

Den Klimawandel verstehen

Eine theoriegeleitete und evidenzbasierte Entwicklung von Interventionen

Kai Niebert

niebert@biodidaktik.uni-hannover.de

Leibniz Universität Hannover, Biodidaktik

Bismarckstr. 2 | 30173 Hannover

Zusammenfassung

Der vom Menschen verursachte globale Klimawandel wird seitens des Weltklimarats (IPCC) als eine der größten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts beschrieben (IPCC 2007). Will man wirkungsvolle Strategien zur Verminderung der Auswirkungen menschlichen Handelns auf das Klima entwickeln, ist ein Verstehen der zugrunde liegenden Prozesse und ihrer Gefahren unabdingbar (UNCED 1992; BORD et al. 2000). Ziel der Arbeit ist es, evidenzbasiert und theoriebezogen Schlüsselstellen für das Verstehen des Klimawandels zu identifizieren. Dazu werden wissenschaftliche Theorien zum Klimawandel aufbereitet und miteinander in Beziehung gesetzt, um sie schließlich den Vorstellungen von Lernern gegenüber zu stellen. Aus den Ergebnissen sollen didaktisch rekonstruierte, modulare Interventionen entwickelt werden. Dabei soll den biologischen Aspekten der Emission und Fixierung von Treibhausgasen besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden.

Abstract

The enhanced greenhouse effect, leading to global warming is one of the greatest challenges facing humankind in the 21st century (IPCC 2007). Translating public concern for global warming into effective action, requires knowledge of the causes and risks of climate change (BORD et al. 2000, UNCED 1992). The aim of this study is an evidence based and theory guided identification of key points in understanding of global warming. To find out the key points of climate change, different scientific concepts of global warming will be compared and confronted with students' concepts, identified by an interview study. My aim is the development of modular interventions to communicate global warming. The investigation is framed by the model of educational reconstruction. The interpretation of the concepts of global warming is emphasized by biological aspects such as the emission and fixation of greenhouse gases.

1 Einleitung

„Biosprit ist klimafreundlich, weil bei seiner Verbrennung kein CO₂ frei wird.“

(Schüler, 18 Jahre)

So oder ähnlich lauten typische Äußerungen von Laien und Schülern zum Klimawandel. Empirische Studien zeigen stark lebensweltlich und medial geprägte Vorstellungen über den Klimawandel. Dabei wurden Vorstellungen über verschiedene Aspekte der globalen Erwärmung (Treibhauseffekt, Funktion Klimasystem, Ozon- vs. Klimaproblematik, Folgen des Klimawandels) erhoben. Die bislang vorliegenden Vorstellungen zur globalen Erwärmung sollen in einer Interviewstudie validiert und um biologische Aspekte des Klimawandels erweitert und vertieft werden, insbesondere im Hinblick auf das Verstehen

- des Zusammenhangs zwischen biogeochemischen Kreisläufen und den Treibhausgasen,
- der Maßnahmen zur Verlangsamung des Klimawandels und
- der Auswirkungen der globalen Erwärmung auf Ökosysteme.

BORD et al. (2000) und auch EKBORG & ARESKOUG (2006) konnten zeigen, dass das Verstehen wissenschaftlicher Konzepte über die globale Erwärmung auf Seiten von Lernern notwendig ist, damit sie wirksame Konzepte über Maßnahmen zur Verminderung des Klimawandels formulieren können.

Hierzu soll in dieser Untersuchung geklärt werden, welches Wissen über den Klimawandel notwendig ist, um adäquate Maßnahmen zur Verminderung der globalen Erwärmung entwickeln zu können. Darüber hinaus soll in einer Interventionsstudie untersucht werden, ob Lerner in der Lage sind, auf der Grundlage wissenschaftlicher Theorien vom Klimawandel Lösungsansätze zur Eingrenzung der Klimaproblematik zu formulieren.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Konstruktivistische Vorstellungen vom Lernen

Der moderate Konstruktivismus setzte sich im Verlauf der letzten 20 Jahre als vorherrschender paradigmatischer Rahmen für die Lehr-Lernforschung durch (WIDODO & DUIT 2004). Im Mittelpunkt dieser Auffassung steht der Lerner

und dessen Lernprozess, der folgendermaßen charakterisiert werden kann (RIEMEIER 2007):

- Lernen ist selbstdeterminiert: Der Verstehensprozess kann weder von außen gesteuert noch kontrolliert werden. Die Umwelt hat im Lernprozess eher einen anregenden Charakter.
- Lernen ist konstruktiv: Lernende nehmen Informationen nicht einfach auf und speichern diese ab, sondern sie erarbeiten aktiv Bedeutungen auf der Grundlage ihrer bisherigen Vorstellungen. Lerner bringen in den jeweiligen Konstruktionsprozess ihre vorhandenen Vorerfahrungen aus gleichen oder ähnlichen Bereichen mit ein.
- Lernen ist individuell: Lernprozesse sind immer an die individuellen kognitiven Systeme der Lernenden gebunden. Dabei spielen emotionale Aspekte und auch die persönliche Motivation eine wichtige Rolle.
- Lernen ist sozial: Lernen findet innerhalb sozialer Interaktionen statt, in der Ideen, Vermutungen o. ä. kommuniziert, ausgehandelt, getestet und geteilt werden.
- Lernen ist situiert: Lernen findet in kontextgebundenen Situationen statt, d. h. das Wissen ist mit den inhaltlichen und sozialen Erfahrungen der Lernsituation verbunden.

Evidenzen für eine moderat konstruktivistische Sichtweise vom Lernen finden sich nach ROTH (1997) auch in den Befunden der Neurobiologie.

2.2 Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens

Das Verstehen des Klimawandels ist auf Verstehensprozesse in einem Bereich angewiesen, der uns nur im Randbereich lebensweltlich zugänglich ist. Wir sind somit auf unsere imaginativen Fähigkeiten angewiesen, um uns die Theorien rund um den Klimawandel zu erschließen. Eine Theorie für das Verstehen abstrakter Prozesse haben der Linguist George Lakoff und der Philosoph Mark Johnson mit der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens aufgestellt. LAKOFF & JOHNSON (1980) beschreiben mit ihrer Theorie das Verhältnis von Sprache, Denken und Erfahrung: Sie gehen dabei davon aus, dass Sprache und Denken metaphorisch strukturiert sind, da nur wenige Gegenstandsbereiche direkt erfahrbar und damit unmittelbar zu verstehen sind.

Der Kern unseres kognitiven Systems erwächst aus sensomotorischen Erfahrungen, also unseren Interaktionen mit der Umwelt, unseren Wahrnehmungen und Körperbewegungen. Die dabei geformten neuronalen Strukturen und deren Erregungsmuster entsprechen unseren Begriffen, die als verkörperte Begriffe gekennzeichnet werden. Einem verkörperten Begriff entspricht eine funktionelle Gruppe von Neuronen, welche Teil des sensomotorischen Systems ist oder

zumindest dessen Funktionen nutzt. Unsere verkörperten Begriffe verstehen wir direkt (GROPENGLIEBER 2007).

Die verkörperten Begriffe aus einem sensomotorischen Ursprungsbereich werden genutzt, um einen meist abstrakten Zielbereich für unsere Kognitionen imaginativ zugänglich zu machen. Dazu werden dieselben Erregungsmuster des sensomotorischen Systems tätig wie bei verkörperten Begriffen. Dieser imaginative Zugang ist mithilfe von Metaphern, Analogien und Metonymien möglich. Aus diesem Grund können wir über das hinaus gehen, was wir unmittelbar erfahren, sehen und hören können. Wir übertragen dabei erfahrungsbasierte Vorstellungen eines Ursprungsbereichs in einen nicht direkt erfahrbaren Zielbereich. Eine Imagination wird somit verstanden als Abbildung von Begriffen des Ursprungsbereichs auf die entsprechenden Begriffe des Zielbereichs. Deren hauptsächliche Funktion besteht in der Fähigkeit, mit der gedanklichen Struktur eines relativ konkreten Bereichs einen abstrakten Bereich zu begreifen.

2.3 Conceptual Change

Für die Entwicklung wirksamer Interventionen zur Vermittlung naturwissenschaftlicher Unterrichtsthemen wird als theoretischer Rahmen der Conceptual-Change-Ansatz herangezogen. Der Conceptual-Change-Ansatz baut auf der konstruktivistischen Lehr-Lern-Theorie auf und nennt Bedingungen, unter denen Lerner den Übergang von einer Vorstellung zu einer anderen bewältigen können (DUI 1996). Bei der Entwicklung von Lernwegen werden kontinuierliche und diskontinuierliche Lernwege unterschieden. Die Assimilation von zusätzlichem Wissen und die damit verbundene Erweiterung bestehender Konzepte wird als kontinuierlicher Lernweg (»Conceptual Growth«) bezeichnet, während die Akkommodation von Wissen eine grundlegende Revision von bestehendem Wissen erfordert und somit einen diskontinuierlichen Lernweg im Sinne des »Conceptual Change« darstellt.

Problematisch beim Conceptual Change ist die Verwendung des Wortes »change«, das nahe legt, lebensweltliche Vorstellungen könnten durch fachwissenschaftliche ersetzt oder ausgewechselt werden (DUI & TREAGUST 2003). Empirische Untersuchungen haben gezeigt, dass es nicht realistisch ist, Alltagsvorstellungen durch fachwissenschaftliche Vorstellungen zu ersetzen. Vielmehr ist es das Ziel, Lernern zu vermitteln, dass Alltagsvorstellungen in bestimmten Kontexten keine befriedigenden Erklärungen liefern und wissenschaftliche Vorstellungen unter bestimmten Bedingungen zielführender sind (KRÜGER 2007). Eine Vorstellungsänderung kann laut DUI & TREAGUST

GUST (2003) mit einem »kognitiven Konflikt« auf vier unterschiedliche Arten angestoßen werden:

- Es besteht eine Diskrepanz zwischen der Vorhersage und anschließender Beobachtung der Ergebnisse eines Experiments.
- Im Unterricht werden Unterschiede zwischen den Vorstellungen von Lehrern und Schülern deutlich.
- Verschiedene Lerner äußern unterschiedliche Vorstellungen.
- Ein Lerner entdeckt unterschiedliche eigene Vorstellungen zu einem Themenbereich.

STRIKE & POSNER (1992) formulieren weiter, dass ein Vorstellungswandel stattfinden kann, wenn bisherige Erklärungsversuche Unzufriedenheit auslösen und die neuen Vorstellungen durch Verständlichkeit, Plausibilität und Fruchtbarkeit geprägt sind.

3 Forschungsfragen

Leitend für meine Untersuchung sind folgende Fragen:

- Wie lassen sich die zentralen Aspekte des Klimawandels auf der Grundlage biologischer Konzepte erklären?
- Welche Vorstellungen haben Lerner von biologischen Aspekten des Klimawandels?
- Welche Interventions- und Vermittlungsstrategien erweisen sich beim Verstehen der biologischen Hintergründe und ökologischen Folgen des Klimawandels als lernförderlich?
- Welcher Zusammenhang besteht zwischen dem Wissen über den Klimawandel und dem Wissen über Maßnahmen zur Verlangsamung des Klimawandels?

4 Untersuchungsdesign und Methode

4.1 Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion

Das Forschungsmodell der Didaktischen Rekonstruktion ist als theoretischer und methodischer Rahmen für die Planung, Durchführung und Evaluation fachdidaktischer Forschungsarbeiten mit dem Ziel der Gestaltung nachhaltiger und fruchtbarer Lehr-Lernprozesse entwickelt worden (KATTMANN et al. 1997; GROPENIEBER & KATTMANN 2006). Ausgangspunkt war die Einsicht, dass für

die Gestaltung optimaler Unterrichtsprozesse Fachwissen nicht einfach aus wissenschaftlichen Kontexten herausgetrennt und in schulische Lernsituationen unbesehen übernommen werden kann. Vielmehr hat es sich als sinnvoll erwiesen, fachliches Wissen unter didaktischen Gesichtspunkten einer Revision zu unterziehen und es mit Blick auf das Wissen der Lerner didaktisch zu strukturieren. Im Prozess dieser Didaktischen Rekonstruktion werden die Vorstellungen von Lernern in gleicher Weise geachtet wie die von Wissenschaftlern. Denn letztlich handelt es sich bei dem von Wissenschaftlern geäußerten Wissen auch nur um „persönliche Konstrukte“, wengleich dieses Wissen stärker geprüft, expliziter und reflektierter ist als lebensweltliches Wissen. Lebensweltliche Vorstellungen werden nicht als »misconceptions« abgewertet, sondern entsprechend gewürdigt, da sie sich im Alltag häufig als fruchtbare Erklärungsebenen erweisen.

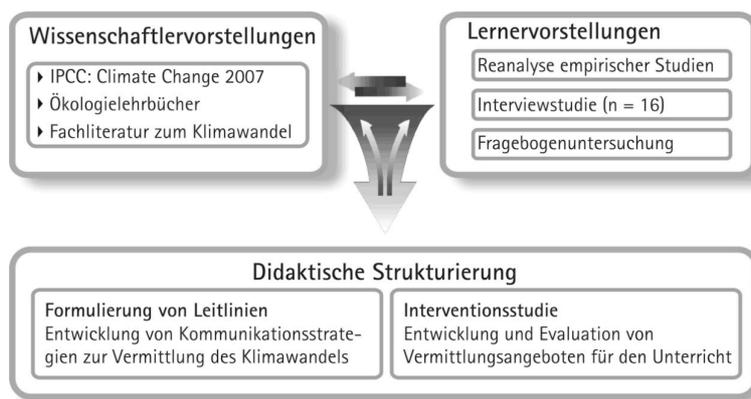


Abb. 1: Modell der Didaktischen Rekonstruktion

Da Vorstellungen nach der konstruktivistischen Sichtweise vom Lernen von jedem Individuum selbst konstruiert werden, muss sich auch die Forschungsmethode zur Erfassung individueller Vorstellungen daran ausrichten. Dafür erscheinen qualitative Erhebungs- und Auswertungsmethoden adäquat, da es Ziel der Untersuchung ist, unterschiedliche, individuelle Wissenskonstrukte in ihrer Vielfalt zu erfassen.

Die Untersuchung gliedert sich in drei Abschnitte: eine Interviewstudie zur Erhebung von Vorstellungen über biologische Aspekte der globalen Erwärmung und eine Interventionsstudie zur empirischen Evaluation verschiedener Vermittlungsangebote zu biologischen Aspekten des Klimawandels. Die gefundenen Vorstellungen werden im Rahmen einer Fragebogenstudie quantifiziert und validiert.

4.2 Interviewstudie

Seit Anfang der 1990er Jahre wurden mehrere Studien über das Verstehen des Treibhauseffekts und der Ursachen der globalen Erwärmung durchgeführt. Der Schwerpunkt dieser Studien lag auf den physikalischen Hintergründen des Treibhauseffekts und der Ozonproblematik (eine Zusammenfassung findet sich bei SCHREINER et al. 2005). Zurzeit fehlen noch empirisch belegte Vorstellungen über die biologischen Aspekte, wie biogeochemische Stoffkreisläufe und ökologische Folgen der globalen Erwärmung. In der Interviewstudie sollen Vorstellungen zu diesen Themenbereichen empirisch erfasst und theoriegeleitet analysiert werden.

Hierzu wurden die Vorstellungen von 16 Lernern (7 weiblich, 9 männlich) aus gymnasialen Oberstufen (Leistungskurs 12 Biologie) Niedersachsens und Bremens mittels problemzentrierter, leitfadenstrukturierter Partnerinterviews erhoben und qualitativ ausgewertet. Die Interviewpartner wurden von ihren Lehrkräften unter der Maßgabe „Lerner mittleren Leistungsniveaus (Notenspektrum 2 bis 4) auszuwählen“ größtenteils geschlechtergemischt zusammengestellt. Die teilweise auch als Partnerinterviews durchgeführten Interviews wurden anschließend mithilfe von MAXQDA 2007 qualitativ ausgewertet.

Das Verstehen der Lernervorstellungen ist prinzipiell unabgeschlossen; als pragmatisches Kriterium der Beendigung der Analyse wird die empirische Sättigung² herangezogen.

4.3 Interventionsstudie

Auf Grundlage der erhobenen Lernervorstellungen sollen Interventionen und Kommunikationsstrategien entwickelt werden, um eine möglichst effektive Vermittlung der globalen Erwärmung aus biologischer Perspektive zu gewährleisten. Für die Vermittlung von Schlüsselstellen des Klimawandels bedeutet dies, dass versucht werden muss, für den abstrakten Zielbereich »globale Erwärmung« mit den jeweiligen Teilproblemen passende Ursprungsbereiche zu finden, die das Verstehen ermöglichen.

Beim Entwurf der Interventionsmodule müssen Entscheidungen darüber getroffen werden, wie die »globale Erwärmung« vermittelt werden soll. Dazu stehen aus der Perspektive der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens lediglich zwei Sorten von Lernangeboten zur Verfügung: Das Stiften von Erfahrungen und das Bezeichnen von Vorstellungen (GROPENGLIEBER 2007). Es können

² Die empirische Sättigung erfolgt in Anlehnung an die theoretische Sättigung nach GLASER & STRAUSS (1998). Jedoch ergibt sich die Sättigung nicht aus der Theorie sondern aus den Daten.

fehlende wissenschaftliche Erfahrungen in Bereichen gestiftet werden, die bisher nicht beachtet wurden oder ihnen nicht zugänglich waren. Und es können Vorstellungen bezeichnet werden, indem imaginatives Verständnis für das Lernen auf einem unbekanntem wissenschaftlichen Gebiet angeboten wird. Welche Herangehensweise für einzelne Bereiche der globalen Erwärmung sinnvoll ist, wird auf Grundlage der Ergebnisse der Interviewstudie und den infrastrukturellen Möglichkeiten von schulischem Unterricht geklärt. In der Interventionsstudie werden Lerner in die Hochschule zu Vermittlungsexperimenten eingeladen, die videographiert und anschließend mit Videograph ausgewertet werden.

4.4 Analyse der Vorstellungen

Aufgrund des nur schwer lebensweltlich zugänglichen Themenkomplexes »Klimawandel«, ist in der Auswertung der Lerner- wie auch der Wissenschaftlervorstellungen nach der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (LAKOFF & JOHNSON 1980) eine Analyse der dem Verstehen zugrunde liegenden Metaphern notwendig. Für die Reanalyse von Vorstellungen aus empirischen Untersuchungen und den während der Vermittlungsexperimente gewonnenen Äußerungen wird eine systematische Metaphernanalyse (SCHMITT 2003) durchgeführt. Die kognitionslinguistische Analyse der für die Untersuchung zentralen Vorstellungen stützt sich auf Redewendungen und die Struktur körperlicher Erfahrungen, aus denen Vorstellungen zum Klimawandel erwachsen. Die Befunde werden anschließend im Sinne einer Triangulation mit Ergebnissen der Qualitativen Inhaltsanalyse (MAYRING 2002; GROPPENGIEBER 2005) verglichen.

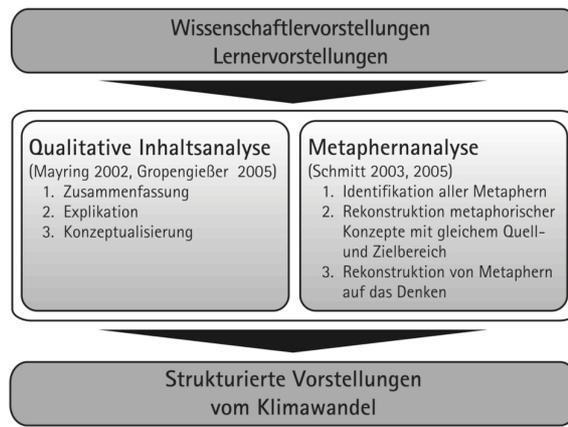


Abb. 2: Analyse der Vorstellungen

Die Lernervorstellungen wie auch die Wissenschaftlervorstellungen werden dabei aus der Perspektive des Konstruktivismus im Analyseverfahren gleichberechtigt nebeneinander gestellt und auch den gleichen Auswertungsverfahren unterworfen. Die Auswahl der Schüler für beide Teilstudien orientiert sich am Prinzip einer Maximierung der Variation in den geäußerten Vorstellungen, um möglichst alle Vorstellungskategorien zu entdecken. Das Verstehen der Lernervorstellungen ist prinzipiell unabgeschlossen; als pragmatisches Kriterium der Beendigung der Analyse wird die empirische Sättigung herangezogen.

5 Erste Ergebnisse

Im Folgenden sind die Ergebnisse der Analyse der Wissenschaftlervorstellungen wie auch eine erste Analyse der Lernervorstellungen dargestellt. Bei der Analyse der Wissenschaftler- und Lernervorstellungen konnten verschiedene Denkfiguren gefunden werden, von denen zwei in diesem Artikel präsentiert und diskutiert werden sollen.

5.1 Analyse der Wissenschaftlervorstellungen

„Climate change [...] refers to any change in climate over time, whether due to natural variability or as a result on human activity“ (IPCC 2007). Diese vom Weltklimarat gegebene Definition des Klimawandels greift sehr weit und bezieht sowohl natürliche Schwankungen als auch eine mögliche Abkühlung der Atmosphäre mit ein. In der Analyse von Wissenschaftlervorstellungen in meiner Untersuchung beschränke ich mich auf die Ursachen und Folgen der globa-

len Erwärmung, „that is attributed directly or indirectly to human activity that alters the composition of the global atmosphere [...]“ (UNFCCC 1992).

Dafür wurden verschiedene Literaturstellen zum Klimawandel (IPCC 2007; LATIF 2007; RAHMSTORF & SCHELLNHUBER 2007) und Lehrbücher zur Ökologie (CAMPBELL & REECE 2002; SMITH & SMITH 2006) ausgewertet. Daraus ergeben sich folgende fachlich geklärte Vorstellungen:

Denkfigur: Globale Erwärmung durch verstärkten Treibhauseffekt

- *Es gibt einen natürlichen Treibhauseffekt.* Es gibt Gase, die aufgrund spezifischer Eigenschaften in der Lage sind, Wärmestrahlung bestimmter Wellenlängen zu absorbieren und zu emittieren. Diese Gase sorgen für den natürlichen Treibhauseffekt und heben die durchschnittliche Erdtemperatur von -18°C auf $+15^{\circ}\text{C}$.
- *Es gibt einen anthropogenen Treibhauseffekt.* Die vom Menschen verursachte höhere Treibhausgaskonzentration führt zu einer stärkeren Erwärmung der Atmosphäre.
- *Es gibt natürliche und künstliche Treibhausgase.* Der Ausstoß der natürlichen Treibhausgase (CO_2 , CH_4) wird verstärkt und durch künstliche Treibhausgase (FCKW, N_2O) ergänzt.

Unabhängig voneinander beschreiben die Wissenschaftler einen ständigen Wandel des Klimas im Laufe der Jahrtausende aufgrund eines Wechsels von Kalt- und Warmzeiten. Das Problem des aktuellen, mutmaßlich vom Menschen verursachten Klimawandels ist ein verstärkter Treibhauseffekt, der durch einen Anstieg der Konzentration von so genannten Treibhausgasen verursacht wird. Unter dem Konzept »*Es gibt einen natürlichen Treibhauseffekt*« wird die Existenz eines natürlichen Treibhauseffekts beschrieben, der auf Treibhausgasen wie Wasserdampf, Ozon und Kohlenstoffdioxid beruht. Der natürliche Treibhauseffekt wird durch einen vermehrten Eintrag von Treibhausgasen verstärkt, was als Konzept »*Anthropogener Treibhauseffekt*« beschrieben wird.

Denkfigur: Ungleichgewicht des Kohlenstoffkreislaufs

- *Energiefluss und Kohlenstofffluss sind gekoppelt.* Das Problem der Freisetzung von Kohlenstoffdioxid ist die Kopplung des Energieflusses an den Kohlenstofffluss.
- *Entleerung fossiler Speicher in die Atmosphäre.* Wir benötigen Energie zum Leben (*Atmung*) und für unseren Lebensstandard (*Energiegewinnung aus fossilen Energieträgern*). Letzteres führt zur Entleerung des

Speichers »fossilierte Organismen« und zu einer Ansammlung von Kohlenstoffverbindungen (vor allem CO₂) im Speicher »Atmosphäre«.

- *Verstärkte Kohlenstoffdioxidfreisetzung durch Änderungen der Landnutzung.* Abholzung, Brandrodung und Landwirtschaft führen zu einer Verstärkung des Kohlenstoffdioxidausstoßes.
- *Unvollständige Bindung von Kohlenstoffdioxid.* Das in der Atmosphäre vorhandene Kohlenstoffdioxid wird durch Lösungsprozesse im Ozean und photosynthetische Assimilierung gebunden. Der zusätzliche Eintrag von Kohlenstoffdioxid durch die Verbrennung fossiler Energieträger kann nicht vollständig durch eine stärkere Bindung bzw. Lösung kompensiert werden.

Den Vorstellungen der Wissenschaftler von der Funktion des Kohlenstoffkreislaufs liegt ein »Speicher-Fluss-Modell« zugrunde: Speicher sind Orte, an denen Kohlenstoffverbindungen über längere Zeit verbleiben (z. B. Gesteine, fossilierte Organismen, Atmosphäre, Ozeane, lebende Organismen etc.) wobei die semantische Nutzung des Terminus »Ort« metaphorisch auf das Behälter-Schema zurückgreift. Im Kreislauf des Kohlenstoffs und seiner Verbindungen »fließen« Kohlenstoffverbindungen von einem »Speicher« zum nächsten; so ist die Photosynthese die Überführung einer Kohlenstoffverbindung aus dem Behälter »Atmosphäre« in den Behälter »Organismus«.

5.2 Analyse der Lernervorstellungen

Lernern ist die globale Erwärmung als abstraktes Phänomen mittlerweile durchaus ein Begriff. In den Interviews konnten folgende Denkfiguren zu den Ursachen der globalen Erwärmung und der Veränderung des Kohlenstoffdioxidhaushalts gefunden werden:

Denkfigur: Erwärmung durch Verschmutzung und Vergiftung

- *Allein das giftige Kohlenstoffdioxid ist ein Treibhausgas.* Kohlenstoffdioxid ist das alleinige Treibhausgas. Treibhausgase sind klimaschädlich und für Mensch und Umwelt giftig.
- *Luftverschmutzung führt zum Klimawandel.* Die Luft wird durch Abgase von Autos und der Industrie verpestet, was zu einer schlechten Luftqualität und zur Erwärmung der Atmosphäre führt.
- *Das Ozonloch führt zum Klimawandel.* Abgase des Menschen zerstören die Ozonschicht (vergrößern das Ozonloch), sodass mehr Sonnenstrahlen zur Erde durchdringen können. Diese Sonnenstrahlen heizen die Erde auf und führen zur globalen Erwärmung.

- *Kohlenstoffdioxid zerfrisst die Ozonschicht.* Das in die Atmosphäre freigesetzte Kohlenstoffdioxid greift die Ozonschicht an und zersetzt sie. Je mehr Kohlenstoffdioxid freigesetzt wird, desto mehr Ozon wird zerstört.
- *Umweltverschmutzung führt zum Klimawandel.* Die Umwelt wird durch Müllberge, Waldabholzung, bleihaltiges Benzin und Wasserverschmutzung zerstört, sodass sich das Klima ändert.

Auffallend sind besonders die Verschmutzungskonzepte wie auch das Ozonlochkonzept in den Lernervorstellungen. Die Verschmutzungskonzepte deuten auf relativ undifferenzierte Vorstellungen von den Ursachen der globalen Erwärmung. Im Konzept Umweltverschmutzung werden die dem jeweiligen Lerner bekannten ökologischen Problemstellungen (*Müll, Luftverschmutzung, Ölpest*) zu einem Problem (*Klimawandel*) zusammengefasst. Ähnlich verhält es sich im »*Luftverschmutzungskonzept*«, bei dem die Ursache des Klimawandels eine durch Verkehr und Industrie hervorgerufene Verunreinigung der Luft ist, die in der Giftigkeit des Kohlenstoffdioxids seinen Höhepunkt findet. Es wird deutlich, dass Lerner die Ursachen der globalen Erwärmung mit anderen Umweltproblemen, wie dem Ausstoß von Abgasen, den wachsenden Müllbergen, dem Wasserverbrauch etc., verwechseln und vermischen.

Denkfigur: Verbrennung fossiler Rohstoffe führt zu mehr CO₂ in der Luft

- *Kohle und Benzin verbrennen zu Abgasen.* Die Verbrennung von Kohle und Benzin führt zur Freisetzung von Abgasen und einem Anstieg der Kohlenstoffdioxidmenge in der Luft.
- *Holz und Biodiesel verbrennen ohne CO₂-Freisetzung.* Im Gegensatz zu fossilen Rohstoffen entsteht bei der Verbrennung nachwachsender Rohstoffe, wie Holz oder Biodiesel kein Kohlenstoffdioxid.
- *CO₂ bleibt in der Luft.* Das Kohlenstoffdioxid sammelt sich in der Atmosphäre an und verbleibt dort. Es kann nicht wieder aus der Atmosphäre entfernt werden.

Auffallend bei der Interpretation der Lernervorstellungen ist, dass die Ursachen des Kohlenstoffdioxidausstoßes ausschließlich in der Nutzung fossiler Energieträger gesehen werden. Die Frage nach der Möglichkeit einer Null-Emissionsstrategie in Bezug auf den Kohlenstoffdioxidausstoß wird zwar vereinfachend beantwortet, jedoch nur »*weil wir auch ohne Industrie und Autos, in Höhlen lebend noch Feuer machen müssten, um zu kochen*« (Schülerin, Klasse 12). Diese zunächst sehr pragmatische Sichtweise blendet die Freisetzung von Kohlenstoffdioxid durch ökologische Prozesse (z. B. ozeanische Ausgasung)

oder physiologische Prozesse (Atmung) völlig aus. Verantwortlich hierfür ist wahrscheinlich die in den Medien betonte Verursachung der globalen Erwärmung durch die Nutzung fossiler Energieträger. Ebenso wenig wie die natürlichen Prozesse des Kohlenstoffdioxidausstoßes werden von Lernern Prozesse der Kohlenstoffdioxidfixierung über Photosynthese oder ozeanische Lösung ($\text{CO}_2/\text{CaCO}_3$ -Gleichgewicht) zur Erklärung herangezogen; teilweise wird die Möglichkeit der Kohlenstoffdioxidfixierung sogar völlig ausgeschlossen (*Keine Bindung von Kohlenstoffdioxid*).

Darüber hinaus zeigt sich, dass Lerner die klimaschädlichen Auswirkungen der Verbrennung fossiler Rohstoffe und der klimafreundlichen Alternative nachwachsender Rohstoffe mit der Freisetzung von Kohlenstoffdioxid vernetzen.



Abb. 3: Lernervorstellungen zur CO_2 -Freisetzung bei nachwachsenden Rohstoffen

Die Zuschreibung der Klimafeindlichkeit für das Kohlenstoffdioxid führt für Lerner zu der Vorstellung, dass die als klimafreundlich beschriebenen nachwachsenden Rohstoffe (*Holz, Biodiesel* etc.) kein Kohlenstoffdioxid freisetzen. Die befragten Lerner verfügen nicht über die von Wissenschaftlern beschriebene Vorstellung einer »veränderten Kohlenstoffbilanz« oder eines »Speicher-Fluss-Modells«, in der das Problem der Kohlenstoffdioxidfreisetzung mit der Entleerung des Speichers »Fossile Rohstoffe« verknüpft wird.

6 Diskussion und Ausblick

Es wird deutlich, dass Lerner so nicht in der Lage sind, die Frage der vermehrten Kohlenstoffdioxidfreisetzung mithilfe des globalen Kreislaufs des Kohlen-

stoffs und seiner Verbindungen zu betrachten. In den Lernerinterviews zeigte sich darüber hinaus, dass einige der Lerner eine Vorstellung von der Funktion des Treibhauseffekts haben, diese Vorstellung jedoch nicht mit den Vorstellungen über den Kreislauf des Kohlenstoffs verknüpft werden. Ein Ziel der Vermittlungsexperimente muss es also sein, die unterschiedlichen Wissensbereiche der Lerner miteinander zu verknüpfen und z. B. die Unterrichtsthemen »Photosynthese«, »Stoffkreisläufe« und »Einflüsse des Menschen auf die Umwelt«, die so oder ähnlich in den länderspezifischen Curricula verankert sind, miteinander in Beziehung zu setzen.

Die Verwechslung der Klimaproblematik mit der Ozonproblematik kann auf die sprachliche Nähe der Termini »Treibgas« (bspw. FCKW) und »Treibhausgas« (bspw. CO₂, H₂O, N₂O) zurückzuführen sein. Hier wäre die Verwendung des Begriffs »klimawirksame Gase« anstatt »Treibhausgase« sicherlich sprachlich eindeutiger.

In der Metaphernanalyse wird deutlich, dass Lerner und Wissenschaftler zur Beschreibung des Klimawandels die Begriffe *Wärme* und *Hitze* wiederholt, aber in unterschiedlichen Kontexten nutzen. Eine semantische Analyse zeigte, dass »Wärme« als lebensweltliches Konzept ein Synonym für Wohlbefinden darstellt. Dabei ist es unerheblich, ob Wärme wörtlich (z. B. im Kontext des Wetters, Raumklimas etc.) oder metaphorisch verwendet wird (z. B. im Kontext der Emotionalität etc.), stets wird Wärme mit etwas Positivem (*wohlige Wärme, Herzenswärme*) verbunden. Dies würde einen Erklärungsansatz für die wiederholt geäußerte Aussage „*Es ist eigentlich ganz schön, wenn es ein bisschen wärmer wird*“ liefern. Die Hitzemetapher hingegen bildet durch ihre dramatisierende Wortwahl ein verstärkendes und konkretisierendes Element der zugrunde liegenden lebensweltlichen Vorstellungen. Dabei ist der Terminus »Hitze« meist negativ konnotiert und wird vom DUDEN (2002) als eine sehr starke, als unangenehm empfundene Wärme beschrieben. Durch die negative Konnotation ist es in der Hitzemetaphorik gegenüber der Wärmemetaphorik einfacher, die mit der globalen Erwärmung verbundenen Risiken und Gefahren zu vermitteln. Diese Rezeption der Hitzemetapher wird auch in den Lernervorstellungen deutlich, da eine *Aufheizung der Atmosphäre* auch von den Lernern abgelehnt wird, die eine *Erwärmung* als nicht problematisch erachten. Damit wird zwar noch nicht das Verstehen von Prozessen erreicht, die der globalen Erwärmung zugrunde liegen, jedoch kann nach dem von ANDREY et al. (2000) beschriebenen Drei-Komponenten-Modell zur Vermittlung des Klimawandels (Interesse wecken – Verstehensprozesse initiieren – zur Handlung motivieren) durch einen affektiven Zugang die Bereitschaft erlangt werden, sich mit dem

Klimawandel auseinander zu setzen und die Motivation zur Erarbeitung der Problematik zu steigern.

Im Laufe der weiteren Untersuchung werden die Denkfiguren der Lerner auch zu weiteren Fragestellungen des Klimawandels (i. e. *Folgen der Erwärmung*) ausgeschärft, um auf Grundlage dieser Ergebnisse Interventionen entwickeln zu können.

Zitierte Literatur

- ANDREY, J., P. KAY et al. (2000): Introduction. In: SCOTT, D., B. JONES, J. ANDREY et al (Hrsg.): Climate Change communication. Proceedings from an international conference. University of Waterloo and Environment Canada, Kitcher-Waterloo, iii-iv.
- BORD, R.J., R. O'CONNOR et al. (2000): In what sense does the public need to understand global climate change? *Public Understanding of Science* 9, 205-218.
- CAMPBELL, N.A. & J.B. REECE (2002): *Biology*. Benjamin Cummings, San Francisco.
- DUDEN (2002): *Das Bedeutungswörterbuch*, Mannheim.
- DUIT, R. (1996): Lernen als Konzeptwechsel im naturwissenschaftlichen Unterricht. In: DUIT, R. & C. v. RHÖNECK (Hrsg.): *Lernen in den Naturwissenschaften*. IPN, Kiel, 145-162.
- DUIT, R. & D.F. TREAGUST (2003): Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education* 25 (6), 671-688.
- EKBORG, M. & M. ARESKOUG (2006): How students teacher's understanding of the greenhouse effect develops during a teacher education programme. *NorDiNa* 5, 17-29.
- GROPENGIEBER, H. (2005): Qualitative Inhaltsanalyse in der fachdidaktischen Lehr-Lernforschung. In: MAYRING, P. & M. GLÄSER-ZIKUDA (Hrsg.): *Die Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse*. Beltz, 172-189.
- GROPENGIEBER, H. (2007): Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens. In: KRÜGER, D. & H. VOGT (Hrsg.): *Handbuch der Theorien biologiedidaktischer Forschung*. Springer, Berlin.
- GROPENGIEBER, H. & U. KATTMANN (2006): Aufgaben der Fachdidaktik Biologie. In: GROPENGIEBER, H. & U. KATTMANN (Hrsg.): *Fachdidaktik Biologie*. Aulis Verlag, Köln, 5f.
- IPCC (2007): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Genf.
- KATTMANN, U., R. DUIT et al. (1997): Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *ZfDN* 3 (3), 3-18.
- KRÜGER, D. (2007): Die Conceptual-Change-Theorie. In: KRÜGER, D. & H. VOGT (Hrsg.): *Handbuch der Theorien biologiedidaktischer Forschung*. Springer, Berlin.
- LAKOFF, G. & M. JOHNSON (1980): *Metaphors We Live By*. The University of Chicago Press, Chicago London.
- LATIF, M. (2007): *Bringen wir das Klima aus dem Takt? Hintergründe und Prognosen*. Fischer.
- MAYRING, P. (2002): *Qualitative Inhaltsanalyse*. Beltz UTB, Weinheim.
- RAHMSTORF, S. & H.J. SCHELLNHUBER (2007): *Der Klimawandel*. C.H. Beck, München.
- RIEMEIER, T. (2007): Konstruktivistische Vorstellungen vom Lernen. In: KRÜGER, D. & H. VOGT (Hrsg.): *Handbuch der Theorien in der biologiedidaktischen Forschung*. Springer, Berlin.
- ROTH, G. (1997): *Das Gehirn und seine Wirklichkeit*. Suhrkamp Verlag, Frankfurt am Main.
- SCHMITT, R. (2003): Methode und Subjektivität in der Systematischen Metaphernanalyse. *Forum Qualitative Sozialforschung [Online Journal]* 4 (2), <http://www.qualitative-research.net/fqs-texte/2-03/2-03schmitt-d.htm> [12.12.2006].
- SCHREINER, C., E.K. HENRIKSEN et al. (2005): Climate education: Empowering today's youth to meet tomorrow's challenges. *Studies in Science Education* 41, 3-50.
- SMITH, T.M. & R.L. SMITH (2006): *Elements of Ecology*. Pearson, San Francisco.

-
- STRIKE, K.A. & G.J. POSNER (1992): A Revisionist Theory of Conceptual Change. In: DUSCHL, R.A. & R.J. HAMILTON (Hrsg.): Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice. State University of New York, Albany, 147-176.
- UNCED (1992): Agenda 21. Paper presented on the UN Conference on Environment and Development. Rio de Janeiro, Brazil.
- UNFCCC (1992): United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn.
- WIDODO, A. & R. DUIT (2004): Konstruktivistische Sichtweisen vom Lehren und Lernen und die Praxis des Physikunterrichts. ZfDN 10, 232-254.

