

Weitzel, Holger; Gropengiesser, Harald

Vorstellungsentwicklung zur stammesgeschichtlichen Anpassung. Wie man Lernhindernisse verstehen und förderliche Lernangebote machen kann

Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften : ZfDN 15 (2009), S. 287-305



Quellenangabe/ Reference:

Weitzel, Holger; Gropengiesser, Harald: Vorstellungsentwicklung zur stammesgeschichtlichen Anpassung. Wie man Lernhindernisse verstehen und förderliche Lernangebote machen kann - In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften : ZfDN 15 (2009), S. 287-305 - URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-316659 - DOI: 10.25656/01:31665

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-316659>

<https://doi.org/10.25656/01:31665>

in Kooperation mit / in cooperation with:



<https://www.leibniz-ipn.de>

Nutzungsbedingungen

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document.

This document is solely intended for your personal, non-commercial use. Use of this document does not include any transfer of property rights and it is conditional to the following limitations: All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

Kontakt / Contact:

peDOCS
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation
Informationszentrum (IZ) Bildung
E-Mail: pedocs@dipf.de
Internet: www.pedocs.de

HOLGER WEITZEL UND HARALD GROPENGIESSER

Vorstellungsentwicklung zur stammesgeschichtlichen Anpassung: Wie man Lernhindernisse verstehen und förderliche Lernangebote machen kann

Development of students' conceptions of biological adaptation: Understanding students' learning difficulties and addressing them with appropriate learning activities

Zusammenfassung

Zahlreiche Studien belegen die Schwierigkeiten, die Schüler mit dem Erlernen von Evolution haben. Das wesentliche Ziel dieser Untersuchung besteht darin, die Schwierigkeiten der Schüler mit einem zentralen Aspekt von Evolution, der stammesgeschichtlichen Anpassung, zu untersuchen und die Wirkung von Lernangeboten auf deren Vorstellungen zu erheben. Auf Grundlage des Modells der Didaktischen Rekonstruktion besteht das Untersuchungsdesign aus den Schritten *Fachliche Klärung*, *Erfassen der Lernerperspektiven* und *Didaktische Strukturierung*. Die Lernangebote werden in fünf Vermittlungsexperimenten mit je drei Schülerinnen und Schülern der Oberstufe (16–18 Jahre) evaluiert. Die Vorstellungen der Schüler und deren Entwicklung in den Vermittlungsexperimenten werden in Form von „Denkpfaden“ festgehalten. Den theoretischen Rahmen für die Interpretation der Denkpfade bildet die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens. Theoretischer Rahmen, Methoden und Ergebnisse können zu einem vertieften Verständnis der konzeptuellen Struktur der Lernervorstellungen zu stammesgeschichtlicher Anpassung beitragen und den Prozess der Vorstellungsentwicklung bei der Arbeit mit didaktisch rekonstruierten Lernangeboten aufdecken.

Schlüsselwörter: Didaktische Rekonstruktion, Vermittlungsexperiment, Schülervorstellungen, Anpassung

Abstract

Students encounter various difficulties in understanding the theory of biological evolution. Therefore, our research project has focussed on the investigation of students' difficulties in learning the important concept of biological adaptation and studying the impact of teaching and learning activities on students' conceptions. Using the Model of Educational Reconstruction, a four-phase design was carried out. Firstly, a clarification of science matter was performed. Secondly, students' conceptions were investigated, and thirdly, teaching and learning activities were designed. Finally the learning activities were evaluated using five teaching experiments, each with three students aged 16–18. Interpretation of students' conceptions and their "learning pathways" during the teaching experiments were framed theoretically by experiential realism. The theoretical framework, methods as well as outcomes may contribute to a deeper understanding of students' ways of thinking about biological adaptation and reveal the process of conceptual development while working with well-designed teaching and learning activities.

Keywords: biological adaptation, educational reconstruction, experiential realism, teaching experiment

1 Einleitung

Wie schwer es Lernern fällt, evolutionsbiologische Phänomene fachlich angemessen zu erläutern, belegen zahlreiche Untersuchun-

gen (Deadman & Kelly, 1978; Brumby, 1979, 1984; Engel Clough & Wood-Robinson, 1985; Jiménez-Aleixandre & Fernandez Perez, 1987; Halldén, 1988; Ferrari & Chi, 1998; Anderson et al., 2002; Moore et al., 2002;

Baalmann, Frerichs, Weitzel, Gropengießer & Kattmann, 2004; Nehm & Schonfeld, 2008). Auf Grundlage der Untersuchung von Lernervorstellungen zur Evolution werden daher seit den 1990er Jahren vermehrt Unterrichtsansätze entwickelt, die zum Ziel haben, die Qualität des Evolutionsunterrichts zu verbessern. Mit ihrer Hilfe gelingt es einem Teil der Lerner, sich ein fachliches oder zumindest fachlich orientiertes Verständnis von Evolution anzueignen (Bishop & Anderson, 1990; Jiménez-Aleixandre, 1992; Jensen & Finley, 1995, 1996, 1997; Banet & Ayuso, 2003; Wallin, 2006). Trotzdem bleibt ein erheblicher Anteil an Lernern zurück, der über kein oder nur ein unzureichendes Verständnis von Evolution verfügt. Wenig ist bekannt über die Ursachen für die Diskrepanz zwischen angestrebten Zielen und erreichten Lernergebnissen. Mögliche Ursachen werden beispielsweise in der Komplexität des Themas und der unterschiedlichen kognitiven Leistungsfähigkeit der Lerner vermutet (Bishop & Anderson, 1990; Lawson & Worsnop, 1992; Demastes, Settlage et al. 1995). Die eingesetzten Untersuchungsdesigns – meist Prä-Post-Tests – sind für die Ursachendiagnose nicht ideal, weil zwar Lernergebnisse und Lernerfolge in den Blick kommen, nicht aber die Wirkung einzelner Lernangebote und der Verlauf des Lernprozesses. Erst durch den Einsatz prozessbezogener Untersuchungsmethoden (Vosniadou & Ioannides, 1998; Aufschnaiter & Aufschnaiter, 2003; Schmitz, 2006) kann die Entwicklung der Lernervorstellungen bei der Arbeit mit bestimmten Lernangeboten erfasst werden, da Lernhindernisse auf dem Weg zu fachlichen Vorstellungen identifiziert und Lernwege eingeschlagen werden können, die die Entwicklung eines fachlichen Verständnisses fördern.

Unter den Erklärungen der Lerner zur Evolution stehen Anpassungs-Vorstellungen im Vordergrund. Sie scheinen sich für Lerner als nahezu allumfassendes Erklärungsmuster anzubieten (Deadman & Kelly, 1978; Halldén, 1988; Baalmann et al., 2004). Jedoch stehen die Vorstellungen der Lerner

von Anpassung im Kontrast zu fachlichen Vorstellungen, sodass der Vermittlung eines fachlichen Verständnisses von stammesgeschichtlicher Anpassung eine zentrale Rolle für das Verstehen von Evolution zukommt. Vor diesem Hintergrund ist das Ziel dieser Studie die Vorstellungsentwicklung beim Bearbeiten von Lernmaterialien zu stammesgeschichtlicher Anpassung nachzuzeichnen und Schwierigkeiten beim Erlernen eines fachlichen Verständnisses zu identifizieren.

2 Theoretischer Hintergrund

Die Untersuchung gründet auf drei theoretischen Annahmen, 1. dem moderaten Konstruktivismus zur Beschreibung unseres Verständnisses von Lernen (Gerstenmaier & Mandl, 1995; Duit & Treagust, 1998), 2. dem konstruktiven Umlernen (conceptual reconstruction, Kattmann, 2008; Treagust & Duit, 2008) als lerntheoretischer Wendung des conceptual change (Strike & Posner, 1992; Duit & Treagust, 2003; Krüger, 2007) und 3. der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (Johnson, 1987; Lakoff, 1987; Lakoff, 1999; Gropengießer, 2003). Letztere wird zur erklärenden Interpretation lebensweltlicher Lernervorstellungen herangezogen.

Fachliche und lebensweltliche Vorstellungen
Vorstellungen sind „subjektive gedankliche Prozesse“ (Gropengießer, 2003, 13), die als individuelle Leistungen semantisch und operational weitgehend geschlossener Gehirne zu verstehen sind. Sie entstammen unterschiedlichen Sinngebieten, zu denen lebensweltliche, religiöse, künstlerische oder naturwissenschaftliche zählen. Die Lebenswelt ist definiert als „die Wirklichkeitsregion, in die der Mensch eingreifen und die er verändern kann, indem er in ihr durch die Vermittlung seines Leibes wirkt“ (Schütz & Luckmann, 1975, 1). Charakteristisch für lebensweltliche Vorstellungen ist ihr Erleben als selbstverständlich und gegeben. Sie werden durch ihre vielfache Bewährung in Alltagssituationen und ihre soziale Übermittlung selten

als fragwürdig erlebt (Gropengießer, 1999), ihre Bewusstwerdung und darauf aufbauende Hinterfragung in Situationen, in denen sie nicht gewinnbringend eingesetzt werden können, ist daher mit erheblicher Anstrengung verbunden.

Unter anderem durch Unterricht können fachliche Vorstellungen erlernt werden. Die zuvor bereits verfügbaren lebensweltlichen Vorstellungen werden dadurch aber nicht ausgelöscht (Duit, 1996). Vielmehr werden Lerner nach dem Erlernen fachlicher Vorstellungen über eine größere Anzahl oder stärker ausdifferenzierte Vorstellungen zu einem Phänomen verfügen, die in der Regel aus unterschiedlichen Sinngeländen stammen. Von einer Vorstellungsänderung im Sinne eines konstruktiven Umlernens kann dann sinnvoll gesprochen werden, wenn Lerner kontextsensitiv die geeignete der verfügbaren Vorstellungen auswählen, also naturwissenschaftliche Fragestellungen mit naturwissenschaftlichen Vorstellungen beantworten können (vgl. Kattmann et al., 1997). Diese Fähigkeit zu erlangen setzt eine metakognitive Perspektive auf den eigenen Lernprozess voraus.

Vorstellungen können unterschiedlich komplex sein. Nach ihrem Komplexitätsgrad werden sie in *Begriffe*, *Konzepte*, *Denkfiguren* und *Theorien* geordnet (Gropengießer, 2003, 13). Für diese Untersuchung sind Vorstellungen der beiden mittleren Komplexitätsebenen von Bedeutung: *Konzepte* stehen für Vorstellungen, in denen mehrere Begriffe miteinander verbunden sind. Ihren sprachlichen Ausdruck finden sie in Form von Aussagen (Beispiel: Anpassung geschieht absichtlich). *Denkfiguren* sind komplexere Vorstellungen, die mehrere Konzepte unter einem gemeinsamen Dach vereinen und sprachlich in Form von Grundsätzen realisiert werden (Beispiel: Gezieltes adaptives Handeln von Individuen).

Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens

Sprache ermöglicht einen interpretativen Zugang zur menschlichen Kognition, weil

es sich bei Sprache und dem Artikulieren von Sprache – dem Sprechen – selbst um kognitive Leistungen handelt (Johnson, 1987; Lakoff, 1987; Lakoff, 1999). Nach der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens ist Kognition durch mehrere Eigenschaften charakterisiert, von denen drei an dieser Stelle hervorgehoben werden:

1. *Kognition ist verkörpert*, weil Vorstellungsbildung an die Fähigkeiten des menschlichen Wahrnehmungsapparates sowie die Gestalt des Körpers und dessen Bewegungsfähigkeit in einem Raum gebunden ist. Dadurch sind das Erkennen und die Kategorisierung von Objekten sowie die Bestimmung von Relationen zwischen ihnen (Raum-Lage-Beziehungen, Teil-Ganzes-Beziehungen, Prozesshaftigkeit) abhängig davon, wie die Welt ist und wie wir Menschen sind. Dergestalt gewonnene Vorstellungen sind direkt verständlich und werden von Lakoff und Johnson (1998) als verkörpert bezeichnet. Verkörperte Vorstellungen zeigen Struktur, die durch Bildschemata beschrieben werden kann. Durch sie sind Vorstellungen auf einer abstrakten und generellen Ebene geordnet. Sie erlauben aufgrund ihrer Verkörperung erste grundlegende Kategorisierungen (Johnson, 1987). Aufgebaut sind bildschematische Strukturen aus wenigen prototypischen Elementen, die über Relationen verknüpft sind. Zu den Bildschemata zählt das Wegschema, das zur Strukturierung von Prozessen herangezogen wird. Jeder Prozess gehorcht danach einer einfachen Logik: Ausgehend von einem Startpunkt (A) wird ein Weg eingeschlagen, der zu einem Ziel (B) führt. Der Weg vom Start zum Ziel folgt einer Richtung und kann zwischen A und B an verschiedenen Stationen vorbei führen. Das Wegschema ist damit durch die Elemente *Start*, *Weg*, *Ziel* und *Richtung* strukturiert. Mit dem Wegschema wird die Bewegung einer Person oder eines Gegenstands in einem Raum direkt verstanden. Hingegen handelt es sich bei einem Ausdruck wie „Erreichen von Karrierezielen“ um metaphorisches Verstehen.

2. *Kognition ist imaginativ*, insofern Vorstellungen in abstrakten Bereichen durch den Rückgriff auf physische oder kulturelle Erfahrungen ermöglicht werden. So *sammeln wir* zum Beispiel Erfahrungen, bekommen die Wirklichkeit *in den Griff*, weil die Tatsachen klar *auf der Hand liegen*, wenn wir uns nicht *in einer Sackgasse wiederfinden*. In allen drei Fällen wird ein der Erfahrung direkt zugänglicher Bereich (der Quellbereich) auf einen anderen, abstrakten Bereich (den Zielbereich) abgebildet, sodass der abstrakte Bereich teilweise im Sinne des Quellbereichs, folglich metaphorisch, verstanden wird.

3. *Kognition hat Gestaltcharakter*. Deklarierbares Wissen ist in grundlegenden gestalthaften Einheiten organisiert. Lakoff nennt sie Idealisierte Kognitive Modelle (ICM). Sie sind aus Propositionen und Lexemmengen zusammengesetzt, die über Bildschemata miteinander verbunden sind (Lakoff, 1987). Beispielsweise umfasst die Kategorie „Schule“ Vorstellungen von Tisch, Kreide, Tafel, Lehrer, Schüler, Pausenklingeln usw. und weiterhin bildschematische Strukturen wie das Wegschema (*Ablauf* einer Unterrichtsstunde). Kognitive Modelle heißen idealisiert, weil es sich um sozial akzeptierte Hervorhebungen und gedankliche Strukturierungen von Situationen handelt, abstrahiert vom tatsächlichen Vorkommen.

3 Fragestellung

Die Untersuchung richtet sich darauf, wie sich die Vorstellungen der Lerner bei der Arbeit mit Lernangeboten zu stammesgeschichtlicher Anpassung entwickeln, welche Lernhindernisse im Zusammenhang mit stammesgeschichtlicher Anpassung auftreten und wie sie zu verstehen sind, um daraus abzuleiten, welche Lernangebote für ein fachliches Verständnis förderlich sind.

4 Methode

Modell der Didaktischen Rekonstruktion

Zur Planung, Durchführung und Auswertung der Lehr-Lern-Sequenzen wird das Modell der Didaktischen Rekonstruktion mit den drei Untersuchungsaufgaben *Fachliche Klärung*, *Erfassen der Lernerperspektiven* und *Didaktische Strukturierung* herangezogen (Kattmann et al., 1997; Gropengießer, 2003).

Im Rahmen der Fachlichen Klärung werden die Aspekte zu stammesgeschichtlicher Anpassung in den Evolutionstheorien von J. B. de Lamarck (1809), Ch. Darwin (1859) und E. Mayr (1984, 1988, 1997) untersucht.

Die Kognitionen der Lerner zu stammesgeschichtlicher Anpassung werden mittels dreier unterschiedlicher Methoden betrachtet:

Einer kognitionslinguistischen Analyse zum Wort „anpassen“ und seinen Ableitungen gründend auf der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (Lakoff & Johnson, 1998; Lakoff, 1987, 1999; Gropengießer, 1999, 2003). Aus dem schriftlich niedergelegten Sprachgebrauch des Lexems „anpassen“ wird dessen akzeptiertes Verständnis erschlossen. Als Quellen wurden unter anderem herangezogen: Grimm & Grimm (2003), Dornseiff et al. (2004), Dudenredaktion (2002). Dadurch wird es möglich, die Struktur des lebensweltlichen Verständnisses von „anpassen“ zu beschreiben und aus dem Vergleich mit dem fachlichen Verständnis erste Prognosen über potenzielle Lernchancen oder Lernhindernisse anzustellen.

Einer Reanalyse der empirischen Befunde zu Lernervorstellungen von stammesgeschichtlicher Anpassung und den ihr zugrundeliegenden Evolutionsfaktoren wie natürliche Selektion und Variabilität.

Der Untersuchung der Lernervorstellungen von Anpassung aus den Interviewphasen der Vermittlungsexperimente.

Im Rahmen der Didaktischen Strukturierung werden fachliche Vorstellungen und Lernervorstellungen wechselseitig miteinander verglichen. Dabei werden Möglichkeiten für erreichbare Vorstellungsänderungen identifiziert.

ziert, die als Leitlinien festgehalten werden. Auf deren Grundlage werden Lernangebote entwickelt und daran anschließend prozessbasiert evaluiert.

Vermittlungsexperimente

Über Vermittlungsexperimente können Lernervorstellungen erhoben und der Einfluss der Lernangebote auf die Vorstellungen der Lerner untersucht werden (Katu et al., 1993; Steffe & D'Ambrosio, 1996; Komorek & Duit, 2004). Zu diesem Zweck vereinen Vermittlungsexperimente Interviewelemente mit Unterrichtselementen. Der Versuchsleiter ist zugleich Interviewer, der die den Lernern verfügbaren Vorstellungen zum Thema erfragt, *und* Lehrer, der den Ablauf der Vermittlungsexperimente strukturiert und den Lernprozess über Lernangebote und Rückfragen zu fördern sucht.

Das Design der durchgeführten Vermittlungsexperimente orientiert sich am erweiterten Vermittlungsexperiment von Wilbers und Duit (2001) mit mehreren Lernern. Pro Vermittlungsexperiment nehmen in unserem Falle drei Lerner teil. In der erweiterten Form verbindet das Vermittlungsexperiment die Vorzüge einer Laborstudie mit der Möglichkeit zur Kontrolle der Untersuchungsbedingungen mit der Erfassung von Ursache-Wirkungs-Beziehungen in unterrichtsnahen Lehr-Lernprozessen, realisiert im hohen Anteil an Kommunikation zwischen Lernenden. Im Rahmen der zwischen 60 und 90 Minuten andauernden Vermittlungsexperimente bearbeiten die Lernenden zwei Aufgaben zu stammesgeschichtlicher Anpassung. In die Analyse einbezogen sind die Ergebnisse von fünf Lernergruppen mit neun Schülerinnen und sechs Schülern zweier Gymnasien in Frankfurt am Main (11. bis 13. Klasse, 16 bis 18 Jahre). Nach Rücksprache mit den betreffenden Lehrern nehmen Schüler von durchschnittlicher bis guter Leistungsfähigkeit an den Vermittlungsexperimenten teil, die zugleich als kommunikativ gelten. Die Schülerinnen und Schüler sind im Vorlauf des Vermittlungsexperimentes nicht zur Evolution unterrichtet worden, überwiegend ha-

ben sie das Oberstufencurriculum zur Genetik absolviert.

Die Vermittlungsexperimente werden auf Video aufgezeichnet, die Auswertung der Daten erfolgt mittels der von Gropengießer (2003, 2005) für die Fachdidaktik adaptierten Form der Qualitativen Inhaltsanalyse in fünf Schritten:

1. Erstellung eines Transkripts über eine Wortprotokollierung,
2. Redigierung der Aussagen durch Zusammentragen bedeutungstragender Äußerungen,
3. Ordnung der Aussagen durch Bündelung bedeutungsgleicher Äußerungen,
4. Explikation der Aussagen vor dem Hintergrund der Ergebnisse der Fachlichen Klärung und der kognitionslinguistischen Analyse,
5. Strukturierung der Aussagen mit dem Ziel der Ermöglichung einer Bezugnahme auf die anderen Untersuchungsergebnisse (Kommensurabilität).

Die Transkripte werden unabhängig von zwei Personen analysiert, unklare Transkriptstellen werden zusätzlich in der Arbeitsgruppe Didaktik der Biologie der Leibniz Universität Hannover diskutiert, um Reliabilität und Validität der Untersuchungsergebnisse zu gewährleisten. Gründend auf der Analyse der Lernervorstellungen werden die Denkpfade der Lerner dargestellt und mit den Interventionen verknüpft. Auf diese Weise können Vorstellungen vor einer Intervention von denen geschieden werden, die mit Hilfe der Intervention erarbeitet werden.

5 Ergebnisse

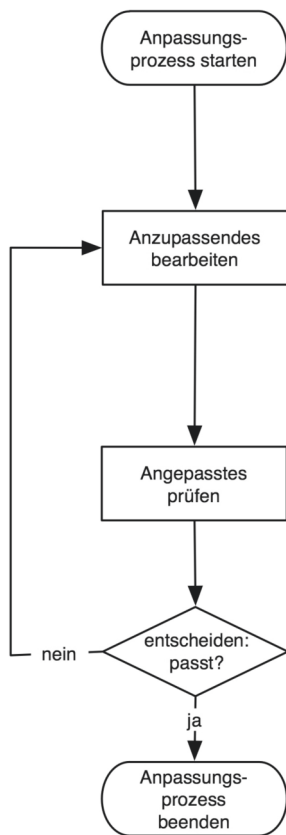
Im Folgenden werden zunächst die für die Fragestellung relevanten Ergebnisse der kognitionslinguistischen Analyse zum Terminus *anpassen* vorgestellt (5.1). Sie dienen als Interpretationsrahmen für die in den Vermittlungsexperimenten erhobenen Vorstellungen der Lerner (5.2). Diese werden nur insoweit aufgeführt, als sie die in

Baalmann et al. (2004) zusammengetragenen Schülervorstellungen zu Prozessen der Anpassung ergänzen. Aus den beiden ersten Untersuchungsschritten werden Lernhindernisse abgeleitet, die für das Erlernen stammesgeschichtlicher Anpassung wirksam werden können (5.3). Zuletzt wird anhand von Textauszügen aus einem Vermittlungsexperiment aufgezeigt, wie Lerner mithilfe didaktisch rekonstruierter Lernangebote ihre Lernhindernisse überwinden können (5.4).

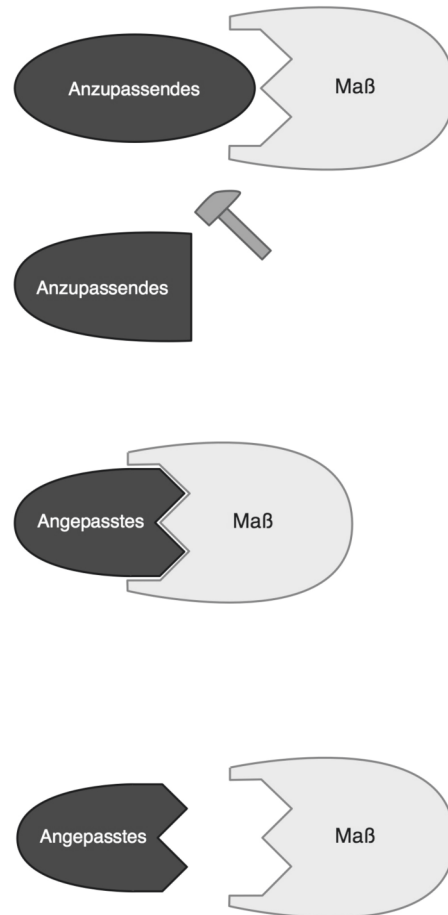
5.1 Lebensweltliches Verständnis von „anpassen“

Dem lebensweltlichen Verständnis von *anpassen* liegen Erfahrungen zugrunde: 1. Erfahrungen mit dem Zueinanderpassen von Gegenständen, 2. Erfahrungen mit der Intentionalität eigener und fremder Handlungen sowie 3. handwerkliche Erfahrungen mit dem Zurichten von Dingen.

Anpassen lässt sich lebensweltlich als Bearbeitungsprozess beschreiben, bei dem ein *Anzupassendes* in einer gegliederten Folge von Handlungsschritten zu etwas *Angepasstem* zurichtet wird.



(a)



(b)

Abb. 1: Flussdiagramm des Anpassungsprozesses als Zurichtung eines Anzupassenden auf ein Maß hin.

Das kognitive Modell des Anpassens enthält folgende Elemente (Abb. 1b):

1. Das Anzupassende, das an ein Maß angepasst werden soll.
2. Das Maß, an das das Anzupassende angepasst werden soll.
3. Das Angepasste, das nach der Bearbeitung zum Maß passt.
4. Die Handlung als Zurichtung, die aus mehreren Schritten besteht und die von einem Akteur durchgeführt wird (Abb. 1a):
 - 4.1 Bearbeitung des Anzupassenden,
 - 4.2 Prüfung auf Passung,
 - 4.3 Entscheidung: *passt* oder *passt nicht*.

Endet die Prüfung mit der Entscheidung der Nicht-Passung, können die Schritte *Bearbeitung* und *Prüfung* mehrfach wiederholt werden. Dabei nähert sich das *Anzupassende* in seiner Form rekursiv dem *Maß*, bis der Akteur die hinreichende Passung zwischen *Maß* und *Angepasstem* diagnostiziert.

Dieses für uns zunächst größtenteils unbewusste Schema ist durch eine inhärente Logik charakterisiert, aus der sich mehrere Folgerungen ableiten lassen:

1. Das *Angepasste* entsteht aus dem *Anzupassenden*. Beide unterscheiden sich in ihrer Form, zwischen ihnen besteht aber eine *direkte materielle Kontinuität*.
2. Anpassung wird als Handlung gedacht. Als Handlung beinhaltet der Anpassungsprozess die Elemente *Start* (der Handlung), *Ende* (der Handlung), eine oder mehrere *Handlungsschritte* auf dem Weg und eine *zeitliche Ausdehnung*. Letztere ist abhängig von der Zahl und/oder der Komplexität der Handlungsschritte. Handlungen werden von Akteuren ausgeführt. Mit dem Element des Akteurs sind mehrere Voraussetzungen und Eigenheiten einer Handlung verknüpft (Abb. 2). Der Akteur a. verfügt über die Fähigkeit, eine Situation (bewusst oder unbewusst) zu erfassen, b. ist in der Lage zu entscheiden, ob die Notwendigkeit zur Durchführung einer Handlung vorliegt und c. bestimmt das Ziel, auf das hin die Handlung durchgeführt wird.

Die anpassende Handlung erfolgt reaktiv als Konsequenz auf die Erkenntnis einer Notwendigkeit oder eines Wunsches, sie ist final, insofern der Anpassungsprozess mit der Erkenntnis der hinreichenden Übereinstimmung zwischen *Angepasstem* und *Maß* endet. Die anpassende Handlung unterliegt einer Absicht. Durch Absichten sind Handlungen mit Emotionen verknüpft, die sich positiv als Bereitschaft oder Wille oder negativ als Druck oder Zwang äußern können. Bedeutsam ist, dass wir in Notlagen, die mit akuter Gefahr verbunden sind, Begründungen für eine anpassende Handlung auch zur Erklärung des Handlungsprozesses heranziehen. Wir denken, dass *Not erfinderisch macht*, dass *in der Not sogar der Teufel Fliegen frisst*, sich *in der Not alles wagen lässt*, worauf es denn werden soll, denn *was sein muss, muss sein*, um *die Not zu wenden*. Deutlich wird daran, wie Elemente des kognitiven Modells der Not in jenes des Anpassungsprozesses eingefügt werden können. In gleicher Weise gilt dies für unsere Vorstellungen von Zeit. So stellen wir uns vor, dass *gut Ding Weile haben will*. Dem Wegschema folgend hat diese Vorstellung zur Konsequenz, dass größere Veränderungen am *Anzupassenden* mehr Zeit benötigen als kleinere.

Zudem kann im Kontext des Anpassens die ontologische Metapher *Die Zeit ist ein Akteur* leitend werden. Zeit wird in dieser Metapher personifiziert und kann daraufhin *entlarven*, *Rat bringen*, *lehren*, *trösten* oder gar *alle Wunden heilen*. Lakoff (1993) weist darauf hin, dass mit Hilfe der Personifizierung veränderte Zustände, denen im Detail nicht erklärbare Vorgänge zugrunde liegen, erschlossen und begriffen werden können.

Der Akteur kann zum anzupassenden Gegenstand werden

Anpassen kann in unserem Sprachgebrauch faktativ als *passend machen* oder reflexiv als *sich anpassen* verwendet werden (Es braucht einige Tage, bis man sich an die dünne Luft in großer Höhe angepasst hat). Im reflexiven Gebrauch ist das Anzupassende *Teil des*

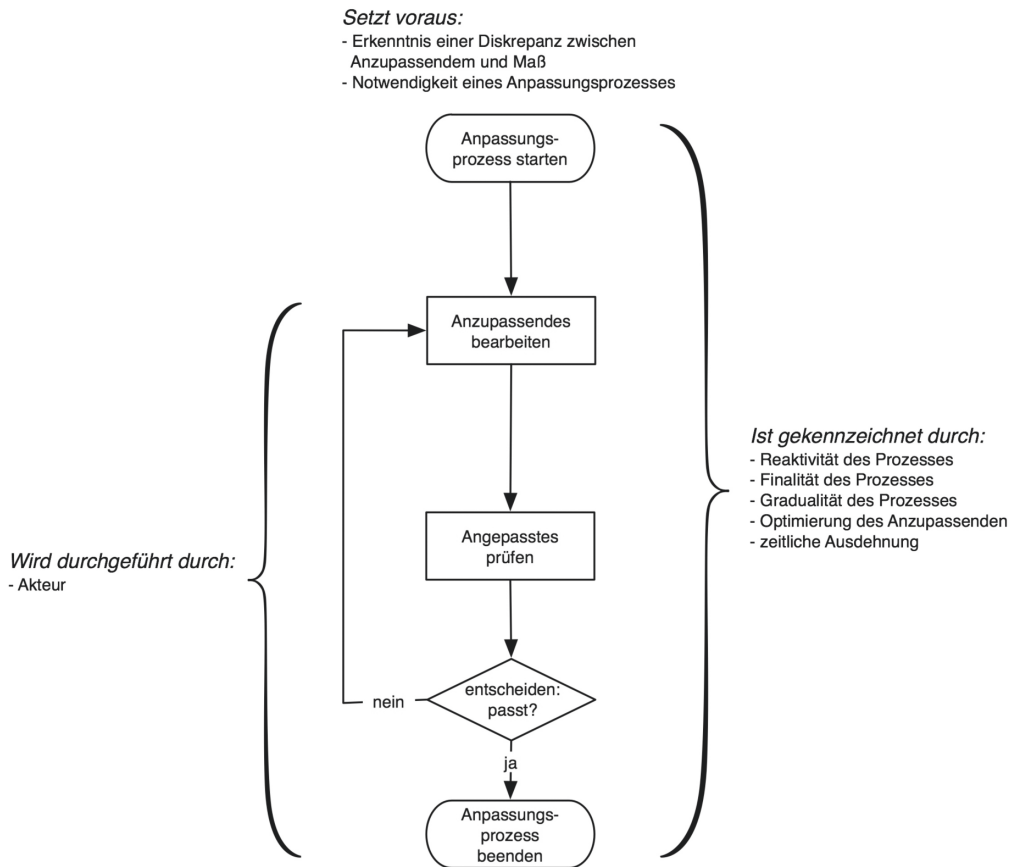


Abb. 2: Der Anpassungsprozess ist durch mehrere Voraussetzungen und Eigenheiten gekennzeichnet.

Akteurs, das Angepasste ist dem entsprechend ein *veränderter Akteur*. Die Teilschritte der Handlung zum Angepassten bleiben die Gleichen, jedoch werden uns in der Regel nur Ausgangs- und Endzustand des Anpassungsprozesses bewusst. So verfügen wir beispielsweise über die Erfahrung, dass am Ende eines Anpassungsprozesses an körperliche Arbeit Schwielen gebildet worden sind. Die dazu im Körper ablaufenden Prozesse können wir zumeist nicht oder nur unzureichend nachzeichnen. Wir verwenden in diesem Fall anpassen metaphorisch, übertragen also die Struktur unserer verkörperten Vorstellung auf einen (Ziel-)Bereich, der uns nicht vollständig zugänglich ist. Dies geschieht in gleicher Weise, wenn wir uns Anpassung in sozialen Kontexten vorstellen.

Zusammenfassend lässt sich *anpassen* lebensweltlich mit der Denkfigur einer *Gezielten Gegenstandsanzupassung* beschreiben (Abb. 3). Die Konzepte der *Reaktivität* und *Finalität* des Anpassungsvorganges stehen dem stammesgeschichtlichen Verständnis entgegen und können potenzielle Lernhindernisse darstellen. Die Vorstellung der *Gradualität* des Prozesses, die verbunden ist mit einer relativen *Optimierung* des *Anzupassenden* im Hinblick auf das *Maß* sowie die Relativität der Zeitdauer des Vorgangs korrespondieren mit dem stammesgeschichtlichen Verständnis. Sie könnten als Anknüpfungspunkte für das Erlernen einer fachlichen Vorstellung wirksam werden.

Gezielte Gegenstandsanpassung Bei einer anpassenden Handlung wird ein Gegenstand zielgerichtet zugerichtet.		
Voraussetzungen für Anpassung	Prozess der Anpassung	Eigenheiten von Anpassung
Anpassungs-Intention Anpassung geschieht absichtlich.	Anzupassendes Objekt oder Teil eines Objekts, das auf ein Maß hin zugerichtet wird.	Reaktivität Der Anpassungsprozess beginnt, wenn Anzupassendes und Maß nicht zueinander passen.
Anpassungs-Erkenntnis Ein Individuum ist in der Lage, die Diskrepanz zwischen Anzupassendem und Maß zu erkennen und daraus auf die Notwendigkeit einer Anpassung zu schließen.	Angepasstes Objekt oder Teil eines Objekts, das auf ein Maß hin zugerichtet ist.	Finalität Der Anpassungsprozess endet, wenn Angepasstes und Maß in gewünschter Weise zusammenpassen.
Anpassungs-Notwendigkeit Anpassung ist notwendig oder gewollt, wenn Anzupassendes und Maß nicht zueinander passen und intern der Wunsch, Wille oder extern ein Druck oder Zwang zur Herstellung einer Passung besteht.	Maß Objekt oder Teil eines Objekts, auf den hin ein Anzupassendes zugerichtet wird.	Graduelle Anpassung Die Bearbeitungsschritte führen zur einer graduellen Zurichtung des Anzupassenden.
	Anpassende Handlung Akteur führt anpassende Handlungen aus, bestehend aus den Teilschritten Wahl, Bearbeitung, Prüfung und Entscheidung.	Anpassung braucht Zeit Anpassende Handlungen brauchen Zeit, je größer die Diskrepanz zwischen Anzupassendem und Angepasstem, umso länger dauert die Zurichtung.
	Akteur Individuum, das den Anpassungsprozess durchführt. Der Akteur kann selbst das Anzupassende sein.	

Abb. 3: Beschreibung des lebensweltlichen Verständnisses von *anpassen* in Form einer Denkfigur mit zugehörigen Konzepten. Der Übersichtlichkeit wegen werden Voraussetzungen, Prozess und Eigenheiten des Anpassungsprozesses getrennt dargestellt.

5.2 Lernervorstellungen von stammesgeschichtlicher Anpassung

Am Beispiel einer Falldarstellung zum Industriemelanismus beim Birkenspanner (*Biston betularia*) erhalten die Lerner die Aufgabe, ihre Vorstellungen des Anpassungsprozesses darzulegen. Die Ergebnisse aus dieser Interviewphase können in drei Denkfiguren zusammen getragen werden (Abb. 4, vgl. Baalman et al., 2004). Lebensweltliches Verständnis und die in den Vermittlungsexperimenten erhobenen Vorstellungen fallen bei der Beschreibung der Voraussetzungen, der Eigenheiten und – soweit es die Untersuchung der Alltagssprache zulässt (Gropengießer, 1999) – bei der Beschreibung des Anpassungsprozesses zusammen.

Anpassung hat Grenzen

Im Kontext der Vermittlungsexperimente neu erhoben wird die Vorstellung der Begrenztheit des Anpassungsprozesses.

Gabi: Ich denke, es ist Anpassung, weil sich jedes Tier anpasst. Obwohl klar ist, dass kein Eisbär in Afrika überlebt.

Art (Rasse) erhaltende Anpassung

Das Konzept einer arterhaltenden Anpassung gründet auf dem Auftreten einer akuten Notlage, die durch geeignete Anpassung quasi automatisch überwunden werden kann. Wie für das lebensweltliche Verständnis beschrieben, wird hier der als Ursache identifizierte Zwang zur Veränderung prozessual umgedeutet und beschreibt in den Augen von Falk hinreichend die anpassende Handlung. Die Notwendigkeit der Anpassung ist damit eine wesentliche Voraussetzung des Anpassungsprozesses und ergänzt Denkfigur 1.

Falk: Es könnte ja auch so sein, dass die Art so bedroht war, dass es irgendwie eine Notlösung braucht. In der Stadt würden die hellen (Birkenspanner) getötet und dann wäre die Rasse ausgerottet und eigentlich ist es ja das

Denkfigur 1 Gezieltes adaptives Handeln von Individuen Anpassung wird durch absichtsvolles und zielgerichtetes Handeln von Lebewesen erreicht.	Denkfigur 2 Adaptive körperliche Umstellung Adaptive körperliche Veränderungen und Neubildungen werden induziert, wenn eine Anpassungs-Notwendigkeit vorliegt.	Denkfigur 3 Absichtsvolle genetische Transmutation Die genetische Information wird vom Organismus oder vom Körper zum Zweck der Anpassung abgeändert.
Anpassungs-Intention Anpassung geschieht absichtlich.	Anpassungs- (adaptive) Notwendigkeit Anpassung ist notwendig oder gewollt, wenn Anzupassendes und Maß nicht mehr zueinander passen und intern der Wunsch, Wille oder extern ein Druck oder Zwang (Gefährdung des Individuums oder der Rasse/Art) zur Herstellung einer Passung besteht.	Anpassungs-Erkenntnis Ein Individuum ist in der Lage, bewusst oder unbewusst die Diskrepanz zwischen Anzupassendem und Maß zu erkennen und daraus auf die Notwendigkeit einer Anpassung zu schließen.
Anpassungs-Erkenntnis Ein Individuum ist in der Lage, bewusst oder unbewusst die Diskrepanz zwischen Anzupassendem und Maß zu erkennen und daraus auf die Notwendigkeit einer Anpassung zu schließen.	Körperweisheit Der Körper nimmt Informationen auf, bewertet sie und reagiert sinnvoll im Sinne der Anpassung.	Erkenntnis analoge Mutation Die Erkenntnis über eine nötige Anpassung gelangt als Information in die Erbinformation und wird dort festgelegt.
Anpassungs- (adaptive) Notwendigkeit Anpassung ist notwendig oder gewollt, wenn Anzupassendes und Maß nicht mehr zueinander passen und intern der Wunsch, Wille oder extern ein Druck oder Zwang (Gefährdung des Individuums oder der Rasse/Art) zur Herstellung einer Passung besteht.	Adaptive Gewöhnung Der Körper stellt sich auf veränderte Bedingungen ein.	Erkenntnis induzierte Mutation Wenn Lebewesen merken, dass sie sich verändern müssen, bringt der Körper das genetische Material dazu, sich zu verändern.
Adaptive Individuen / Akteur Lebewesen / Akteur macht Anpassung.	Anpassung durch Gebrauch Adaptive Merkmale werden durch wiederholten Gebrauch ausgeprägt oder verstärkt.	Gendominanz durch Beanspruchung Stärkere Beanspruchung bestimmter Körperteile führt dazu, dass bei der Fortpflanzung die entsprechenden Gene dominieren und eine größere Aktivität entfalten.
Graduelle Anpassung Die Bearbeitungsschritte führen zur einer graduellen Zurichtung des Anzupassenden.	Anpassung hat Grenzen Nicht jede wünschenswerte Anpassung ist auch möglich.	Gendominanz durch Angepasstheit Eine optimal angepasste Form wird dominant, eine nicht optimale wird rezessiv.
Anpassende Handlung Lebewesen führen anpassende Handlungen durch, suchen z. B. einen für sie passenden Lebensraum auf.		
Art (Rasse) erhaltende Anpassung Lebewesen passen sich an, um ihre Art (Rasse) zu erhalten.		
Anpassung hat Grenzen Nicht jede wünschenswerte Anpassung ist auch möglich.		

Abb. 4: Lernervorstellungen zu Prozessen der Anpassung in Anlehnung an Baalman et al. (2004), zum Teil verändert und ergänzt um die neu erhobene Vorstellung »Anpassung hat Grenzen«. Übereinstimmungen zwischen lebensweltlichem Verständnis und den Lernervorstellungen zu Anpassung sind grau hinterlegt.

Hauptbestreben jedes Tieres, dass sich die Art vermehrt und ausbreitet.

Fällt Notwendigkeit als intentionale Voraussetzung für einen anpassenden Vorgang im Sinne der Art erhaltenden Anpassung weg, so findet auch keine Anpassung statt. Lena und Paula diskutieren dies am Beispiel der Versuche von Weismann, der zum Nachweis der genetischen Bedingtheit von Merkmalen

über eine Reihe von Generationen Mäusen die Schwänze kürzte.

Paula: Bei diesen Mäusen war kein Anlass gegeben, einen kürzeren Schwanz zu bekommen. Im Fall der Falter war der Anlass da, dunkel zu werden.

Lena: Es sind Dinge, die (passieren), wenn es das Tier braucht.

Adaptive körperliche Umstellung

Die Denkfigur »Adaptive körperliche Umstellung« beschreibt Vorstellungen zu Mechanismen des Anpassungsprozesses. Sie wird in den Vermittlungsexperimenten relevant, wenn Lerner die Vorstellung einer Anpassung äußern, den Lebewesen aber die Fähigkeit zur bewussten Erkenntnis ihrer Lage absprechen. Wie für die lebensweltliche Vorstellung beschrieben kann ein *weise erkennender und handelnder Körper* als Teil des Akteurs die Aufgabe übernehmen, das Lebewesen über seine Situation in Kenntnis zu setzen. *Körperweisheit* kann daher als neues Konzept der Denkfigur 2 hinzugefügt werden (vgl. Focken-zum Buttel, 2004). Die Kommunikation über die veränderte Umwelt kann wie bei Gabi ohne nähere Erläuterung des Weges erfolgen oder wie für Falk durch von außen in den Körper eindringende Stoffe. *Gabi: Das Verhalten der Falter ist nicht bewusst. Man könnte zum Beispiel sagen, dass Katzen, die Sommer- und Winterfell kriegen, sich nicht entscheiden: „Jetzt kriege ich mein Sommerfell, jetzt kriege ich mein Winterfell.“ Es passiert einfach, da durch die äußeren Einflüsse der Körper das einfach merkt.*

Falk: Der Ruß aktiviert vielleicht irgendetwas im Körper (des Birkenspanners), der daraufhin den Befehl gibt, da etwas zu verändern.

Aktueller Biologieunterricht leitet Vorstellungen von anpassenden Handlungen

Mit dem Hintergrund der kognitionslinguistischen Analyse wird nachvollziehbar, dass die Lerner eine Kontinuität zwischen dem *Anzupassenden* und dem *Angepassten* voraussetzen und unter dieser Voraussetzung nach einer für sie plausiblen Handlungsfolge fahnden. Die Vorstellungen hierzu sind oft durch den jeweils aktuellen Biologieunterricht geprägt, wobei die Fachkenntnisse auf der Folie des lebensweltlichen Verständnisses umgedeutet werden. Für Boris übernimmt ein Enzym die Aufgabe, die Färbung der Tiere auf die Umwelt abzustimmen. Lena richtet ihr Augenmerk auf die Weitergabe einer einmal entstandenen Veränderung

auf die Folgegeneration. Ihr zufolge haben Hormone die Funktion, einmal am Phänotyp vollzogene Änderungen gezielt in den Genen festzuschreiben, die so auf Folgegenerationen weiter getragen werden.

Boris: ... (Die Birkenspanner) ändern den Farbstoff durch Anregung eines Enzyms ...

Lena: (Der erste schwarze Birkenspanner entsteht) durch eine Chromosomenveränderung durch Hormone. ... Es muss durch Hormone etwas an die Chromosomen weiter gegeben werden, sodass man keine Haare mehr braucht. Und mit der Zeit entsteht ein Mensch, der weniger Haare hat.

Baalmann et al. (2004, 19) fassen die Lerner Vorstellungen zu den genetischen Grundlagen der Anpassung unter der Denkfigur *Absichtsvolle genetische Transmutation* zusammen. Sie stellen fest, dass das Konzept der *Anpassungs-Erkenntnis* genutzt wird, um genetische Vorstellungen mit den lebensweltlichen Vorstellungen von *anpassen* zu verknüpfen und in der Folge so zu reinterpretieren, dass sie „ihre intentionalen Vorstellungen von Anpassung unterstützen“.

Anpassung aufgrund von Unterschiedlichkeit und Auslese

Zur Verbreitung einmal entstandener Merkmale verfügen die Lerner über die Vorstellung einer *Auslese weniger angepasster Lebewesen*. Dazu ziehen sie die phänotypischen Unterschiede in der Population als Grundlage für eine Erklärung der veränderten Populationszusammensetzung heran. Komparativa wie „schneller“ und „mehr Vorteile“ stellen Hinweise auf die Wahrnehmung der Auslese als stochastischen Prozess dar.

Falk: Ich denke, dass die dunklen Falter sich durchgesetzt haben, einfach weil die mehr Vorteile gegenüber diesen hellen in den industrialisierten Gegenden haben, weil die hellen schneller entdeckt und gefressen werden.

Boris: Ja, die Hellen werden gefressen und die Dunklen hatten noch ihre Tarnung.

Thomas: Ich denke auch, dass die weißen Falter irgendwie schneller gefressen wurden

von irgendwelchen Vögeln, weil die nicht getarnt sind.

Denkfigur 4

Anpassung aufgrund von Unterschiedlichkeit und Auslese

Lebewesen unterscheiden sich. Weniger angepasste Lebewesen haben geringere Überlebenschancen.

Unterschiedlichkeit

Lebewesen unterscheiden sich bezüglich ihrer Merkmale und Eigenschaften.

Auslese weniger angepasster Lebewesen

In Abhängigkeit von der Umgebung überleben manche Phänotypen eher.

Abb. 5: Wissenschaftsorientierte Vorstellungen der Lerner zur Ausbreitung von Merkmalen.

Lernhindernisse für das Erlernen stammesgeschichtlicher Anpassung

Die Erhebung der Lernervorstellungen in den Vermittlungsexperimenten und ihre Interpretation mithilfe der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens fördert eine Reihe von Hindernissen für das Erlernen fachlicher Vorstellungen zu Tage, die sich drei Kategorien zuordnen lassen:

1. Anpassung wird im Sinne des lebensweltlichen Verständnisses verstanden.

Aus dem Anzupassenden wird das Angepasste. Zwischen dem Anzupassendem und Angepasstem besteht eine materielle Kontinuität.

Anpassung als intentionaler Prozess. Anpassung vollzieht sich als zielgerichteter, absichtsvoller Prozess, bei dem ein Akteur ausgehend vom bekannten Maß das Anzupassende zurichtet. Das Anzupassende kann Teil des Akteurs sein. Der Anpassungsprozess erfolgt reaktiv und ist final.

Angepasstheit als aus der Not geborener Automatismus. Anpassung erfolgt, um eine bedrohliche Situation abzuwenden, die Ursache für den Anpassungsprozess wird prozes-

sual umgedeutet und so zur Beschreibung der anpassenden Handlung verwendet.

2. Umdeutung von fachlichen Vorstellungen. Verfügbare fachliche oder fachlich orientierte Konzepte werden im Sinne des lebensweltlichen Verständnisses von Anpassung umgedeutet und so aus dem fachlichen Kontext gelöst.

3. Fehlende oder nicht abrufbare fachliche Vorstellungen. Vorstellungen zur Erklärung der Entstehung von Merkmalen fehlen oder liegen als träges Wissen vor und können im stammesgeschichtlichen Kontext nicht abgerufen werden. Auch wenn die notwendigen fachlichen Vorstellungen etwa über die Entstehung von Variationen in Populationen verfügbar sind, können sie ohne Hilfe nicht mit den ebenfalls verfügbaren fachlich orientierten Vorstellungen zur Verbreitung von Merkmalen in Populationen verknüpft werden.

5.4 Didaktisch rekonstruierte Lernangebote zur Überwindung von Lernhindernissen zu stammesgeschichtlicher Anpassung

An zwei Beispielen wird gezeigt, wie Lerner von lebensweltlichen zu stärker fachlich orientierten Vorstellungen stammesgeschichtlicher Anpassung gelangen können. Die eingesetzten Lernangebote wurden auf der Grundlage von Leitlinien in der Didaktischen Strukturierung entwickelt.

Leitlinie A: Grenzen der lebensweltlichen Vorstellung erfahrbar machen

Aufbauend auf der Erhebung der Lernervorstellungen zielt das Vermittlungsexperiment darauf, die Grenzen lebensweltlicher Vorstellungen für die Erklärung stammesgeschichtlicher Anpassung erfahrbar zu machen. Hierzu werden mehrere Lernangebote (Weitzel, 2006) bereitgestellt. In einem Vermittlungsexperiment werden jeweils nur die Lernangebote eingesetzt, die zu den auftretenden Vorstellungen passen.

Boris, Falk und Thomas gehen zunächst davon aus, dass dunkel gefärbte Tiere ge-

zielt als Reaktion auf eine Veränderung der Umwelt im Rahmen der Lebensspanne der Falter entstehen. In diesem Fall wird eine Intervention (Lernangebot 4, Abb. 6) eingegeben, welche die Lernenden darüber informiert, dass die Färbung der Tiere genetisch festgelegt ist und nicht durch die Umwelt beeinflusst werden kann. Nachfolgend wird jeweils der Ausschnitt der redigierten Aussagen abgebildet, der der Eingabe der Lernangebote folgt.

Falk: *Es könnte auch sein, dass die den Ruß irgendwie aufnehmen und dass dann die genetischen Informationen so für die Nachkommen geändert werden, weil sich die Umgebung auch geändert hat.*

Boris: *(zweifelnd) Du meinst für die Kinder, aber der Falter selbst bleibt weiß?*

Falk: *Ich weiß nicht genau, ob die während ihres Lebens ihre Farbe verändern können oder nicht.*

Auch nach Bearbeitung des Lernangebots denken Boris und Falk im lebensweltlichen Sinne. Neu ist, dass die Lerner – angestoßen durch Falk – zum ersten Mal überlegen, ob und wenn wie die Veränderung des Merkmals von einer Generation zur nächsten weiter getragen werden kann. Um diesen neu entwickelten Gedankengang zu stärken und die Vorstellung einer individuellen Verfärbung explizit in Frage zu stellen, erhalten die Lerner das darauf bezogene Lernangebot 5.

Falk: *Also muss die Veränderung von Generation zu Generation gehen.*

Boris: *Ja.*

Thomas: *Ja.*

Falk: *Die Frage ist noch immer, wie sich die Tiere verändern.*

Boris: *Irgendwie muss er die Gene verändert haben für die Kinder.*

Thomas: *Wir haben im Rahmen der Genetik das mit den Mendelschen Regeln gemacht. Das sehe ich hierin nicht wieder.*

Nach Eingabe der Intervention geben die Lerner die Vorstellung einer Anpassung innerhalb der Lebensspanne eines Tieres auf. Sie erkennen, dass im Unterschied zur lebensweltlichen Vorstellung das *Angepasste* nicht deckungsgleich ist mit dem *Anzupas-*

senden. Thomas bemerkt zudem, dass die ihm zur Verfügung stehende Mendel-Genetik nicht ausreicht, um die Entstehung dunkler Birkenspanner zu erklären.

Leitlinie B: Einen Mechanismus zur Entstehung veränderter Merkmale einführen

Wie für Lernhindernis 3 beschrieben, fehlt den Lernern ein Mechanismus, mit dem sie die Entstehung von Merkmalen plausibel zu erklären und mit der verfügbaren Vorstellung der Auslese zu verbinden vermögen. Lernangebot 9 stellt daher Mutationen ohne näheren Bezug auf die Aufgabe als zufällig auftretende und ungerichtete Ereignisse vor. Mit Hilfe dieses Lernangebots entwickeln die Lerner eine neue Vorstellung.

Falk: *Ich habe eine Idee. Es könnte ja sein, dass es früher schon öfters mal vorgekommen ist, dass es solche schwarzen Tiere gab. Die sind dann aber in ihrer Umwelt aufgefallen und haben sich deshalb nicht durchgesetzt. Aber jetzt, wo die Bäume schwarz waren, hatten die eine höhere Überlebenschance.*

Thomas: *... Und vielleicht gab es dann*

Boris: *so eine Mutation ... Eine Mutation ist unfreiwillig, die passiert einfach so. Bei den weißen Faltern hat zufällig so eine kleine Veränderung der DNA stattgefunden. Dann war ein schwarzer Falter da, die weißen sind immer mehr gestorben und die Zahl der schwarzen wurde immer größer.*

Boris, Falk und Thomas können das Lernangebot nutzen, um eine Vorstellung zur Entstehung eines stärker pigmentierten Falters zu entwickeln. Sie sind in der Lage, das neu entwickelte Konzept einer *Farbänderung durch Mutation* mit dem bereits verfügbaren Konzept der *Auslese* zu einer für sie schlüssigen Lösung für die Entstehung und Verbreitung der dunklen Faltermorphe zu kombinieren. Die neu entwickelte Vorstellung trägt stochastische Züge. Nachdem die Lernergruppe diese neue Vorstellung entwickelt hat, fällt sie zu keinem Zeitpunkt auf zuvor geäußerte Vorstellungen im Sinne des *Gezielten adaptiven Handelns von Individuen* zurück.

Leitlinie C: Bedeutungen von *anpassen* in unterschiedlichen Kontexten reflektieren

Dem Terminus *anpassen* sind im lebensweltlichen und stammesgeschichtlichen Kontext unterschiedliche Bedeutungen zugewiesen. In einem mündlichen Lernangebot werden die Lerner kurze Zeit später dazu angehalten, über die jeweilige Bedeutung zu reflektieren. Bei diesem Lernangebot handelt es sich um eine Intervention im Sinne der situierten Metakognition (Georghiades, 2004).

Boris: *Anpassung im Alltag benutzt man bei der Oma oder beim Chef, dass man sich da anpasst ... Man passt sich an, damit man mehr Geld bekommt, passt sich an das an, was der Chef will.*

Thomas: *Anpassung wird im evolutionsbiologischen Kontext so verstanden, dass die, die nicht das optimale Erscheinungsbild haben, um zu überleben, einfach aussterben, nicht*

dass die sich irgendwie selbst verändern. Die Menschen verändern sich eher selbst.

Boris: *Wenn Biologen von Anpassung sprechen, geben sie davon aus, dass diese durch Variabilität entsteht. ... Mutation ist die Voraussetzung für Unterschiedlichkeit.*

Falk: *Unterschiedlichkeit und natürliche Auslese zusammen bezeichnen die Biologen als Anpassung.*

Boris, Falk und Thomas sind in der Lage, Beispiele für die Verwendung von Anpassung aus alltäglichen Kontexten zu benennen, die der jeweiligen Verwendung zugrunde liegende Bedeutung zu diskutieren und darauf aufbauend das lebensweltliche Verständnis vom stammesgeschichtlichen Verständnis von Anpassung durch das Charakteristikum der Bewusstheit des Vorgangs abzugrenzen. Bezogen auf den Menschen fassen die drei Lerner Anpassung im reflexiven Verständnis als Verhaltensanpassung

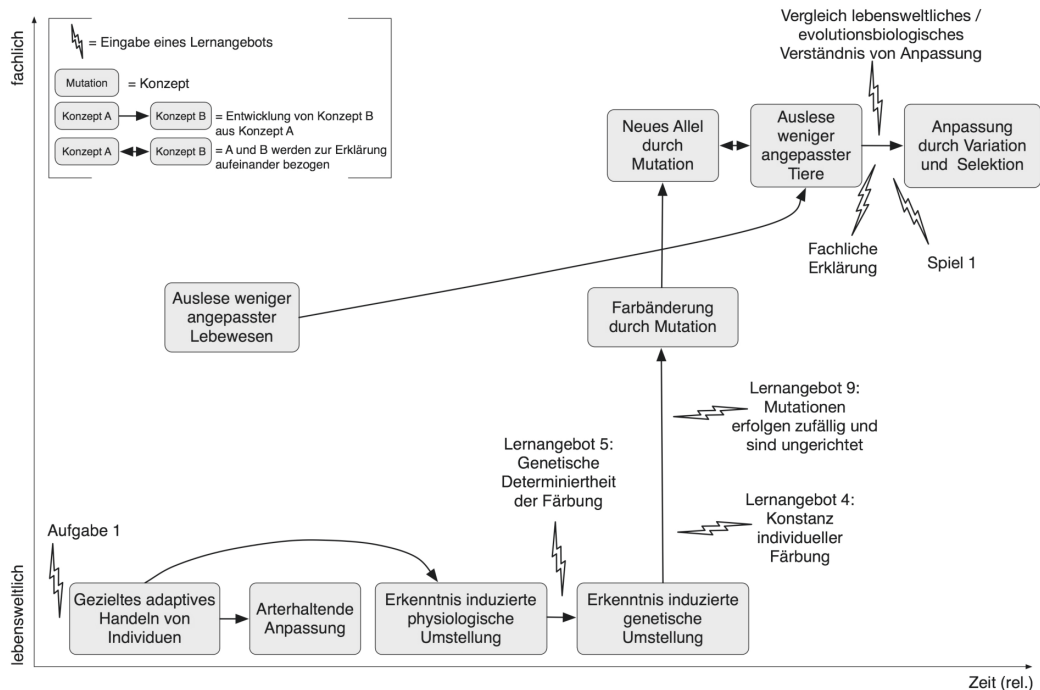


Abb. 6: Gemeinsamer Denkpfad von Boris, Falk und Thomas. Konzepte in Kästen, Pfeile stellen Verknüpfungen dar (einfacher Pfeil: Übergang von einem Konzept zum nächsten; Doppelpfeil: Zwei Konzepte werden zur Erklärung eines Phänomens aufeinander bezogen.).

an von außen gegebene Bedingungen auf, die von einem Individuum bewusst angestrebt wird.

Der Denkfad von Boris, Falk und Thomas

Abbildung 6 stellt den Ausschnitt aus der Entwicklung der Vorstellungen von Boris, Falk und Thomas während des Vermittlungsexperiments als Denkfad dar, soweit er hier skizziert wurde. Gezeigt sind die Vorstellungen, über die die Lernenden vor, während und nach der Arbeit mit den Lernangeboten verfügen.

Zunächst interpretieren die Lerner die Verschiebung in der Populationszusammensetzung im Sinne der Denkfigur *Gezieltes adaptives Handeln von Individuen*. Sie verfügen zwar ebenfalls über das fachlich orientierte Konzept der *Auslese weniger angepasster Lebewesen*, sind zu diesem Zeitpunkt aber nicht in der Lage, beide Vorstellungen zu verbinden. Mit Hilfe der Lernangebote 4 und 5 stellen sie ihre lebensweltliche Vorstellung auf und fordern ein Lernangebot (9) ein, dass ihnen hilft, eine neue Vorstellung zur Entstehung veränderter Merkmale zu entwickeln. Danach gelingt es ihnen, das Konzept der *Auslese* mit dem neu entwickelten Konzept der *Farbveränderung durch Mutation* zu einer für sie plausiblen Erklärung zu verknüpfen. Die später mit ihren Erklärungen eingegebenen Fachtermini Variation (Unterschiedlichkeit), Selektion (natürliche Auslese) und Anpassung werden von den Lernern aufgegriffen und im Bedeutungsvergleich von stammesgeschichtlicher und lebensweltlicher Anpassung zur sinnvollen Differenzierung genutzt.

6 Diskussion

Lerner äußern in Leitfaden strukturierten Interviews (Baalmann et al., 2004) und Vermittlungsexperimenten Vorstellungen zum Prozess der Anpassung, die sich in weiten Teilen mit dem lebensweltlichen Verständnis von Anpassung decken. Da die Ergebnisse mit unterschiedlichen Methoden gewonnen

wurden, spricht dies für deren Gültigkeit. Die in beiden Studien erhobenen Vorstellungen zeigen Übereinstimmungen zu Ergebnissen aus internationalen Untersuchungen (Brumby, 1979, 1984; Engel Clough & Wood-Robinson, 1985; Halldén, 1988; Jimenez Aleixandre & Fernandez Perez, 1987; Bishop & Anderson, 1990; Settlage, 1994; Hagman, Olander & Wallin, 2002). Die bislang disparat erscheinenden und als teleologisch, final, intentional oder transformatorisch (Shulman, 2006) bezeichneten Konzepte lassen sich unter einem Dach zusammenfügen und erhalten Struktur, wenn sie auf der Folie der lebensweltlichen Vorstellungen von *anpassen* reinterpretiert werden. Als solche sind sie *grundsätzlich intentional*, sie unterscheiden sich jedoch in der Ausprägungsform der Intentionalität. Dies ist im offenkundigsten Fall die *Anpassungs-Intention*, sie kann aber auch als unbewusst bleibende *Anpassungs-Erkenntnis* auftreten, oder sie erscheint als *Anpassungs-Notwendigkeit* und integriert damit Elemente anderer kognitiver Modelle in das kognitive Modell von *anpassen*.

Anpassung und historische Evolutionstheorien

Anders als im Großteil der verfügbaren internationalen Unterrichtsansätze (Jimenez Aleixandre, 1992; Jensen & Finley, 1995, 1996, 1997; Banet & Ayuso, 2002; Passmore & Stewart, 2002; Olander, Hagman & Wallin, 2003) werden die verfügbaren Lernervorstellungen nicht über ausgewählte historische Quellen erhoben. Begründet wird der Unterricht zu überholten Evolutionstheorien oder gar Schöpfungstheorien (Passmore & Stewart, 2002) in erster Linie mit der scheinbaren Korrespondenz zwischen frühen fachlichen Vorstellungen und Lernervorstellungen. Diese Zuschreibung ist fachlich fragwürdig (vgl. Gould, 1989), der materielle und zeitliche Aufwand, der betrieben wird, um historische fachliche Vorstellungen kennen zu lernen, ist beträchtlich. In den Vermittlungsexperimenten zeigt sich, dass Lerner in der Lage sind, ihre Vorstellungen von *anpassen* ohne Umweg über historische

Evolutionstheorien zu entwickeln und zu reflektieren. Die scheinbare Parallelität zwischen historischen fachlichen Vorstellungen und Lernervorstellungen ist gleichen beziehungsweise ähnlichen körperlichen und kulturellen Erfahrungen von Wissenschaftlern und Lernern geschuldet.

Anpassung und die Entstehung neuer Merkmale

In den Vermittlungsexperimenten ist eine Bereitschaft zur Vorstellungsänderung in Richtung auf fachliche Vorstellungen zu verzeichnen, wenn die Lernenden begreifen, dass ihre verfügbaren Vorstellungen, die Entstehung neuer oder veränderter Merkmale nicht befriedigend zu erläutern vermögen. Von diesem Zeitpunkt an werden hierzu Lernangebote bewusst eingefordert. Lernangebot 9, das Mutationen als ungerichteten und dem Zufall unterworfenen Mechanismus vorstellt, kann zur Entwicklung einer Vorstellung für die Entstehung eines veränderten Merkmals genutzt werden. Wie bereits Banet und Ayuso (2003) sowie Wilfried Baalmann und Ulrich Kattmann (2005) vorschlagen, ist daher dafür zu plädieren, Genetik und Evolution gemeinsam zu thematisieren. Anders als dies Banet & Ayuso vorschlagen, ist aber darauf zu achten, dass die Zufälligkeit und Richtungslosigkeit von Mutationen betont wird, da die Fokussierung auf äußere Faktoren als Auslöser von Mutationen („Mutationen werden vor allem durch Formen schädlicher Strahlung ausgelöst“) dazu beitragen kann, lebensweltliche Vorstellungen einer Intentionalität und Gerichtetheit eines Mutationsereignisses nahe zu legen, in dem Sinne, dass passende Mutationen gezielt durch die Umwelt induziert werden.

Anpassung und verfügbare wissenschaftsorientierte Vorstellungen

In allen Vermittlungsexperimenten äußern Lerner Vorstellungen einer *Auslese*, die auf der Unterschiedlichkeit der Lebewesen fußt. Damit ist ein wesentlicher Anknüpfungspunkt für die Entwicklung fachlicher

Vorstellungen zu stammesgeschichtlicher Anpassung gegeben. Die Feststellung der breiten Verfügbarkeit solcher Vorstellungen steht zum Teil im Kontrast zu Ergebnissen anderer Untersuchungen (vgl. etwa Brumby, 1979, 1984; Bishop & Anderson, 1990; Shtulman, 2006). Verantwortlich für die in den Vermittlungsexperimenten zu findende Vorstellung der *Auslese* sind Aufgabenstellungen, die Typologisierungen zu vermeiden suchen (vgl. Anderson et. al., 2002). Deren Vermeidung ist zumindest aus zwei Gründen notwendig: Zum einen kommt das lebensweltliche Verständnis von *anpassen* ohne die Konzepte der Individualität und Variation aus. Diese beiden für das stammesgeschichtliche Verständnis unerlässlichen Konzepte werden daher selten oder gar nicht abgerufen, wenn die Aufgabenstellung keine Hinweise darauf enthält. Zum zweiten bilden wir Kategorien zuvorderst mit Prototypen (vgl. Scheich, 2003). Typologien gründen auf Prototypen. Wenn in Erhebungen von Vorstellungen danach gefragt wird, wie aus langsamen Geparden im Laufe der Zeit schnelle Geparden werden können (Bishop & Anderson, 1990; Jiménez-Aleixandre, 1992; Demastes, Settlege & Good, 1995; Hagman, Olander & Wallin, 2003), oder daraus abgeleitete Aufgaben für die Entwicklung von fachlichen Vorstellungen zu stammesgeschichtlicher Anpassung genutzt werden, besteht die Gefahr, dass die Lernenden durch die Typologisierung die Kategorie „Gepard“ anhand ihrer prototypischen Eigenschaften abrufen. In der Folge wird es wahrscheinlich, dass Anpassung lebensweltlich als *Gezieltes adaptiven Handeln von Individuen* beschrieben wird.

Literatur

- Anderson, D.L., Fisher, K.M. & Norman, G.J. (2002). Development and Evaluation of the Conceptual Inventory of Natural Selection. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 952-978.
- Baalmann, W., Frerichs, V., Kattmann, U. (2005). Genetik im Kontext von Evolution. Oder: Warum die Gorillas schwarz wurden. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 58, 420-427.
- Baalmann, W., Frerichs, V., Gropengießer, H. & Kattmann, U. (1999). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion. Untersuchungen in den Bereichen „Genetik“ und „Evolution“. In R. Duit, & J. Mayer (Hrsg.), *Studien zur naturwissenschaftsdidaktischen Lern- und Interessenforschung* (S. 82-92). Kiel: IPN.
- Baalmann, W., Frerichs, V., Weitzel, H., Gropengießer, H. & Kattmann, U. (2004). Schülervorstellungen zu Prozessen der Anpassung – Ergebnisse einer Interviewstudie im Rahmen der Didaktischen Rekonstruktion. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10, 7-28.
- Baalmann, W. & Kattmann, U. (2000). Birken-spanner: Genetik im Kontext von Evolution. *Unterricht Biologie*, 24(260), 32-35.
- Banet, E. & Ayuso, G.E. (2003). Teaching of biological inheritance and evolution of living beings in secondary school. *International Journal of Science Education*, 25, 373-407.
- Bishop, B.A. & Anderson, C.W. (1990). Student conceptions of natural selection and its role in evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, 415-427.
- Brumby, M.N. (1979). Problems in learning the concept of natural selection. *Journal of Biological Education*, 13, 119-122.
- Brumby, M.N. (1984). Misconceptions about the concept of natural selection by medical biology students. *Science Education*, 68, 493-503.
- Darwin, C.; Mayr, E. (Hrsg.) (1964 (1859)). *On the Origin of Species. A Facsimile of the First Edition*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Deadman, J.A. & Kelly, P.J. (1978). What do secondary school boys understand about evolution and heredity before they are taught the topics? *Journal of Biological Education*, 12, 7-15.
- Demastes, S.S., Settlage, J.Jr. & Good, R. (1995). Student's conceptions of natural selection and its role in evolution: cases of replication and comparison. *Journal of Research in Science Teaching*, 32, 535-550.
- Dornseiff, F.B., Quasthoff, U. & Wiegand, H. E. (2004). *Der deutsche Wortschatz nach Sachgruppen*. 8. Auflage. Berlin: de Gruyter.
- Dudenredaktion (Hrsg.) (2002). *Duden, Redewendungen. Wörterbuch der deutschen Idiomatik*. 2. Auflage. Mannheim: Dudenverlag.
- Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 75, 649-672.
- Duit, R. (2009). *Bibliography - STCSE. Students' and teachers' conceptions and science education*. URL <http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html>.
- Duit, R. & Treagust, D.F. (1998). Learning in Science. From behaviorism towards social constructivism and beyond. In B.J. Fraser & K.G. Tobin (Eds.). *International Handbook of Science Education* (pp. 3-25). Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Press.
- Duit, R. & Treagust, D.F. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25, 671-688.
- Engel Clough, E. & Wood-Robinson, C. (1985). How secondary students interpret instances of biological adaptation. *Journal of Biological Education*, 19, 125-130.
- Ferrari, M. & Chi, M.T.H. (1998). The nature of naive explanations of natural selection. *International Journal of Science Education*, 20, 1231-1256.
- Focken-zum Buttler, N. (2004). *Schülervorstellungen und fachliche Vorstellungen zur Wärme-regulation des Körpers*. Oldenburger VorDrucke: Oldenburg.
- Georghiades, P. (2004). Making pupils' conceptions of electricity more durable by means of situated metacognition. *International Journal of Science Education*, 23, 85-99.
- Gerstenmaier, J. & Mandl, H. (1995). Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. *Zeitschrift für Pädagogik*, 41, 867-888.
- Gould, S.J. & Vrba, E.S. (1982). Exaptation – a missing term in the science of form. *Palaeobiology*, 8, 4-15.
- Gould, S.J. (1989). *Der Daumen des Panda. Betrachtungen zur Naturgeschichte*. Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- Grimm, J. & Grimm, W.; Kürschner, W. (Hrsg.) (2003). *Deutsches Wörterbuch*. Hildesheim: Olms-Weidmann.
- Gropengießer, H. (1999). Was die Sprache über unsere Vorstellungen sagt. Kognitionslinguistische Analyse als Methode zur Erfassung von Vorstellungen: Das Beispiel Sehen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 5(2), 57-77.

- Gropengießer, H. (2003). *Lebenswelten, Denkwelten, Sprechwelten. Wie man Vorstellungen der Lerner verstehen kann*. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion Bd. 4. Oldenburg: Didaktisches Zentrum.
- Gropengießer, H. (2005). Qualitative Inhaltsanalyse in der fachdidaktischen Lehr-Lern-Forschung. In P. Mayring & M. Gläser-Zikuda (Hrsg.), *Die Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse* (S. 172-189). Weinheim und Basel: Beltz.
- Hagman, M., Olander, C. & Wallin, A. (2002). Research-based teaching about biological evolution. In J. Lewis, A. Magro & L. Simonneaux (Eds.), *Biology Education for the Real World. Student – Teacher – Citizen* (pp. 105-119). Proceedings of the IVth ERIDOB Conference. Toulouse: Ecole National de Formation Agronomique.
- Halldén, O. (1988). The evolution of the species: pupil perspectives and school perspectives. *International Journal of Science Education*, 10, 541-552.
- Halldén, O. (1999). Conceptual change and contextualization. In W. Schnotz, S. Vosniadou, M. Carretero (Eds.), *New perspectives on conceptual change* (pp. 53-66). Oxford, UK: Pergamon.
- Jensen, M. S. & Finley, F.N. (1995). Teaching evolution using historical arguments in a conceptual change strategy. *Science Education*, 79, 147-166.
- Jensen, M. S. & Finley, F.N. (1996). Changes in Students' Understanding of Evolution Resulting from Different Curricular and Instructional Strategies. *Journal of Research in Science Teaching*, 33, 879-900.
- Jensen, M. S. & Finley, F.N. (1997). Teaching evolution using a historically rich curriculum and paired problem solving instructional strategy. *The American Biology Teacher*, 59, 208-212.
- Jimenez-Aleixandre, M. P. (1992). Thinking about theories or thinking with theories? A classroom study with natural selection. *International Journal of Science Education*, 14, 51-61.
- Jimenez-Aleixandre, M. P. & Fernandez Perez, J. (1987). Selection or adjustment? Explanations of university biology students for natural selection problems. In J. Novak (Ed.), *Proceedings of the 2. Int. Seminar Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics* (Vol. 2) (pp. 224-238). Ithaca: Cornell University.
- Johnson, M. (1987). *The body in the mind. The bodily basis of meaning, imagination, and reason*. Chicago, London: The University of Chicago Press.
- Kattmann, U. (1991). Die Dialektik von Sprache und Begriff im Biologieunterricht. In W.-D. Lepel & U. Kattmann (Hrsg.), *Sprache, Begriff und Gesetze in der Biologiedidaktik* (S. 13-24). Oldenburg: Zentrum für pädagogische Berufspraxis (jetzt: Didaktisches Zentrum).
- Kattmann, U. (2008). Learning biology by means of anthropomorphic conceptions? In M. Hammann, M. Reiss, C. Boulter, & S. D. Tunnicliffe (Eds.), *Biology in context: Learning and teaching for the 21st century*. London: Institute of Education, University of London (im Druck).
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H. & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3(3), 3-18.
- Katu, N., Lunetta, V., & Van den Berg, E. (1993). *Teaching experiment methodology*. Paper presented at the Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics. Ithaca, New York.
- Komorek, M. & Duit, R. (2004). The teaching experiment as a powerful method to develop and evaluate teaching and learning sequences in the domain of non-linear systems. *International Journal of Science Education*, 25, 619-633.
- Krüger, D. (2007). Die Conceptual Change-Theorie. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (S. 81-92). Berlin und Heidelberg: Springer Verlag.
- Lakoff, G. (1987). *Women, fire, and dangerous things. What categories reveal about the mind*. Chicago, London: University of Chicago Press.
- Lakoff, G. (1993). The contemporary theory of metaphor. In A. Ortony (Ed.), *Metaphor and thought* (Vol. 2) (pp. 202-251). Cambridge, Mass.: Cambridge University Press.
- Lakoff, G. & Johnson, M. (1998). *Leben in Metaphern. Konstruktion und Gebrauch von Sprachbildern*. Heidelberg: Carl Auer.
- Lakoff, G. & Johnson, M. (1999). *Philosophy in the flesh. The embodied mind and its challenge to western thought*. New York: Basic Books.
- Lamarck, J.-B.; Jahn, I. (Hrsg.) (2002 (1809)). *Zoologische Philosophie*. 2. Auflage. Frankfurt am Main: Verlag Harri Deutsch.
- Lawson, A. E. & Worsnop, W.A. (1992). Learning about Evolution and Rejecting a Belief in Special Creation. Effects of Reflective Reasoning Skill, Prior Knowledge, Prior Belief and Religious Commitment. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 143-166.

- Mayr, E. (1984). *Die Entwicklung der biologischen Gedankenwelt*. Berlin: Springer-Verlag.
- Mayr, E. (1988). *Toward a new philosophy of biology. Observations of an evolutionist*. Cambridge, Mass.: Belknap Press of Harvard University Press.
- Mayr, E. (1997). The objects of selection. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 94, 2091-2094.
- Mayring, P. (2000). *Qualitative Inhaltsanalyse*. Weinheim: Deutscher Studien Verlag.
- Nehm, R.H., Schonfeld, I.S. (2008). Measuring Knowledge of Natural Selection: A Comparison of the CINS, an Open-Response Instrument, and an Oral Interview. *Journal of Research in Science Teaching*, 45, 1131-1160.
- Passmore, C. & Stewart, J. (2002). A Modeling Approach to Teaching Evolutionary Biology in High Schools. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 185-204.
- Scharman, L.C. (1993). Teaching Evolution: Designing Successful Instruction. *The American Biology Teacher*, 55, 481-486.
- Scheich, H. (2003). Bedeutungsgenerierung im Gehirn. Über die Wirklichkeitskonstitution des Gehirns in Lernprozessen. In *Der entthronte Mensch? Anfragen der Neurowissenschaften an unser Menschenbild* (S. 97-114). Paderborn: Mentis.
- Schmitz, B. (2006). Advantages of studying processes in educational research. *Learning and Instruction*, 16, 433-449.
- Schütz, A. & Luckmann, T. (1975). *Strukturen der Lebenswelt*. Neuwied: Luchterhand.
- Settlage, J. (1994). Conceptions of Natural Selection: A Snapshot of the Sense-Making Process. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, 449-457.
- Shtulman, A. (2006). Qualitative differences between naïve and scientific theories of evolution. *Cognitive Psychology*, 52, 170-194.
- Schrooten, G. (1981). „Anpassung“ („Adaptation“) – ein Beispiel für die Schwierigkeit, biologische Sachverhalte eindeutig auszudrücken. *Der Biologieunterricht*, 17(3), 56-60.
- Steffe, L.P. & D'Ambrosio, B.S. (1996). Using teaching experiments to enhance understanding of students mathematics. In D.F. Treagust, R. Duit & B.J. Fraser (Eds.), *Improving teaching and learning in science and mathematics* (pp. 65-76). New York: Teachers College Press.
- Strike, K.A. & Posner, G.J. (1992). A Revisionist Theory of Conceptual Change. In R.A. Duschl (Ed.), *Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice* (S. 147-176). Albany, NY: State University of New York Press.
- Treagust, D.F. & Duit, R. (2008). Compatibility between cultural studies and conceptual change in science education: there is more to acknowledge than to fight straw men! *Cult Stud of Sci Educ*, 3, 387-395.
- Von Aufschnaiter, C., & von Aufschnaiter, S. (2003). Theoretical framework and empirical evidence of students' cognitive processes in three dimensions of content, complexity and time. *Journal of Research in Science Teaching*, 40, 616-648.
- Vosniadou, S., & Ioannides, C. (1998). From conceptual development to science education: A psychological point of view. *International Journal of Science Education*, 20, 1213-1230.
- Wallin, A. (2006). *One year after teaching – how consistent are students in using scientific theory of biological evolution by natural selection?* Paper presented at the Conference of European Researchers in Didaktik of Biology ERIDOB, London.
- Wandersee, J.H., Good, R.G. & Demastes, S.S. (1995). Forschung zum Unterricht über Evolution: Eine Bestandsaufnahme. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 1(1), 43-54.
- Weitzel, H. (2006). *Biologie verstehen: Vorstellungen zu Anpassung*. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion, Bd. 15. Oldenburg: Didaktisches Zentrum.
- Wilbers, J. & Duit, R. (2001). Untersuchungen zur Mikro-Struktur des analogen Denkens in Teaching experiments. In S. v. Aufschnaiter & M. Welzel (Hrsg.), *Nutzung von Videodaten zur Untersuchung von Lehr-Lern-Prozessen. Aktuelle Methoden empirischer pädagogischer Forschung* (S. 143-155). Münster: Waxmann.

Kontakt

Dr. Holger Weitzel
Pädagogische Hochschule Ludwigsburg
Institut für Naturwissenschaften und Technik
Abteilung Biologie
Reuteallee 46, 71634 Ludwigsburg
weitzel@ph-ludwigsburg.de

Autoreninformation

Dr. Harald Gropengießer ist Professor für Didaktik der Biologie an der Leibniz Universität Hannover.
Dr. Holger Weitzel ist Akademischer Rat in der Abteilung Biologie der Pädagogischen Hochschule Ludwigsburg.