendung von EvoDots.	AB 10, Computer, Programm EvoDots	UG PA / GA
Ergebnis I (3)	- Vorstellen und Erklärung der Ergebnisse: - Anwendbarkeit der Selektionstheorie. - Anpassung der Punkte in Bezug auf kleineren Durchmesser bzw. geringeren Kontrast.	AB 10, Tafel, TB 7	UG
Erarbeitung II (4)	- Forderung der Überprüfung der Theorie. - Klärung, ob eine Veränderung der Punktpopulation auch stattfindet, wenn eine der drei Bedingungen nicht erfüllt ist. - Überprüfung der Theorie durch Veränderung eines Parameters (keine Variabilität, keine Vererbbarkeit und keine Selektivität) in der Simulation durch SuS.	AB 10, Computer, Programm EvoDots	UG PA / GA
Ergebnis II (5)	- Vorstellen der Ergebnisse der Bedingungsüberprüfung. - Herausstellen und Diskussion der Bedeutung der Bedingungen für die Veränderung von Arten: - Variation und Vererbbarkeit als Voraussetzung - Überleben vorteilhafter Varianten durch natürliche Selektion. - Übernahme der Definitionen der Begriffe Population und natürliche Selektion in Begriffsliste. - Stellen der Hausaufgabe: Ausfüllen des Lückentextes (AB 11)	AB 10, Tafel, , TB 7 <i>Begriffsliste</i> AB 11	UG, EA

7. Stunde: Darwins Selektionstheorie

Tafelbild 7 / Folie 7 / Lösung AB 11

Tafelbild 7:

Darwins Theorie der natürlichen Selektion lässt sich auf die Veränderung der Punkte anwenden. Sie erklärt die Anpassung der Lebewesen an die Lebensbedingungen / Umwelt.

Voraussetzung für die Veränderung von Populationen sind:

- Variation in Merkmalen
- Vererbung der Merkmale

Natürliche Selektion führt zu Veränderungen:

Es überleben am ehesten die Lebewesen, welche vorteilhafte Merkmale aufweisen. (Welche Merkmale vorteilhaft sind, ist von der Umwelt abhängig)

Folie 7:



Meine Theorie der Anpassung durch natürliche Selektion funktioniert so:

- ✓ Wenn eine Population Variationen aufweist, und
- ✓ wenn diese Variation vererbt wird, und
- ✓ wenn von den vielen Nachkommen nur einige bestimmte Varianten überleben und sich fortpflanzen,

➤ dann wird sich diese Population verändern.



7. Stunde: Darwins Selektionstheorie**Lösung AB 10 / Lösung AB 11****Hinweise zur Lösung von AB 10: Experimente mit EvoDots - Punkte und Darwins Theorie**Anwendung Darwins Theorie:

Die Vermutungen sollten sich konkret auf die Theorie beziehen. Z.B.:

- ✓ Wenn die Punkte in der Größe variieren und
- ✓ wenn die Größe vererbt wird (die Nachkommen weisen also die gleiche Größe auf wie die Eltern), und
- ✓ wenn die größeren Punkte eher gefressen werden und die kleineren eher überleben,
- dann wird sich die Punktepoptulation so verändern, dass es mehr kleinere Punkte gibt.

Es findet eine Anpassung im Hinblick auf Abnahme der Größe oder Abnahme des Kontrastes statt.

Überprüfen von Darwin Theorie:

Die drei Bedingungen lassen sich einfach durch Entfernen des entsprechenden Häkchens in der Simulation überprüfen.

Für jede Bedingung sollte in etwa folgendes formuliert werden:

Frage: Wird sich die Punktepoptulation verändern, wenn keine Variation vorliegt?

Vorgehensweise: Der Haken vor der Bedingung variabel wird entfernt.

Ergebnis: Die Punkte unterscheiden sich nicht. Alle werden gleich wahrscheinlich gefressen und die Punktepoptulation verändert sich nicht.

Lösung AB 11: Anpassung durch Selektion

Alle Individuen einer Art unterscheiden sich in jeder Generation etwas voneinander. Diese Erscheinung heißt **Variation**.

Bei der **Fortpflanzung** produzieren alle Arten mehr Nachkommen, als im zur Verfügung stehenden **Lebensraum** überleben können. Diese Überproduktion führt dazu, dass die Individuen miteinander um z.B. Nahrung, Raum und Partner wetteifern müssen. Diese Erscheinung nennt man **Konkurrenz**.

Es können diejenigen Lebewesen mit Variationen, welche in der Umwelt **vorteilhaft** sind, am ehesten überleben. Diese Merkmale treten bei den **Nachkommen** wieder auf, wenn sie **vererbt** werden.

Die Individuen mit günstigen Merkmalen gelangen bevorzugt zur Fortpflanzung. Dieser Vorgang heißt natürliche **Selektion**.

Die nächste Generation ist leicht verändert und es treten auch stets Individuen mit abweichenden **Merkmalen** auf. Über viele Generationen können sich die Unterschiede durch Selektion summieren. Dies bewirkt die **Anpassung** der ursprünglichen Art. Diese Veränderung von Arten bezeichnet man als **Evolution**.

7. Stunde: Darwins Selektionstheorie

AB 10

AB 10: Experimente mit EvoDots - Punkte und Darwins Theorie



Meine Theorie der Anpassung durch natürliche Selektion funktioniert so:

- ✓ Wenn eine Population **Variationen** aufweist, und
- ✓ wenn diese Variation **vererbt** wird, und
- ✓ wenn von den vielen Nachkommen nur einige bestimmte Varianten **überleben** und sich **fortpflanzen**,

➤ dann wird sich diese Population **verändern**.

Begriff Population:
Eine Population ist eine Gruppe von Lebewesen einer Art, die in einem Gebiet lebt und sich untereinander kreuzen können.

Da du dich schon mit EvoDots auskennst, kannst du nun hiermit Darwins Theorie untersuchen. Hierzu führst du Versuche zur natürlichen Selektion der Punkte durch.

Anwendung von Darwins Theorie

1. Lege das Merkmal, in dem die Punkte variieren sollen, fest. Dies kannst du unter dem Menü *File* → *Option* einstellen. Erstelle eine neue Population an Punkten und vervollständige die Tabelle (2. Zeile).
2. Starte und betrachte die Punkte ohne sie zu fressen. Stoppe und schreibe deine Vermutungen auf. Überlege hierzu ob Du Veränderungen erwartest und warum. Beziehe dich hierbei auf die einzelnen Punkte in Darwins Theorie.
3. Führe wieder eine Punktejagd über mehrere Runden durch (Dauer jeweils 20 Sekunden), bis die Tabelle ausgefüllt ist.

Merkmal der Punkte:

	Anzahl Punkte							gesamt
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	
0								
1								
2								
3								
4								

4. Beschreibe Deine Ergebnisse. Hat sich die Punktepopulation geändert? Entsprechen die Ergebnisse deinen Vermutungen? Kannst du die Ergebnisse erklären? Hat eine Anpassung stattgefunden? Falls ja, erkläre!

Überprüfen von Darwins Theorie

Darwins Theorie gibt drei Bedingungen an, wann sich Populationen verändern. Deine Aufgabe ist es nun mit EvoDots zu untersuchen, ob jede einzelne dieser Bedingungen erfüllt sein muss.

Schreibe für jede Bedingung

- eine Fragestellung auf (z.B.: Wird sich die Punktepopulation verändern, wenn.....?)
- erkläre dein Vorgehen bei EvoDots um dies zu untersuchen
- beschreibe deine Ergebnisse, und
- beantworte deine Frage.

7. Stunde: Darwins Selektionstheorie

AB 11

AB 11: Anpassung durch Selektion

Alle Individuen einer Art unterscheiden sich in jeder Generation etwas voneinander. Diese Erscheinung heißt _____.

Bei der _____ produzieren alle Arten mehr Nachkommen, als im zur Verfügung stehenden _____ überleben können. Diese Überproduktion führt dazu, dass die Individuen miteinander um z.B. Nahrung, Raum und Partner wetteifern müssen. Diese Erscheinung nennt man _____.

Es können diejenigen Lebewesen mit Variationen, welche in der Umwelt _____ sind, am ehesten überleben. Diese Merkmale treten bei den _____ wieder auf, wenn sie _____ werden.

Die Individuen mit günstigen Merkmalen gelangen bevorzugt zur Fortpflanzung. Dieser Vorgang heißt natürliche _____.

Die nächste Generation ist leicht verändert und es treten auch stets Individuen mit abweichenden _____ auf. Über viele Generationen können sich die Unterschiede durch Selektion summieren. Dies bewirkt die _____ der ursprünglichen Art. Diese Veränderung von Arten bezeichnet man als _____.

Aufgabe: Ergänze die Lücken im Text, indem du die folgenden Wörter in die passenden Stellen einsetzt:

Anpassung	Evolution	Fortpflanzung	Konkurrenz	Lebensraum	Merkmale
Nachkommen	Selektion	Variation	vererbt	vorteilhaft	

(verändert nach Kattmann 2005)

8. Stunde: Anpassung erklärt durch Variation und Selektion**Ziele, Hinweise****Thema der 8. / 9. Stunde:**

Anpassung erklärt durch Variation und Selektion – Evolution als Veränderung von Arten und Erklärung der Entstehung von Angepasstheit bei Tieren anhand Anwendung der Selektionstheorie.

Lernziele**Stundenziel:**

Die Schülerinnen und Schüler sollen die Prinzipien von Darwins Selektionstheorie auf konkrete Tierbeispiele übertragen können, indem sie die Entstehung der Angepasstheit unter Verwendung ihrer Erfahrungen aus einem Simulationsspiel und der Theorie erklären.

Teilziele: Die Schülerinnen und Schüler sollen

- anhand der trinkenden Giraffe erkennen und benennen, dass Giraffen aufgrund ihres langen Halses nicht an Nahrungsaufnahme vom Boden angepasst sind und der lange Hals nicht in allen Situationen eine vorteilhafte Anpassung darstellt.
- mit Hilfe des Videos der fressenden Giraffen bzw. der Comiczeichnung angeben, dass Giraffen Laubblätter von Bäumen fressen und dies durch den langen Hals ermöglicht wird.
- anhand der Durchführung des Simulationsspiels die Bedeutung des Zufalls auf die Unvorhersehbarkeit der Evolution erfahren und herausstellen.
- erkennen und benennen, dass Merkmale nur unter bestimmten Umweltbedingungen für das Individuum vorteilhaft sind.
- die Ergebnisse des Spiels und Darwins Selektionstheorie auf das Beispiel der Giraffen transferieren und die Evolution der Giraffe unter Verwendung angegebenen Begriffe erklären.
- natürliche und künstliche Selektion in einem Begriffnetz gegenüber stellen und richtig vernetzen können.

Hinweise und Erläuterungen zur Durchführung des Unterrichts

- (1) Die beiden Videosequenzen dienen zur motivierenden Verhaftung in dem Thema, und können direkt online oder offline gezeigt werden. Dies ist besonders sinnvoll, wenn nicht alle Schülerinnen und Schüler schon die Gelegenheit hatten Giraffen zu betrachten. Gerade die Videosequenz mit trinkenden Giraffen zeigt deutlich, dass eine Angepasstheit nicht in allen Situationen vorteilhaft ist. Steht für diese Stunde kein Computer mit Beamer zur Verfügung kann zum Einstieg die Giraffencomiczeichnung gewählt und die Angepasstheit diskutiert werden, die Motivation und Fesselung der Aufmerksamkeit der Schüler dürfte aber geringer sein.
- (2) Bei dem Spiel erfahren die Schüler vor allem die Auswirkung von zufälligen, nicht vorhersehbaren Umweltveränderungen auf Tierpopulationen (siehe auch Informationen zum Spiel). Damit beim ersten Spieldurchlauf nicht die Population zu schnell sehr stark dezimiert wird, ist die Reihenfolge der Szenarien vorgegeben (dies ist den Schülern aber nicht bekannt zu geben). Die Auswirkungen der einzelnen Szenarien sollten beim ersten Auftreten mit den Schülern besprochen und nicht nur vorgelesen werden. Sicherlich hängt die Umsetzung des Spiels auch vom der spannenden Gestaltung durch den Spielleiter ab.
- (3) An dieser Stelle sind mögliche Ergebnisse im Stundenverlauf angegeben.

8. Stunde: Anpassung erklärt durch Variation und Selektion**Ziele, Hinweise**

-
- (4) Die hohe Konkurrenz der Giraffen bei Gras und Bäumen sowie Blätter als alleinige Nahrungsquelle bei Trockenheit können aus dem Spiel abgeleitet werden. Bei Zeitknappheit besteht die Möglichkeit hier die Stunde zu beenden. In diesem Fall sollten die Ergebnisse aus dem Spiel auf dem Arbeitsblatt gesichert werden.
- (5) Die Erstellung des Begriffsnetzes bildet den Abschluss der Unterrichtseinheit Anpassung durch Selektion. Das wiederholte Erklären der Entstehung des weißen Winterfells des Schneehasen ermöglicht die Anwendung der Selektionstheorie und einen Vergleich mit den Vorstellungen vor dem Unterrichten der natürlichen Selektion. Dieser Vergleich kann zur Reflexion und Diskussion der eigenen Vorstellungen genutzt werden und sollte in der folgenden Stunde aufgegriffen werden.

8./9. Stunde: Anpassung erklärt durch Variation und Selektion

Stundenverlaufsplan

Stundenverlaufsplan 8. Stunde: Anpassung durch natürliche Selektion

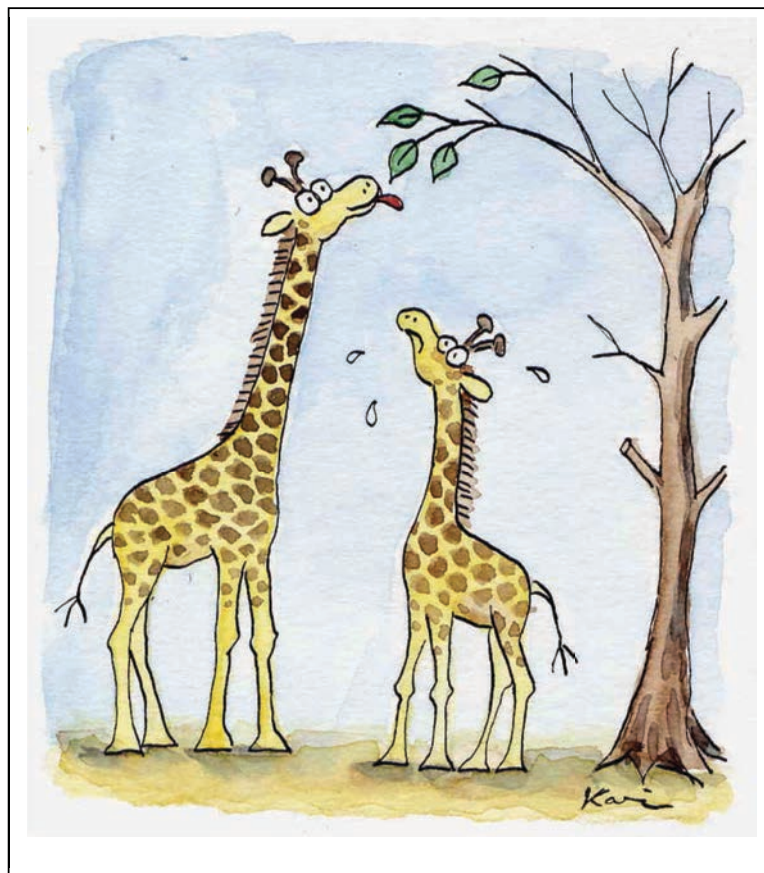
Unterrichtsphase	Sach- / Verhaltensaspekt	Medien	SF
Einstieg (1)	- Besprechen der Hausaufgabe - Definition der Begriffe Evolution und Anpassung anhand des Lückentextes und Übernahme in Begriffsliste - Zeigen zweier kurzer Videosequenzen von trinkenden und laubfressenden Giraffen. - Diskussion nach der ersten Sequenz ob ein langer Hals Angepasstheit darstellt. - Alternativ: <i>Präsentation einer Giraffencomiczeichnung und Information, dass die Vorfahren der Giraffen einen kurzen Hals aufwiesen führt zur Entwicklung einer Fragestellung.</i> - Frage: z.B. „Wie hat sich der lange Hals der Giraffen entwickelt?“	AB 11 (Folie), OHP, Folienstift, (Begriffsliste), Computer u. Beamer, Videos 8.1, 8.2 Folie 8 Tafel	SB, LI UG
Erarbeitung I (2)	- Überleitung und Besprechung des Spiels: Erklärung des Spielablaufs - Durchführung eines Spieldurchlaufs: Bilden der Tiere, 4 Szenarien in vorgegebener Reihenfolge (siehe Spielanleitung) - Vorstellen und Diskussion erster Erfahrungen mit dem Spiel - Durchführung eines zweiten Spieldurchlaufs mit zufälliger Reihenfolge der Szenarien	Spielmateri- lien (Karten Tiermerkmale, Karten Szenarien, Anleitung)	LV SB
Ergebnis I (3)	- Zusammentragen und Diskussion der Spielergebnisse: - Die Tiere unterscheiden sich in Merkmalen. - Das Überleben der Tiere hängt von den Merkmalen und der Umwelt ab. - Es überleben die am besten angepassten Tiere, nur diese können Nachkommen haben. - Wie sich die Umwelt ändert und welche Merkmale einen Vorteil bieten ist zufällig und nicht vorhersagbar.	Tafel	SB / UG
Erarbeitung II (4)	- Übertragen der Spielergebnisse und Fragestellungen auf das AB 12. (<i>mögliches Stundenende</i>) - Transfer der Spielergebnisse und Darwins Selektionstheorie auf die Evolution der Giraffe - Variation: Giraffen haben unterschiedlich lange Hälsen - Konkurrenz: Giraffen wetteifern um die Nahrung - Selektion: Giraffen mit längeren Hälsen haben bessere Chancen zu überleben und sich fortzupflanzen. Sie vererben ihre Halslänge an Nachkommen.	AB 12 (Folie)	EA / SB
Sicherung (5)	- Vorstellen der Erklärung der Giraffenevolution - Erstellen eines einfachen Begriffsnetzes zur Übersicht als Abschluss der Unterrichtseinheit - Stellen der HA: „Erkläre, wie das weiße Fell des Schneehasen entstanden sein könnte. Nutze hierbei deine Erkenntnisse der letzten Stunden und gehe davon aus, dass die Vorfahren braunes Fell hatten.“	AB 12 (Folie) OHP, Folienstift Begriffskarten, Klebestreifen / Magnete, TB 8	SB UG

8. /9. Stunde: Anpassung erklärt durch Variation und Selektion**Folie 8.1****Videos 8.1**

trinkende Giraffen(Arkive: Giraffe (*Giraffa camelopardalis*), Reticulated giraffes drinking from river) <http://www.arkive.org/giraffe/giraffa-camelopardalis/video-re08c.html> (Zugriff: 19.10.2009)

Video 8.2:

laubfressende Giraffe: (Arkive: Giraffe (*Giraffa camelopardalis*), Masai giraffes feeding) <http://www.arkive.org/giraffe/giraffa-camelopardalis/video-ti08a.html> (Zugriff: 19.10.2009)

Folie 8:

8./9. Stunde: Anpassung erklärt durch Variation und Selektion Allgemeine Spielinformationen

Allgemeine Information Spiel: „Survival of the fittest“

Die Spieler stellen Tiere mit verschiedenen Körpermerkmalen dar. Hierzu erhalten sie eine zufällige Auswahl an Karten mit verschiedenen Merkmalen. Der Spielleiter beschreibt in Folge Szenarien an Umweltänderungen, in welchen Tiere mit bestimmten Merkmalen ausscheiden und am Ende das am besten angepasste Tier überlebt. Diese Szenarien werden von den Spielern dargestellt.

Beschreibung des Spiels:

Tierkarten

Jeder Teilnehmer erhält zufällig durch Austeilen einen Kartensatz aus insgesamt vier Karten, die sich auf die Merkmale jeweils eines Körperteils beziehen und den Körperteil als Bild sowie die Variation als Text darstellen. Jeder Körperteil kommt in zwei Varianten vor:

- Kopf-Karte: Hörner / keine Hörner
- Hals-Karte: langer Hals / kurzer Hals
- Rumpf-Karte: dickes Fell / dünnes Fell
- Bein-Karte: lange Beine / kurze Beine

Die Spieler können diese Karten zu einem kompletten Tier untereinander legen. Vor jedem Spiel sollten die Karten, aufgeteilt in Stapel nach Körperteilen, gut gemischt werden.

Spielverlauf:

Die Spieler werden aufgefordert sich vorzustellen, sie seien das Tier, welches auf ihrem Kartensatz dargestellt ist und dieses schauspielerisch darzustellen. Sie werden aufgefordert sich als Bestandteil einer Herde im Raum zu bewegen um zu grasen.

In Zeitabständen wählt bzw. zieht der Spielleiter eine Szenarienkarte und stellt das darauf beschriebene Ereignis vor. Die Szenarien sind: Ankunft eines Raubtiers / Kampf mit einem Raubtier / Schneesturm / Trockenheit / Flussüberquerung / Zusatzkarte: Vulkanausbruch. Die Spieler werden instruiert auf die Umweltveränderung zu reagieren, wodurch Tiere mit bestimmten Merkmalen nicht überleben und die Spieler ausscheiden.

Entweder stellt der Spielleiter in Abfolge solange Szenarien vor, bis es nur noch eine Merkmalskombination als Überlebende gibt oder es werden Szenarien ausgewählt und die Überlebenden betrachtet. Hinweis: Es ist wahrscheinlich, dass häufig ein Tier mit Hörner, langem Hals, dickem Fell und langen Beinen überlebt. Dieses könnte aber Ausscheiden, wenn das Szenario der Zusatzkarte Vulkanausbruch eintritt. Es ist sinnvoll, dass Spiel mehrmals durchzuführen.

Ziele des Spiels:

Das Spiel soll den Spielern die Vorteile verschiedener Phänotypen und die Funktion von Umweltveränderungen (wie Verfügbarkeit von Nahrung, Räubern und Wetter) in der Selektion bestimmter Merkmale aufzeigen. Es veranschaulicht das Konzept des 'survival of the fittest' und das bestimmte Merkmale Tieren das Überleben ermöglichen. Das Einbringen der Zusatzkarte zeigt den manchmal auch zufälligen Charakter der Evolution, indem Tiere mit Merkmalen, die vorher einen evolutionären Vorteil bedeuteten, aufgrund von Katastrophen aussterben können.

8./9. Stunde: Anpassung erklärt durch Variation und Selektion**Spielanleitung****Spielanleitung „Survival of the fittest“**

(verändert nach British Council 2009)

Material:

- Karten mit Tiermerkmalen
- Karten mit Szenarien
- Notizen für den Spielleiter / Lehrer
- Platz in sich zu bewegen

Spielvorbereitungen im Vorfeld:

- Die Karten mit den Tiermerkmalen sollten vor Beginn kopiert und ausgeschnitten werden. Zu jedem Körperteil (Kopf, Hals, Rumpf und Beine) gibt es jeweils zwei Varianten. In Abhängigkeit von der Klassengröße benötigt man entsprechende Kopien, z.B. für eine Klasse mit 30 Teilnehmern benötigt man von jeder Karte jeweils 15 Exemplare.
- Die Szenarienkarten (6 Stück) sollten einmal kopiert und ausgeschnitten werden.
- Hinweis: Bei geringem Platzangebot im Unterrichtsraum ist zu erwägen, ob das Spiel an einem anderen Ort (z.B. Gang oder Pausenhof) stattfinden soll.

Notizen für den Spielleiter: Durchführung des Spiels**1. Vorbereitung:**

- Bilden von vier Kartenstapeln (ein Stapel pro Körperteil) und mischen der Stapel.
- Bereitlegen der Szenarienkarten. Für den ersten Durchlauf wird die Reihenfolge vorher wie folgt festgelegt: 1. Ankunft eines Raubtieres, 2. Trockenheit, 3. Kampf mit einem Raubtier und 4. Flussüberquerung. Für einen zweiten Spieldurchlauf werden die Karten gemischt und die Reihenfolge der Ereignisse zufällig durch Ziehen bestimmt.

2. Tiere bilden:

- Austeilen der Karten: Jeder Spieler erhält von jedem Stapel eine Karte.
- Zusammenlegen: Jeder legt aus seinem Kartensatz aus vier Karten sein Tier zusammen.

3. Spielen:

- Aufforderung an Spieler ihr Tier mit den entsprechenden Merkmalen zu spielen und darzustellen.
- Schilderung der Umgebung einer Trockensavanne mit Bäumen, Sträuchern und Gras. Die Spieler sollen sich vorstellen, sie bilden eine grasende Herde in dieser Umgebung.
- Herausstellen, welche Tiere welche Nahrung erreichen können (Tiere mit langen Beinen und / oder langen Hälsen erreichen die Blätter der Bäume, Tiere mit kurzen Beinen und kurzem Hals hingegen nur das Gras).

4. Szenario:

- Ziehen einer Szenarienkarte und Vorstellen der Umweltveränderung.
- Darstellen des Szenarios durch die Spieler, Erarbeitung der Auswirkungen der Veränderung auf die Tiere und Diskussion welche Tiere überleben.
- Spieler deren Tiere sterben scheiden aus dem Spiel aus, die Überleben grasen bis zum Eintreten des nächsten Szenarios weiter.

5. Spieldurchlauf: Für einen Spieldurchlauf werden vier Szenarien in Reihenfolge gespielt. Es ist sinnvoll zwei Spieldurchläufe zu spielen.

8./9. Stunde: Anpassung erklärt durch Variation und Selektion

Kartenvorlage Szenarien

Szenario: Ankunft eines Raubtiers Ein Raubtier nähert sich der Herde. (Zur besseren Vorstellung kann ein konkretes Raubtier z.B. Löwen, Leoparden, Geparde, oder Hyänen benannt werden). <u>Auswirkung:</u> ➤ Tiere mit langen Beinen und langem Hals sehen den Räuber aus der Entfernung. Sie laufen als Erstes davon. ➤ Tiere mit langen Beinen und kurzem Hals können schnell laufen. Sie schaffen es ebenfalls davonzulaufen. ➤ Tiere mit kurzen Beinen und kurzem Hals sind klein genug um sich zu verstecken. Sie suchen sich ein Versteck. Tiere mit kurzen Beinen und langen Hälsen weder schnell genug entkommen noch sich verstecken. Sie werden Beute des Räuber und sterben.	Szenario: Kampf mit einem Raubtier Ein Raubtier hat sich der Herde genähert. Es hat sich herangeschlichen als die Tiere in eine andere Richtung geschaut haben. Es ist zu spät um fortzulaufen oder sich zu verstecken, die Tiere müssen mit dem Räuber kämpfen (Zur besseren Vorstellung kann ein konkretes Raubtier z.B. Löwen, Leoparden, Geparde, oder Hyänen benannt werden). <u>Auswirkung:</u> ➤ Tiere mit Hörnern können mit dem Räuber kämpfen und überleben. ➤ Tiere ohne Hörner haben kein Mittel um sich zu verteidigen. Sie werden vom Raubtier gefressen.
Szenario: Schneesturm Das Wetter verändert sich, es wird sehr kalt. Ein Schneesturm kommt auf und das Land ist mit Schnee bedeckt. <u>Auswirkung:</u> ➤ Die Tiere drängen sich zusammen und zittern im Schnee. Tiere mit dickem Fell bleiben warm und überleben. ➤ Tiere mit dünnem Fell kühlen aus und erfrieren.	Szenario: Trockenheit Durch eine längere Trockenheit ist das Gras verdorrt. <u>Auswirkung:</u> ➤ Tiere mit langen Beinen und langem Hals können einfach die Blätter der Bäume erreichen und diese fressen. ➤ Tiere mit langen Beinen und kurzem Hals können mit Mühe gerade noch die unteren Blätter der Bäume und Sträucher erreichen. ➤ Tiere mit kurzen Beinen und langem Hals können mit Mühe gerade noch die unteren Blätter der Bäume und Sträucher erreichen. ➤ Tiere mit kurzen Beinen und kurzem Hals können die Blätter der Bäume nicht erreichen. Die Sträucher reichen nicht aus und es ist kein Gras als Nahrung vorhanden. Die Tiere verhungern.

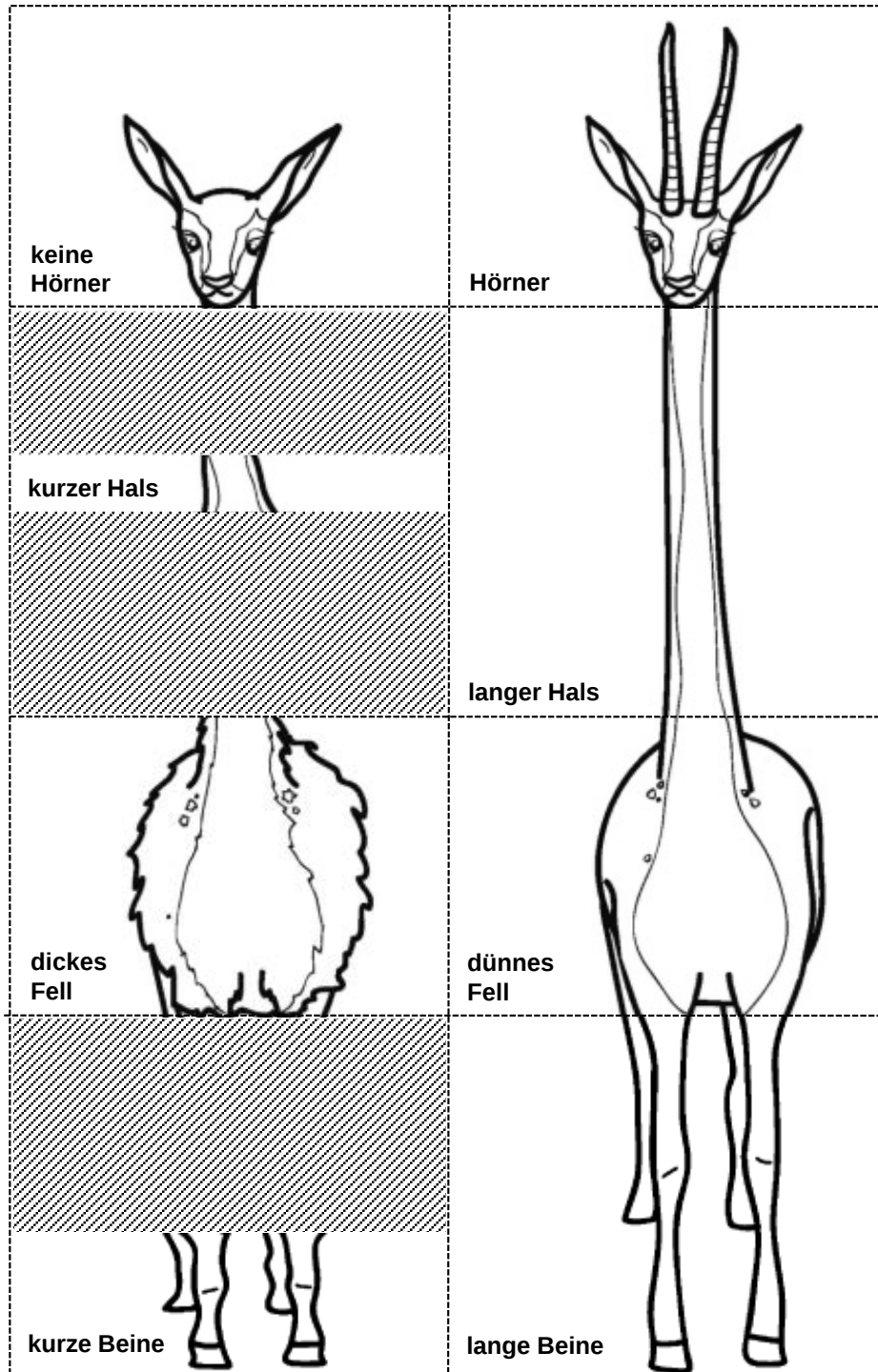
Kartenvorlage Szenarien

8./9. Stunde: Anpassung erklärt durch Variation und Selektion

Szenario: Flussüberquerung Die Landschaft ist nicht mehr für die Herde geeignet und die Herde wandert weiter. Auf der Wanderung wird es nötig einen Fluss zu überqueren. <u>Auswirkung:</u> ➤ Tiere mit langen Beinen und langem Hals können einfach den Fluss überqueren, da sie ihren Kopf über Wasser halten können. Sie überqueren den Fluss. ➤ Alle anderen Tiere sind nicht groß genug um den Fluss sicher zu überqueren und ertrinken	Zusatzszenario: Vulkanausbruch <i>Ehe diese Karte gespielt wird sollte man überprüfen, ob die Tiere im Raum verteilt sind und dich eine imaginäre Linie vorstellen, die den Raum in zwei Teile teilt.</i> Der Vulkan ist überraschend ausgebrochen. Die Lava ist vom Berg in das Flachland geflossen und hat alles, was im Weg stand vernichtet. <u>Auswirkung:</u> ➤ Alle Tiere auf der rechten Seite des Raumes / der Linie waren sind glücklicherweise nicht betroffen. Sie überleben (Körpermerkmale spielen jetzt keine Rolle). ➤ Alle Tiere auf der linken Seite sind im Bereich des Lavastroms und sterben.
---	--

8./9. Stunde: Anpassung erklärt durch Variation und Selektion Kartenvorlage Tiermerkmale

Vorlage für Karten mit unterschiedlichen Tiermerkmalen



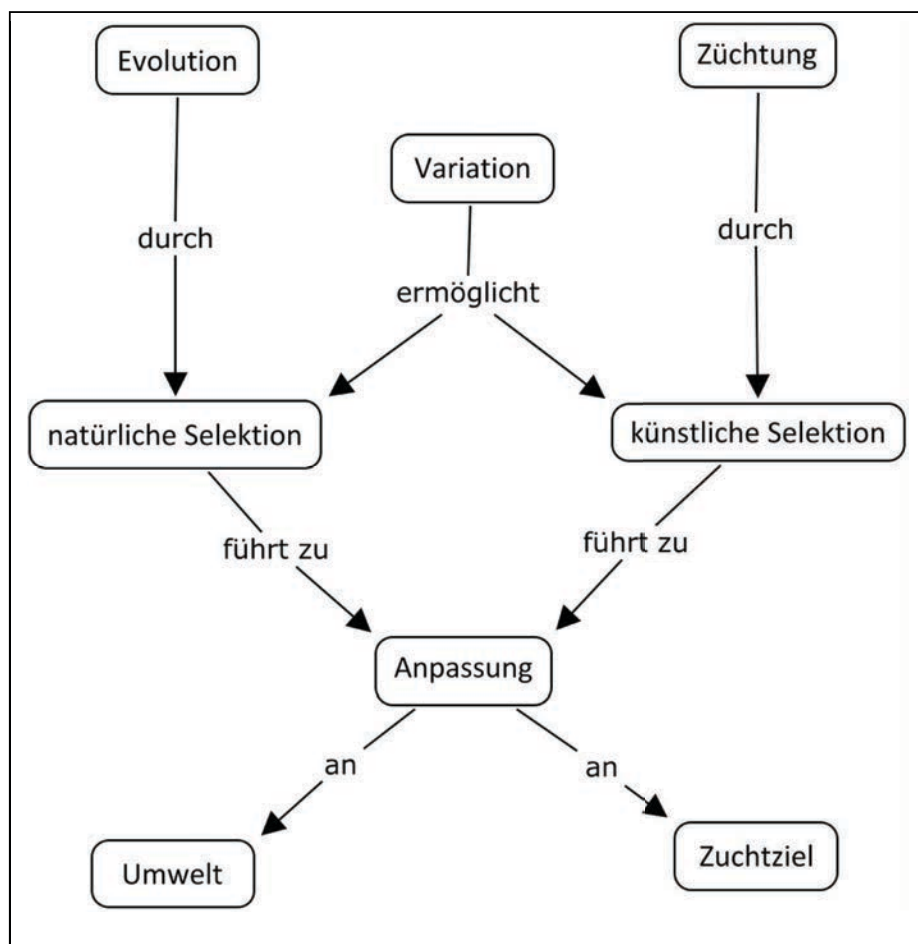
8./9. Stunde: Anpassung erklärt durch Variation und Selektion

Begriffskarten

Vorlage Begriffskarten (beim Kopieren entsprechend vergrößern)

Evolution	Züchtung
natürliche Selektion	Selektion
künstliche Selektion	Anpassung
Umwelt	Zuchtziel

Tafelbild 8: Begriffsnetz



8./9. Stunde: Anpassung erklärt durch Variation und Selektion**AB 12****AB12: Evolution der Giraffe****Ergebnisse aus dem Spiel:**

- _____
- _____
- _____
- _____

Frage: _____ **?****Information:**

Giraffen gehören aufgrund ihres langen Halses zu den auffälligsten Tieren und sind die „höchsten“ Tiere auf der Erde. Obwohl der Hals so lang ist, hat die Giraffe wie alle anderen Säugetiere nur sieben Halswirbel.

Giraffen leben in Savannengebieten (Grassteppen mit Bäumen) Afrikas und fressen hauptsächlich Blätter von Bäumen, die sie mit ihrer Greifzunge abzupfen.

Giraffen sind wiederkauende Paarhufer und entfernt verwandt mit den Hirschen. Die Vorfahren der Giraffen hatten kurze Hälse, ebenso wie der nächste Verwandte der Giraffe, das Okapi (s.u.).

**Aufgabe: Erkläre die Evolution der Giraffen.**

Überlege eine Erklärung als Antwort auf die Frage. Verwende dabei Darwins Selektionstheorie und folgende Begriffe: *Konkurrenz, Sterben, überleben, fortpflanzen, Variation, vererben, Selektion*. Schreibe Deine Erklärung auf.

Erklärung: _____

Quellen und Literaturangaben

Literatur- und Quellenangaben Unterrichtseinheit:

Agricultural Research service: <http://www.ars.usda.gov/Research/docs.htm?docid=5248>, (Zugriff: 25.06.2009) Abb. Möhrenvielfalt.

Animal Planet: <http://animal.discovery.com/mammals/polar-bear/> (Zugriff: 18.09.2009), Abb. Eisbär.

Arkive: Giraffe (*Giraffa camelopardalis*), Masai giraffes feeding, <http://www.arkive.org/giraffe/giraffa-camelopardalis/video-ti08a.html> (Zugriff: 19.10.2009), Video laubfressende Giraffe.

Arkive: Giraffe (*Giraffa camelopardalis*), Reticulated giraffes drinking from river <http://www.arkive.org/giraffe/giraffa-camelopardalis/video-re08c.html> (Zugriff: 19.10.2009), Video trinkende Giraffe.

British Council (2009): Survival of the fittest game, <http://www.britishcouncil.org/colombia-actividades-darwin-now-exhibicion-recursos-educativos-para-la-visita-a-la-exhibicion.htm>. (Zugriff: 19.10.2009). (???)

EcoLibrary: <http://www.ecolibary.org/page/DP347>, Kohlsorten Abb. (Zugriff: 25.06.2009), Abb. Kohlsorten.

Ecolibrary: <http://www.ecolibary.org/page/DP860> (Zugriff: 25.06.2009) Abb. Wilde Möhre Wurzel.

Elf: [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Boxer_\(dog\).jpg&filetimestamp=20060322141957](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Boxer_(dog).jpg&filetimestamp=20060322141957) (Zugriff: 16.06.2009), Abb. kupierte Boxere.

Elliott, J. J., Fry, E. C. (1881): http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Charles_Darwin_1880.jpg?uselang=de (Zugriff: 03.10.2009), Abb. Darwin.

Felzmann, D. (2006): Wie aus Wölfen Dackel wurden. Züchtung als Eingangstor zum Evolutionsunterricht. In: Praxis der Naturwissenschaften - Biologie in der Schule, 55(6), S. 18-24. Auch Online-Ergänzung <http://www.aulis.de/newspapers/supplement/456>, (Zugriff: 25.06.2009)

First People: [http://www.firstpeople.us/pictures/wolves/800x600/Wolves-04-800x60\).html](http://www.firstpeople.us/pictures/wolves/800x600/Wolves-04-800x60).html) (Zugriff: 10.05.2009). Abb. Wölfe.

Fischer - Dückelmann, A.: Die Frau als Hausärztin, Fischer - Dückelmann, A.: Stuttgart 1911, Abb. Rippendeformation durch Korsett.

Herron, J.C. (2001): EvoDots 1.0, <http://faculty.washington.edu/herronjc/SoftwareFolder/EvoDots.html> (Zugriff: 10.10.2009)

Höfer, M.: <http://www.obstbau.org/content/service/wissenswertes/kulturapfel.php>, (Zugriff: 25.06.2009) Abb. Diversität bei Äpfeln .

Quellen und Literaturangaben

Husmoderens blad (1898): <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:ChineseLadieFoot.gif> (Zugriff: 16.06.2009), Abb. Lilienfuß.

Ichthyose.de: <http://www.ichthyose.de/seiten/kinderbereich/genetik/mutation.htm> (Zugriff: 19.10.2009) Abb. Giraffencomic

Institute for Human & Cognition: IHMC CMap Tools, http://cmap.ihmc.us/download/license_client.php (Zugriff: 30.08.2009), Software Begriffsnetze.

Kattmann, U., Janßen-Bartels, A., Müller, M. (2005): Selektion: die Entstehung von Giraffe und Okapi. In: Unterricht Biologie 29 (310), S. 12-17.

Kostenlose-Ausmalbilder.de: <http://www.kostenlose-ausmalbilder.de/vorlage/gallery/apfel289.php>, (Zugriff: 25.06.2009), Schemazeichnung Apfel.

Kostenlose-Ausmalbilder.de: <http://www.kostenlose-ausmalbilder.de/vorlage/gallery/karotte22.php>, (Zugriff: 25.06.2009), Schemazeichnung Karotte.

Kulac, Brassica oleracea: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brassica_oleracea_wild.jpg, Wildkohl Abb. (Zugriff: 25.06.2009), Abb. Wildkohl.

Lichtner, H.D. Bio-A.G. Hannover: Programm Hundezüchtung <http://www.biologieunterricht.homepage.t-online.de/Biodateien/biosoft.html> (Zugriff: 16.06.2009)

Miłaszewska, M: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wire-haired_Dachshund_R_01.JPG. (Zugriff: 25.06.2009), Abb. Dackel.

MPI für Molekulare Pflanzenphysiologie, <http://www.komm-ins-beet.mpg.de/fuehrungen/grundlagen-09/kohl>, (Zugriff: 30.08.2009), Kohlsorten.

O'Followell, L. (1905): Le Corset. Paris. Abb. Frau mit Korsett.

Raul654: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/18/Okapi2.jpg>, (Zugriff: 19.10.2009), Abb. Okapi.

Richter, U.: <http://www.flickr.com/photos/9517135@N04/673787902> (Zugriff: 16.06.2009) (neues Bild, alter Link, funktioniert nicht mehr <http://mediathek.safaripark.de/zebrapferd/pages/image/imagepage9.html>), Abb. Zebroid.

Saad, F.: <http://www.treknature.com/gallery/photo200904.htm> (Zugriff: 18.09.2009), Abb wandelndes Blatt.

Schulbauernhof.de: http://www.schulbauernhof.de/seiten/seiten_schmetterlinge/s_m_26.html (Zugriff: 18.09.2009), Abb. Birkenspanner

Stuber, K.: Malus florentina, <http://www.eol.org/pages/629096>, (Zugriff: 25.06.2009), Abb. Wildapfel.

Quellen und Literaturangaben

Tjv.at:

<http://www.tjv.at/index.php?page=900&sRid=1&PHPSESSID=b1854148a92662a49eb494e5f1c66957>
(Zugriff: 18.09.2009), Abb. Schneehase.

van Drunen, G.: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Canis_lupus_signatus_crop.jpg, (Zugriff: 25.06.2009)
Abb. Wolf.

West, A.: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Liger.jpg>, (Zugriff: 16.06.2009), Abb. Liger.

Wissen.de: <http://wissen.de.msn.com/natur/ponsel-schiege-und-liger-die-ungew%C3%B6hnlichsten-tierkreuzungen-1?page=2#image=2> (Zugriff: 16.06.2009), Abb. Schiege.

Wojtko, E.: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bow_bow.jpg, (Zugriff: 16.06.2009), Abb. Wolfshund.

FRAGEBÖGEN

B.1 FRAGEBOGEN VORTEST

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

wir sind Wissenschaftler der Universität Dortmund und beschäftigen uns damit, was Schüler über die Veränderung von Lebewesen denken und wissen. Besonders interessieren uns dabei auch deine Vorstellungen. Auf jeden Fall können deine Antworten dazu beitragen, den Biologieunterricht zu verbessern.

Wichtig ist, dass du ehrlich antwortest. Kreuze bitte bei jeder Aufgabe immer nur ein Kästchen an.

Niemand erfährt deine Antworten, auch dein Lehrer nicht. Damit deine Antworten geheim bleiben, bitten wir dich einen persönlichen Code, also einen Geheimcode, anzugeben.
Für deine Unterstützung sagen wir schon jetzt herzlichen Dank!

Bitte erstelle zunächst deinen Fragebogen-Code und trage ein:

	Der erste Buchstabe vom Vornamen deines Vaters (z.B. H erbert)	Tag deiner Geburt ohne Monat (z.B. 24. Dezember)	Der erste Buchstabe vom Vornamen deiner Mutter (z.B. S teffi)
Beispiel	H	24	S
Trage hier deine Daten ein.			

Teil A: Ein paar Informationen über dich

Ich bin _____ Jahre alt.

Ich bin

- ☐ ein Mädchen
☐ ein Junge

Wie ist dein Interesse an Biologie?

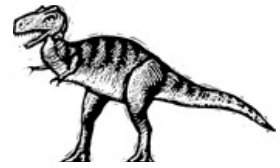
- ☐ hoch
☐ mittel
☐ gering

Welcher Religion gehörst du an?

- ☐ evangelisch
☐ katholisch
☐ muslimisch
☐ andere
☐ keine

Lies bitte die Aussagen durch und entscheide, ob du zustimmst.

Kreuze dann immer **genau ein entsprechendes Kästchen** an.

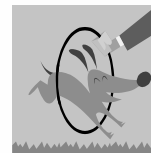


(☺☺ = stimmt genau, ☺ = stimmt fast, ☹ = weder noch,
☹☹ = stimmt kaum, ☹☹☹ = stimmt gar nicht)

Teil B	☺☺	☺	☹	☹☹	☹☹☹
1. Die Lebewesen sehen heute so aus, wie sie immer schon ausgesehen haben.	☐	☐	☐	☐	☐
2. Alle Lebewesen wurden, wie sie heute aussehen, von Gott geschaffen.	☐	☐	☐	☐	☐
3. Alle Tiere und Pflanzen haben sich aus Vorfahren entwickelt.	☐	☐	☐	☐	☐
4. Tiere und Pflanzen wurden zum Nutzen der Menschen geschaffen.	☐	☐	☐	☐	☐
5. Der Mensch hat sich aus affenähnlichen Vorfahren entwickelt.	☐	☐	☐	☐	☐
6. Zur Zeit der Dinosaurier haben schon Menschen gelebt.	☐	☐	☐	☐	☐
7. Alle Lebewesen stammen von einem gemeinsamen Vorfahren ab.	☐	☐	☐	☐	☐

Teil C	☺☺	☺	☹	☹☹	☹☹☹
8. Eine Art verändert sich, weil die Lebewesen sich etwas unterscheiden und einige, die zufällig besser angepasst sind, eher überleben.	☐	☐	☐	☐	☐
9. Mutationen (spontane Veränderungen des Erbguts) sind für Lebewesen nie vorteilhaft.	☐	☐	☐	☐	☐
10. Eine Art verändert sich, weil die einzelnen Lebewesen sich entwickeln wollen.	☐	☐	☐	☐	☐
11. Anpassung geschieht, weil die einzelnen Lebewesen sich anpassen müssen.	☐	☐	☐	☐	☐

Teil D	😊😊	😊	😐	😞	😞😞
12. Wenn ein Paar hellhäutiger Menschen nach Mallorca zieht und dort sehr braun wird, dann hätten ihre Kinder eine dunklere Hautfarbe als ihre Eltern ursprünglich hatten.	☐	☐	☐	☐	☐
13. Bringt man einem Hund bei, durch einen Reifen zu springen, dann wissen dessen Welpen bei Geburt wie man durch Reifen springt.	☐	☐	☐	☐	☐
14. Bodybilder üben mit schweren Gewichten um große Muskeln zu entwickeln. Ihre Kinder werden aber deshalb nicht mit größeren Muskeln geboren.	☐	☐	☐	☐	☐
15. Eine Frau färbt sich immer ihre Haare blond. Sie bekommt mit einem Mann, der sich ebenfalls die Haare blondiert, drei Kinder. Die Kinder werden auf jeden Fall blonde Haare haben.	☐	☐	☐	☐	☐



Teil E:	ja	nein
16. Können die angegeben zwei Tiere sich paaren und fruchtbare Nachkommen haben?		
Pferd und Rind	☐	☐
Dackel und Schäferhund	☐	☐
Pony und Pferd	☐	☐
Ziege und Schaf	☐	☐

Für jede Frage gibt es mehrere Antwortmöglichkeiten. Lies erst alle Antwortmöglichkeiten, entscheide dich dann für eine und kreuze sie an.

Teil F:
17. Jungen Hunden wurde früher vom Züchter oft der Schwanz abgeschnitten. Wie sehen die Welpen (Kinder) solcher Hunde aus?
☐ Die Schwänze sind verschieden lang, aber im Durchschnitt etwas kürzer als bei den Eltern.
☐ Die Welpen haben gar keinen Schwanz.
☐ Das Abschneiden hat keine Auswirkung. Die Schwänze der Hunde sind etwas unterschiedlich lang, wie bei den Eltern auch.
☐ Die Antwort ist anders: _____

18. Nehmen wir an, ein Züchter schneidet den Nachkommen dieser Hunde wieder die Schwänze ab und deren Nachkommen auch usw. Dies wiederholt er 20mal. Wie sehen dann die Kinder dieser Hunde aus?

- ☐ Die Schwänze sind verschieden lang, aber im Durchschnitt etwas kürzer als bei den Eltern.
- ☐ Die Welpen haben gar keinen Schwanz mehr.
- ☐ Das Abschneiden hat keine Auswirkung. Die Schwänze der Hunde sind etwas unterschiedlich lang, wie bei den Eltern auch.
- ☐ Die Antwort ist anders: _____

19. Die Vorfahren der Elefanten hatten keinen langen Rüssel. Wie erklärst du die Entstehung des langen Rüssels heute lebender Elefanten?

- ☐ Die Vorfahren ohne langen Rüssel starben aus. Danach siedelten dort neu geschaffene Elefanten mit längerem Rüssel.
- ☐ Die kurzrüsseligen Vorfahren mussten den Rüssel strecken um an die Blätter der Bäume zu gelangen. Durch ständige Streckung wurde der Rüssel länger. Diese Veränderung erbten die Nachkommen.
- ☐ Die Elefanten erkannten, dass sie längere Rüssel für das Überleben brauchten und entwickelten längere Rüssel.
- ☐ Die Elefanten hatten unterschiedlich lange Rüssel. Elefanten mit längeren Rüsseln konnten besser die Blätter von hohen Bäumen fressen, wenn es kein Futter am Boden gab. Sie hatten einen Vorteil und pflanzten sich mehr fort.
- ☐ Die Antwort ist anders: _____



20. Früher hatte in Nordeuropa die Hälfte der Füchse weißes Fell, während die andere Hälfte braunes Fell hatte. Heute findet man fast nur noch Füchse mit weißem Fell. Wie lässt sich dies erklären?

- ☐ Die Füchse wollten sich an die Umgebung anpassen, damit sie getarnt sind.
- ☐ Füchse mit hellerem Fell konnten besser Beute machen, mehr Nachwuchs versorgen und die Fellfarbe an mehr Kinder vererben.
- ☐ Die Füchse erkannten, dass sie weißes Fell zum Überleben brauchten.
- ☐ Die Antwort ist anders: _____

21. Die natürliche Veränderung der Arten und die Veränderung der Arten durch Züchtung:

- ☐ Unterscheiden sich nicht, nur nutzen wir manche Arten als Nutztier oder Nutzpflanze.
- ☐ Bei beiden erfolgt eine Anpassung an ein vorgegebenes Ziel. Bei der Züchtung durch den Menschen, in der Natur durch Schöpfung.
- ☐ Bei der natürlichen Veränderung haben besser an die Umwelt angepasste Lebewesen mehr Nachkommen.
- ☐ Bei der Züchtung haben besser an die Umwelt angepasste Lebewesen mehr Nachkommen.
- ☐ Die Antwort ist anders: _____

**22. Geparden können bis zu 96 km/h laufen, wenn sie Beute jagen. Ihre Vorfahren konnten nur 32 km/h laufen. Wie entwickelte sich die Zunahme der Geschwindigkeit?**

- ☐ Die Geparden trainierten ihre Laufmuskeln. Die Nachkommen hatten dann kräftigere Muskeln.
- ☐ Es war für die Geparden nötig schneller laufen zu können, deshalb entwickelte sich diese Eigenschaft.
- ☐ Geparden wurden gezüchtet. Die Eigenschaft schneller laufen zu können war eine Anpassung an ein Zuchtziel.
- ☐ Eine Mutation führte zu höherer Geschwindigkeit. Schnellere Geparden hatten einen Vorteil, sie jagten mehr Beute und vererbten diese Mutation an mehr Nachkommen.
- ☐ Die Antwort ist anders: _____

**23. Viele Tiere haben eine ähnliche Farbe wie ihre Umgebung (z.B. grüne Frösche, die unter grünen Blättern leben).
Hast Du eine Erklärung wie sich solche Eigenschaften bei diesen Tieren entwickelt haben?**

24. Du beobachtest folgende Situation: Am Südpol zeugen ein männlicher Pinguin mit normal dichtem Gefieder und ein weiblicher Pinguin mit sehr dichtem Gefieder ein Junges. Dies hat auch ein sehr dichtes Gefieder. Wie erklärst du diese Situation?

- ☐ Da es am Südpol sehr kalt ist, musste das Junge das dichteste Gefieder erhalten.
- ☐ Da hat das Junge Glück gehabt. Es hätte auch ein nicht so dichtes Gefieder bekommen können.
- ☐ Weil das Junge sonst erfroren wäre, wuchs das Gefieder stärker.
- ☐ Die Antwort ist anders: _____



25. In einer Gruppe von Heuschrecken ist der Körper der Tiere entweder grün oder hellbraun gefärbt. Dort wo die Heuschrecken leben, haben die Pflanzen normalerweise grüne oder hellbraune Blätter. Vor kurzem hat eine Krankheit die Pflanzen mit hellbraunen Blättern vernichtet. Dies führte dazu, dass es dort viel mehr Heuschrecken mit grünem Körper gibt. Wie erklärst du dir diesen Effekt?

- ☐ Die Heuschrecken passten sich der Veränderung des Lebensraumes an.
- ☐ Die Notwendigkeit zum Überleben führte dazu, dass die Heuschrecken ihre Körperfärbung änderten.
- ☐ Nur die Heuschrecken mit grün gefärbtem Körper entkamen einem Räuber, überlebten und pflanzten sich fort.
- ☐ Die Antwort ist anders: _____



26. Unter den Kindern einer Feldmaus befindet sich eine Maus mit zufällig veränderten Genen. Was wird mit dieser Maus geschehen?

- ☐ Sie wird auf jeden Fall aufgrund ihrer Veränderung in den Genen früh sterben.
- ☐ Sie könnte trotz oder wegen der Veränderung in den Genen überleben und sogar Nachkommen erzeugen.
- ☐ Sie wird auf jeden Fall überleben, da Veränderungen in den Genen einen Organismus immer stärken. Sie kann Nachkommen zeugen.
- ☐ Die Antwort ist anders: _____

Vielen Dank für Deine Mühe!

B.2 FRAGEBOGEN NACHTEST

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

sicher erinnerst du dich an einen ähnlichen Fragebogen vor einiger Zeit. Auch jetzt interessieren uns deine Vorstellungen zur Veränderung von Lebewesen.

Aus diesem Grund bitten wir dich noch einmal einige Fragen ehrlich zu beantworten. Du kannst dir auch diesmal sicher sein, dass deine Antworten geheim bleiben, dafür gibst du ja deinen Geheimcode an.

Teil A: Bitte erstelle zunächst wieder deinen Fragebogen-Code und trage ein:

	Der erste Buchstabe vom Vornamen deines Vaters (z.B. H erbert)	Tag deiner Geburt ohne Monat (z.B. 24. Dezember)	Der erste Buchstabe vom Vornamen deiner Mutter (z.B. S teffi)
Beispiel	H	24	S
Trage hier deine Daten ein.			

Lies bitte die Aussagen durch und entscheide, ob Du zustimmst.

Kreuze dann **immer ein entsprechendes Kästchen** an.

(☺☺ = stimmt genau, ☺ = stimmt fast, ☹ = weder noch, ☹☹ = stimmt kaum, ☹☹☹ = stimmt gar nicht)



Teil B	☺☺	☺	☹	☹☹	☹☹☹
1. Die Lebewesen sehen heute so aus, wie sie immer schon ausgesehen haben.	☐	☐	☐	☐	☐
2. Alle Lebewesen wurden, wie sie heute aussehen, von Gott geschaffen.	☐	☐	☐	☐	☐
3. Alle Tiere und Pflanzen haben sich aus Vorfahren entwickelt.	☐	☐	☐	☐	☐
4. Tiere und Pflanzen wurden zum Nutzen der Menschen geschaffen.	☐	☐	☐	☐	☐
5. Der Mensch hat sich aus affenähnlichen Vorfahren entwickelt.	☐	☐	☐	☐	☐
6. Zur Zeit der Dinosaurier haben schon Menschen gelebt.	☐	☐	☐	☐	☐
7. Alle Lebewesen stammen von einem gemeinsamen Vorfahren ab.	☐	☐	☐	☐	☐

Teil C	😊😊	😊	😊	😐	😞	😞😞
8. Eine Art verändert sich, weil die einzelnen Lebewesen sich entwickeln wollen.	☐	☐	☐	☐	☐	☐
9. Eine Art verändert sich, weil die Lebewesen sich etwas unterscheiden und einige, die zufällig besser angepasst sind, eher überleben.	☐	☐	☐	☐	☐	☐
10. Anpassung geschieht, weil die einzelnen Lebewesen sich anpassen müssen.	☐	☐	☐	☐	☐	☐
11. Mutationen (spontane Veränderungen des Erbguts) sind für Lebewesen nie vorteilhaft.	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Teil D	😊😊	😊	😊	😐	😞	😞😞
12. Bodybilder üben mit schweren Gewichten um große Muskeln zu entwickeln. Ihre Kinder werden aber deshalb nicht mit größeren Muskeln geboren.	☐	☐	☐	☐	☐	☐
13. Bringt man einem Hund bei, durch einen Reifen zu springen, dann wissen dessen Welpen bei Geburt wie man durch Reifen springt.	☐	☐	☐	☐	☐	☐
14. Eine Frau färbt sich immer ihre Haare blond. Sie bekommt mit einem Mann, der sich ebenfalls die Haare blondiert, drei Kinder. Die Kinder werden auf jeden Fall blonde Haare haben.	☐	☐	☐	☐	☐	☐
15. Wenn ein Paar hellhäutige Menschen nach Mallorca zieht und dort sehr braun wird, dann hätten ihre Kinder eine dunklere Hautfarbe als ihre Eltern ursprünglich hatten.	☐	☐	☐	☐	☐	☐



Teil E:		
16. Können die angegeben zwei Tiere sich paaren und fruchtbare Nachkommen haben?	ja	nein
Pony und Pferd	☐	☐
Pferd und Rind	☐	☐
Boxer und Dogge	☐	☐
Ziege und Schaf	☐	☐

Für jede Frage gibt es mehrere Antwortmöglichkeiten. Lies erst alle Antwortmöglichkeiten. Entscheide dich dann **für genau eine** und kreuze sie an.



Teil F:

17. Der berühmte Biologie August Weissmann machte vor über 100 Jahren ein Experiment. Hierbei schnitt er mehreren Mäusen die Schwänze ab. Wie sehen die Kinder dieser Mäuse aus?

- ☐ Die Kinder haben gar keinen Schwanz.
- ☐ Das Abschneiden hat keine Auswirkung. Die Schwänze der Mäuse sind etwas unterschiedlich lang, wie bei den Eltern auch.
- ☐ Die Schwänze sind verschieden lang, aber im Durchschnitt etwas kürzer als bei den Eltern.
- ☐ Die Antwort ist anders: _____

18. Nehmen wir an, Herr Weissmann schneidet den Nachkommen wieder die Schwänze ab und deren Nachkommen auch usw. Dies wiederholt er 20mal. Wie sehen dann die Kinder dieser Mäuse aus?

- ☐ Die Kinder haben gar keinen Schwanz mehr.
- ☐ Das Abschneiden hat keine Auswirkung. Die Schwänze der Mäuse sind etwas unterschiedlich lang, wie bei den Eltern auch.
- ☐ Die Schwänze sind verschieden lang, aber im Durchschnitt etwas kürzer als bei den Eltern.
- ☐ Die Antwort ist anders: _____



Teil G

19. Die Vorfahren der Eisbären hatten braunes Fell. Wie lässt sich die Entstehung des weißen Fells der Eisbären erklären?

- ☐ Bären mit hellerem Fell konnten besser Beute machen, mehr Nachwuchs versorgen und die Fellfarbe an mehr Kinder vererben.
- ☐ Die Eisbären wollten sich an die Umgebung anpassen, damit sie getarnt sind.
- ☐ Die Eisbären erkannten, dass sie weißes Fell zum Überleben brauchten.
- ☐ Die Antwort ist anders: _____

20. Kängurus können heute 12 Meter weit springen. Sie stammen von Tieren ab, die gar nicht springen konnten. Wie entwickelte sich die Fähigkeit große Sprünge zu machen?

- ☐ Die Kängurus trainierten ihre Sprungmuskeln. Die Nachkommen hatten dann kräftigere Muskeln.
- ☐ Eine Mutation führte zu größeren Sprüngen. Springende Kängurus hatten einen Vorteil, sie entkamen eher einem Räuber und vererbten diese Mutation an mehr Nachkommen.
- ☐ Es war für die Kängurus nötig springen zu können, deshalb entwickelte sich diese Eigenschaft.
- ☐ Kängurus wurden gezüchtet. Die Eigenschaft gut springen zu können war eine Anpassung an ein Zuchtziel.
- ☐ Die Antwort ist anders: _____



21. Unter den Kindern einer Feldmaus befindet sich eine Maus mit zufällig veränderten Genen. Was wird mit dieser Maus geschehen?

- ☐ Sie wird auf jeden Fall aufgrund ihrer Veränderung in den Genen früh sterben.
- ☐ Sie könnte trotz oder wegen der Veränderung in den Genen überleben und sogar Nachkommen erzeugen.
- ☐ Sie wird auf jeden Fall überleben, da Veränderungen in den Genen einen Organismus immer stärken. Sie kann Nachkommen zeugen.
- ☐ Die Antwort ist anders: _____

22. Du beobachtest folgende Situation: Am Südpol zeugen ein männlicher Pinguin mit normal dichtem Gefieder und ein weiblicher Pinguin mit sehr dichtem Gefieder ein Junges. Dies hat auch ein sehr dichtes Gefieder. Wie erklärst du diese Situation?

- ☐ Da es am Südpol sehr kalt ist, musste das Junge das dichteste Gefieder erhalten.
- ☐ Da hat das Junge Glück gehabt. Es hätte auch ein nicht so dichtes Gefieder bekommen können.
- ☐ Weil das Junge sonst erfroren wäre, wuchs das Gefieder stärker.
- ☐ Die Antwort ist anders: _____



**23. Viele Tiere haben eine ähnliche Farbe wie ihre Umgebung (z.B. grüne Frösche, die unter grünen Blättern leben).
Hast Du eine Erklärung wie sich solche Eigenschaften bei diesen Tieren entwickelt haben?**



24. In einer Gruppe von Nachtfaltern ist der Körper der Tiere entweder weißlich hell oder schwarz gefärbt. Dort wo die Nachtfalter leben, haben die Bäume teilweise weiße Flechten auf ihrem Stamm. Vor kurzem hat eine Krankheit viele Flechten vernichtet. Dies führte dazu, dass es dort viel mehr schwarze Nachtfalter gibt. Wie erklärst du dir diesen Effekt?

- ☐ Die Nachtfalter passten sich der Veränderung des Lebensraumes an.
- ☐ Die Notwendigkeit zum Überleben führte dazu, dass die Nachtfalter ihre Körperfarbe änderten.
- ☐ Nur die Nachtfalter mit schwarz gefärbtem Körper entkamen einem Räuber, überlebten und pflanzten sich fort.
- ☐ Die Antwort ist anders: _____

25. Erkläre, wie Anpassung durch natürliche Selektion funktioniert (Darwins Theorie).

26. Die Vorfahren der Giraffen lebten im Wald und hatten kurze Hälse. Wie erklärst du die Entstehung des langen Halse heute lebender Giraffen?

- ☐ Die kurzhalsigen Vorfahren starben aus. Danach siedelten dort neu geschaffene Giraffen.
- ☐ Die Giraffen hatten unterschiedlich lange Hälse. Giraffen mit längeren Hälsen konnten besser die Blätter von hohen Bäumen fressen. Sie hatten einen Vorteil und pflanzten sich mehr fort.
- ☐ Die kurzhalsigen Giraffen mussten den Hals strecken, um an die Blätter der Bäume zu gelangen. Durch ständige Streckung wurde der Hals länger. Diese Veränderung erbten die Nachkommen.
- ☐ Die Giraffen erkannten, dass sie längere Hälse für das Überleben brauchten und entwickelten längere Hälse.
- ☐ Die Antwort ist anders: _____



27. Die natürliche Veränderung der Arten und die Veränderung der Arten durch Züchtung:

- ☐ Unterscheiden sich beide nicht, nur nutzen wir manche Arten als Nutztier oder Nutzpflanze.
- ☐ Bei beiden erfolgt eine Anpassung an ein vorgegebenes Ziel. Bei der Züchtung durch den Menschen, in der Natur durch Schöpfung.
- ☐ Bei der natürlichen Veränderung haben besser an die Umwelt angepasste Lebewesen mehr Nachkommen.
- ☐ Bei der Züchtung haben besser an die Umwelt angepasste Lebewesen mehr Nachkommen.
- ☐ Die Antwort ist anders: _____

Vielen Dank für Deine Mühe!

FRAGEBOGEN ITEMHÄUFIGKEITEN

C Häufigkeiten der Fragebogenitems**Interventionsgruppen**

		Häufigkeit	Gültige Prozente
Gültig	Versuchsgruppe	364	51,3
	Kontrollgruppe	346	48,7
	Gesamt	710	100,0

Schulform

		Häufigkeit	Gültige Prozente
Gültig	Gymnasium	562	79,2
	Gesamtschule	148	20,8
	Gesamt	710	100,0

Klassenstufe

		Häufigkeit	Gültige Prozente
Gültig	5	433	61,0
	6	277	39,0
	Gesamt	710	100,0

Alter

		Häufigkeit	Gültige Prozente
Gültig	9	4	,6
	10	101	14,3
	11	360	50,9
	12	228	32,2
	13	14	2,0
	Gesamt	707	100,0
Fehlend		3	
Gesamt		710	

Geschlecht

		Häufigkeit	Gültige Prozente
Gültig	weiblich	368	52,0
	männlich	340	48,0
	Gesamt	708	100,0
Fehlend		2	
Gesamt		710	

Glaubensrichtung

		Häufigkeit	Gültige Prozente
Gültig	evangelisch	325	45,9
	katholisch	258	36,4
	muslimisch	45	6,4
	andere	25	3,5
	keine	55	7,8
	Gesamt	708	100,0
Fehlend		2	
Gesamt		710	

Interesse Biologie

		Häufigkeit	Gültige Prozente
Gültig	hoch	213	30,1
	mittel	440	62,1
	gering	55	7,8
	Gesamt	708	100,0
Fehlend		2	
Gesamt		710	

Fragebogen Vortest (alle Fälle, Versuchs- (VG) und Kontrollgruppe (KG), Angabe in gültigen Prozentsen

(☺☺ = SG, stimmt genau; ☺ = SF, stimmt fast; ☹ = WN, weder noch; ☹ = SK, stimmt kaum; ☹☹ = SN, stimmt gar nicht)

Teil B		SG	SF	WN	SK	SN
B1	Die Lebewesen sehen heute so aus, wie sie immer schon ausgesehen haben.	2,4	21,3	11,7	36,5	28,1
	VG	2,2	23,6	10,2	36,3	27,7
	KG	2,6	18,8	13,3	36,8	28,4
B2	Alle Lebewesen wurden, wie sie heute aussehen, von Gott geschaffen.	18,0	16,7	15,8	14,0	35,5
	VG	19,6	15,1	15,4	11,8	38,1
	KG	16,3	18,3	16,3	16,3	32,8
B3	Alle Tiere und Pflanzen haben sich aus Vorfahren entwickelt.	54,1	29,6	9,2	3,8	3,3
	VG	55,0	29,2	7,8	4,7	3,3
	KG	53,1	30,0	10,8	2,9	3,2
B4	Tiere und Pflanzen wurden zum Nutzen der Menschen geschaffen.	16,8	23,9	18,1	16,7	24,5
	VG	17,7	23,0	17,7	15,8	25,8
	KG	15,8	24,9	18,5	17,6	23,2
B5	Der Mensch hat sich aus affenähnlichen Vorfahren entwickelt.	70,3	15,3	4,8	2,4	7,2
	VG	70,6	15,2	6,6	2,2	5,3
	KG	69,9	15,3	2,9	2,6	9,2
B6	Zur Zeit der Dinosaurier haben schon Menschen gelebt.	6,0	5,7	6,7	6,8	74,9
	VG	3,9	5,8	9,1	6,6	74,7
	KG	8,2	5,6	4,1	7,0	75,1
B7	Alle Lebewesen stammen von einem gemeinsamen Vorfahren ab.	15,8	12,8	16,8	17,9	36,6
	VG	16,9	12,7	19,1	18,6	32,7
	KG	14,7	12,9	14,4	17,3	40,8
Teil C		SG	SF	WN	SK	SN
C8	Eine Art verändert sich, weil die Lebewesen sich etwas unterscheiden und einige, die zufällig besser angepasst sind, eher überleben.	24,6	37,1	25,8	8,2	4,3
	VG	24,7	39,2	25,6	8,6	1,9
	KG	24,6	34,9	26,0	7,7	6,8
C9	Mutationen(spontane Veränderungen des Erbguts) sind für Lebewesen nie vorteilhaft.	8,0	20,7	39,4	20,1	11,9
	VG	8,9	22,0	36,3	18,9	14,0
	KG	7,0	19,4	42,5	21,4	9,7

C10	Eine Art verändert sich, weil die einzelnen Lebewesen sich entwickeln wollen.		13,7	27,0	19,4	15,9	24,0
		VG	12,4	29,7	17,8	18,1	22,0
		KG	24,3	21,0	13,6	26,0	
C11	Anpassung geschieht, weil die einzelnen Lebewesen sich anpassen müssen.		41,6	37,2	13,2	4,3	3,7
		VG	43,8	39,3	9,4	4,2	3,3
		KG	39,4	35,0	17,2	4,4	4,1

Teil D			SG	SF	WN	SK	SN
D12	Wenn ein Paar hellhäutiger Menschen nach Mallorca zieht und dort sehr braun wird, dann hätten ihre Kinder eine dunklere Hautfarbe als ihre Eltern ursprünglich hatten.		5,5	13,8	12,9	23,0	44,8
		VG	6,4	15,7	12,7	20,7	44,5
		KG	4,7	11,7	13,1	25,4	45,2
D13	Bringt man einem Hund bei, durch einen Reifen zu springen, dann wissen dessen Welpen bei Geburt wie man durch Reifen springt.		1,8	5,9	8,2	17,2	66,8
		VG	2,2	5,2	9,9	17,0	65,7
		KG	1,5	6,7	6,4	17,4	68,0
D14	Bodybilder üben mit schweren Gewichten um große Muskeln zu entwickeln. Ihre Kinder werden aber deshalb nicht mit größeren Muskeln geboren.		66,2	13,4	6,2	4,4	9,8
		VG	68,6	12,4	5,0	4,7	9,4
		KG	63,7	14,5	7,6	4,1	10,2
D15	Eine Frau färbt sich immer ihre Haare blond. Sie bekommt mit einem Mann, der sich ebenfalls die Haare blondiert, drei Kinder. Die Kinder werden auf jeden Fall blonde Haare haben.		1,7	5,9	12,2	18,8	61,4
		VG	,8	6,6	13,0	18,5	61,0
		KG	2,6	5,2	11,3	19,1	61,7

Teil E: Können die angegeben zwei Tiere sich paaren und fruchtbare Nachkommen haben?		ja	nein	
E161	Pferd und Rind		15,5	84,5
		VG	14,4	85,6
		KG	16,6	83,4
E162	Dackel und Schäferhund		84,3	15,7
		VG	84,0	16,0
		KG	84,5	15,5

E163	Pony und Pferd		73,6	26,4
		VG	74,9	25,1
		KG	72,3	27,7
E164	Ziege und Schaf		48,4	51,6
		VG	45,7	54,3
		KG	51,2	48,8

(Antworten kategorisiert und ggf. dichotomisiert)

Teil F		darw.	lam.	final.	Schöpfung
F17	Jungen Hunden wurde früher vom Züchter oft der Schwanz abgeschnitten. Wie sehen die Welpen (Kinder) solcher Hunde aus?	70,3	6,3	22,0	
	VG	71,7	7,2	19,2	
	KG	68,9	5,3	24,9	
F18	Nehmen wir an, ein Züchter schneidet den Nachkommen dieser Hunde wieder die Schwänze ab und deren Nachkommen auch usw. Dies wiederholt er 20mal. Wie sehen dann die Kinder dieser Hunde aus?	54,6	20,3	24,5	
	VG	52,9	23,0	23,5	
	KG	56,4	17,5	25,4	
F19	Die Vorfahren der Elefanten hatten keinen langen Rüssel. Wie erklärst du die Entstehung des langen Rüssels heute lebender Elefanten?	53,2	17,4	14,8	10,7
	VG	53,9	17,1	14,6	10,8
	KG	52,5	17,7	15,0	10,6
F20	Früher hatte in Nordeuropa die Hälfte der Füchse weißes Fell, während die andere Hälfte braunes Fell hatte. Heute findet man fast nur noch Füchse mit weißem Fell. Wie lässt sich dies erklären?	35,8		54,3	
	VG	35,9		54,6	
	KG	35,7		54,1	
F21	Die natürliche Veränderung der Arten und die Veränderung der Arten durch Züchtung.	28,1		16,6	32,4
	VG	28,5		15,9	31,7
	KG	27,7		17,5	33,1
F22	Geparden können bis zu 96 km/h laufen, wenn sie Beute jagen. Ihre Vorfahren konnten nur 32 km/h laufen. Wie entwickelte sich die Zunahme der Geschwindigkeit?	34,2	8,0	56,4	
	VG	32,1	7,8	59,5	
	KG	36,5	8,2	53,2	

F24_01	Du beobachtest folgende Situation: Am Südpol zeugen ein männlicher Pinguin mit normal dichtem Gefieder und ein weiblicher Pinguin mit sehr dichtem Gefieder ein Junges. Dies hat auch ein sehr dichtes Gefieder. Wie erklärst du diese Situation?	29,6	
		VG	26,4
		KG	33,0
F25	In einer Gruppe von Heuschrecken ist der Körper der Tiere entweder grün oder hellbraun gefärbt. Dort wo die Heuschrecken leben, haben die Pflanzen normalerweise grüne oder hellbraune Blätter. Vor kurzem hat eine Krankheit die Pflanzen mit hellbraunen Blättern vernichtet. Dies führte dazu, dass es dort viel mehr Heuschrecken mit grünem Körper gibt. Wie erklärst du dir diesen Effekt?	25,6	71,0
		VG	27,9
		KG	23,2
F26_01	Unter den Kindern einer Feldmaus befindet sich eine Maus mit zufällig veränderten Genen. Was wird mit dieser Maus geschehen?	55,4	
		VG	56,9
		KG	53,9

**Fragebogen Nachtest (alle Fälle, Versuchs- (VG) und Kontrollgruppe (KG),
Angabe in gültigen Prozentsen**

(☺☺ = SG, stimmt genau; ☺ = SF, stimmt fast; ☹ = WN, weder noch; ☹ = SK, stimmt kaum; ☹☹ = SN, stimmt gar nicht)

Teil B		SG	SF	WN	SK	SN
B1	Die Lebewesen sehen heute so aus, wie sie immer schon ausgesehen haben.	1,0	10,6	11,4	34,8	42,3
	VG	,5	7,4	8,8	37,1	46,2
	KG	1,4	13,9	14,2	32,4	38,2
B2	Alle Lebewesen wurden, wie sie heute aussehen, von Gott geschaffen.	10,0	11,3	14,6	16,4	47,7
	VG	6,6	7,5	11,6	17,7	56,6
	KG	13,6	15,4	17,7	15,1	38,3
B3	Alle Tiere und Pflanzen haben sich aus Vorfahren entwickelt.	63,3	24,7	5,9	3,2	2,8
	VG	70,0	22,3	6,1	1,1	,6
	KG	56,2	27,2	5,8	5,5	5,2
B4	Tiere und Pflanzen wurden zum Nutzen der Menschen geschaffen.	11,0	19,5	18,5	20,5	30,5
	VG	11,6	16,9	20,2	20,7	30,7
	KG	10,4	22,3	16,8	20,2	30,3
B5	Der Mensch hat sich aus affenähnlichen Vorfahren entwickelt.	68,5	17,4	4,3	3,8	6,0
	VG	70,6	17,2	3,9	4,2	4,2
	KG	66,3	17,7	4,7	3,5	7,8
B6	Zur Zeit der Dinosaurier haben schon Menschen gelebt.	5,4	5,7	7,8	8,6	72,5
	VG	4,4	5,0	8,3	7,2	75,1
	KG	6,4	6,4	7,3	10,2	69,8
B7	Alle Lebewesen stammen von einem gemeinsamen Vorfahren ab.	14,3	12,7	14,9	16,6	41,5
	VG	13,5	14,1	14,4	16,0	42,0
	KG	15,1	11,3	15,4	17,2	41,0
Teil C		SG	SF	WN	SK	SN
C9	Eine Art verändert sich, weil die Lebewesen sich etwas unterscheiden und einige, die zufällig besser angepasst sind, eher überleben.	47,5	30,1	12,9	6,2	3,3
	VG	62,5	24,2	8,3	3,3	1,7
	KG	31,6	36,3	17,8	9,4	5,0
C11	Mutationen(spontane Veränderungen des Erbguts) sind für Lebewesen nie vorteilhaft.	5,5	14,3	36,3	22,1	21,8
	VG	3,9	12,0	29,4	25,2	29,4
	KG	7,1	16,8	43,5	18,8	13,8

C8	Eine Art verändert sich, weil die einzelnen Lebewesen sich entwickeln wollen.		11,5	23,2	19,8	20,5	24,9
		VG	10,0	22,8	19,4	19,2	28,6
		KG	13,2	23,7	20,2	21,9	21,1
C10	Anpassung geschieht, weil die einzelnen Lebewesen sich anpassen müssen.		38,7	32,2	15,2	7,9	6,0
		VG	36,3	32,1	15,4	8,2	8,0
		KG	41,3	32,3	15,0	7,6	3,8

	Teil D		SG	SF	WN	SK	SN
D15	Wenn ein Paar hellhäutiger Menschen nach Mallorca zieht und dort sehr braun wird, dann hätten ihre Kinder eine dunklere Hautfarbe als ihre Eltern ursprünglich hatten.		5,2	11,5	11,1	20,3	51,8
		VG	4,7	8,2	7,7	17,0	62,4
		KG	5,8	15,0	14,7	23,7	40,8
D13	Bringt man einem Hund bei, durch einen Reifen zu springen, dann wissen dessen Welpen bei Geburt wie man durch Reifen springt.		2,1	4,8	5,7	12,0	75,4
		VG	2,5	2,8	4,1	8,6	82,0
		KG	1,7	7,0	7,2	15,7	68,4
D12	Bodybilder üben mit schweren Gewichten um große Muskeln zu entwickeln. Ihre Kinder werden aber deshalb nicht mit größeren Muskeln geboren.		70,7	10,7	4,0	4,4	10,2
		VG	78,8	8,0	1,1	2,2	9,9
		KG	62,1	13,7	7,0	6,7	10,5
D14	Eine Frau färbt sich immer ihre Haare blond. Sie bekommt mit einem Mann, der sich ebenfalls die Haare blondiert, drei Kinder. Die Kinder werden auf jeden Fall blonde Haare haben.		2,7	5,1	9,3	12,5	70,4
		VG	2,2	3,8	9,3	7,1	77,5
		KG	3,2	6,4	9,2	18,2	63,0

Teil E: Können die angegeben zwei Tiere sich paaren und fruchtbare Nachkommen haben?		ja	nein	
E162	Pferd und Rind		14,2	85,8
		VG	12,4	87,6
		KG	16,2	83,8
E163	Boxer und Dogge		86,7	13,3
		VG	84,9	15,1
		KG	88,6	11,4

E161	Pony und Pferd		81,3	18,7
		VG	84,1	15,9
		KG	78,3	21,7
E164	Ziege und Schaf		47,8	52,2
		VG	47,1	52,9
		KG	48,5	51,5

(Antworten kategorisiert und ggf. dichotomisiert)

	Teil F		darw.	lam.	final.	Schöpfung
F17	Der berühmte Biologie August Weissmann machte vor über 100 Jahren ein Experiment. Hierbei schnitt er mehreren Mäusen die Schwänze ab. Wie sehen die Kinder dieser Mäuse aus?		74,9	2,1	21,7	
		VG	80,6	1,7	16,1	
		KG	68,8	2,6	27,6	
F18	Nehmen wir an, Herr Weissmann schneidet den Nachkommen wieder die Schwänze ab und deren Nachkommen auch usw. Dies wiederholt er 20mal. Wie sehen dann die Kinder dieser Mäuse aus?		60,3	14,4	24,4	
		VG	66,6	9,7	22,7	
		KG	53,5	19,4	26,2	
F26	Die Vorfahren der Giraffen lebten im Wald und hatten kurze Hälse. Wie erklärst du die Entstehung des langen Halse heute lebender Giraffen?		67,9	10,9	10,2	7,7
		VG	84,5	3,4	4,0	5,2
		KG	50,3	18,9	16,8	10,4
F19	Die Vorfahren der Eisbären hatten braunes Fell. Wie lässt sich die Entstehung des weißen Fells der Eisbären erklären?		34,3		59,6	
		VG	49,0		44,2	
		KG	18,8		75,9	
F27	Die natürliche Veränderung der Arten und die Veränderung der Arten durch Züchtung.		32,6		9,8	39,3
		VG	34,8		6,9	41,4
		KG	30,2		12,8	37,1
F20	Kängurus können heute 12 Meter weit springen. Sie stammen von Tieren ab, die gar nicht springen konnten. Wie entwickelte sich die Fähigkeit große Sprünge zu machen?		55,0	5,2	37,8	
		VG	67,9	3,1	27,4	
		KG	41,4	7,4	48,8	

F22	Du beobachtest folgende Situation: Am Südpol zeugen ein männlicher Pinguin mit normal dichtem Gefieder und ein weiblicher Pinguin mit sehr dichtem Gefieder ein Junges. Dies hat auch ein sehr dichtes Gefieder. Wie erklärst du diese Situation?	40,9	49,6
	VG	46,8	42,3
	KG	34,8	57,2
F24	In einer Gruppe von Nachtfaltern ist der Körper der Tiere entweder weißlich hell oder schwarz gefärbt. Dort wo die Nachtfalter leben, haben die Bäume teilweise weiße Flechten auf ihrem Stamm. Vor kurzem hat eine Krankheit viele Flechten vernichtet. Dies führte dazu, dass es dort viel mehr schwarze Nachtfalter gibt. Wie erklärst du dir diesen Effekt?	46,2	51,9
	VG	60,1	37,2
	KG	31,3	67,8
F21_01	Unter den Kindern einer Feldmaus befindet sich eine Maus mit zufällig veränderten Genen. Was wird mit dieser Maus geschehen?	63,9	
	VG	68,7	
	KG	58,7	
F27_01	Die natürliche Veränderung der Arten und die Veränderung der Arten durch Züchtung	32,6	
	VG	34,8	
	KG	30,2	

HÄUFIGKEITEN VON BEGRIFFEN IN
BIOLOGIESCHULBÜCHERN

D Häufigkeiten von Fachbegriffen zu Themenbereichen Nutz- und Wildformen sowie Angepasstheit in Biologieschulbüchern

Ergebnisse der Häufigkeitsanalyse biologischer Begriffe in ausgewählten Texten zu den Themenbereichen Abstammung der Nutz- von Wildformen in sechs unterschiedlichen Biologielehrwerken der Orientierungsstufe für das Gymnasium in NRW (gemäß neuem Kernlehrplan).

Tab. D1: Häufigkeit biologischer Begriffe in ausgewählten Texten sechs verschiedener Biologieschulbücher der Orientierungsstufe.

Schulbuch	Anzahl biologische Begriffe im Text	Anzahl versch. biologischer Begriffe im Text	Anzahl Wörter im Text
Biologie heute	1995	632	2740
Bioskop	1685	623	3690
Fokus	1946	668	3923
Linder	2556	955	4941
Natura	2660	985	5312
Nautilus	1248	527	2682

Tab. D2: Häufigkeit thematisch relevanter Begriffe in ausgewählten Texten sechs verschiedener Biologieschulbücher der Orientierungsstufe:

Begriffe	Häufigkeit insgesamt	Vorkommen: Anzahl Bücher
Merkmal	74	6
Eigenschaft	73	6
Lebensraum	72	5
Züchtung	69	6
Nutztier	52	6
Entwicklung	51	6
Rasse	47	6
Hunderasse	44	6
Familie	43	6
Nutzpflanze	42	6

Vorfahr	28	6
Sorte	24	5
Wildtier	24	5
Jungtier	22	6
Umwelt	14	5
Züchter	14	5
Stammform	13	6
Artgenosse	12	5
Verwandschaft	11	4
Angepasstheit	10	6
Variabilität	10	3
Zucht	9	5
Verwandte	9	4
Vererbung	9	3
Generation	8	4
Zuchtziel	8	2
Lebensbedingung	6	2
Zähmung	6	3
Veranlagung	6	1
Domestikation	5	2
Kreuzung	4	4
Abstammung	4	2
Stamm	3	3
Stammvater	3	3
Entstehung	3	2
Zuchtform	3	2
Züchterin	3	1
Anpassung	2	2
Auslese	2	1
Artenvielfalt	2	2
Getreidezüchtung	2	2
Nachwuchs	2	2
Urform	2	2
Urahn	2	1
Auslesezüchtung	1	1
Evolutionsprozess	1	1
Haustierwerdung	1	1
Hundezucht	1	1
Hundezüchtung	1	1
Ursprungsform	1	1
Variation	1	1
Veränderlichkeit	1	1
Verwandschaftsgruppe	1	1
Weiterzüchtung	1	1

Zuchtauswahl	1	1
Zuchtschema	1	1
Zuchttyp	1	1
Züchtungsgeneration	1	1
Züchtungsrichtung	1	1
Artenschwund	1	1
Artenzahl	1	1
Familienangehörige/r	1	1
Stammart	1	1

Tab D.3: Häufigkeit ausgewählter Begriffe in den ausgewählten Texten der Schulbücher.

Begriff	Häufigkeit insgesamt	Vorkommen: Anzahl Bücher
Anpassung	2	2
Art	0	0
Erbsubstanz	0	0
Evolution	0	0
künstliche Selektion	0	0
Merkmal	74	6
Mutation	0	0
natürliche Selektion	0	0
Population	0	0
Variation	1	1
Vererbung	9	3

VERSICHERUNG

Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbständig 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. 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.

Hagen, Dezember 2012

Anuschka Fenner