

Kai Niebert

Den Klimawandel verstehen

Eine didaktische Rekonstruktion der
globalen Erwärmung

Didaktisches Zentrum
Carl von Ossietzky Universität Oldenburg

Den Klimawandel verstehen

Eine evidenzbasierte und theoriegeleitete Entwicklung von
Lernangeboten zur Vermittlung der globalen Erwärmung

Von der **Naturwissenschaftlichen Fakultät**
der **Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover**

zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Naturwissenschaften

Dr. rer. nat.

genehmigte Dissertation
von

Kai Niebert

geboren am 15. September 1979 in Hannover.

2010

Inhaltsverzeichnis

Vorwort von Harald Gropengießer und Ulrich Kattmann	4
Zusammenfassung und Abstract.....	6
1 Einleitung.....	8
2 Theoretischer Rahmen.....	10
2.1 Konstruktivistische Grundlagen des Lernens.....	10
2.2 Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens.....	15
2.2.1 Direktes und imaginatives Verstehen	16
2.2.2 Metaphern, Schemata und metaphorische Konzepte	17
2.2.3 Highlighting and hiding	18
2.2.4 Prominente Schemata zum Verstehen des Klimawandels	18
2.3 Lernen als Conceptual Reconstruction.....	23
2.4 Zusammenfassung	27
3 Stand der Forschung.....	28
3.1 Vorstellungen zum Klimawandel.....	28
3.1.1 Erwärmung durch Treibhauseffekt	29
3.1.2 Erwärmung durch Ozonloch	30
3.1.3 Erwärmung durch Verschmutzung.....	31
3.1.4 Erwärmung durch sonstige Ursachen	32
3.1.5 Herkunft des Kohlenstoffdioxids	32
3.1.6 Zusammenfassung.....	33
3.2 Vorstellungsentwicklungen zum Klimawandel.....	34
3.3 Zusammenfassung	35
4 Fragestellung der Untersuchung.....	37
5 Didaktische Rekonstruktion.....	38
6 Wissenschaftlervorstellungen zum Klimawandel	42
6.1 Fragestellung des Kapitels.....	42
6.2 Methodisches Vorgehen.....	42
6.2.1 Qualitative Inhaltsanalyse der Wissenschaftlervorstellungen	43
6.2.2 Metaphernanalyse der Wissenschaftlervorstellungen	43
6.2.3 Darstellung der Wissenschaftlervorstellungen	44
6.3 Wissenschaftlervorstellungen zum Kohlenstoffkreislauf	44
6.3.1 Kohlenstoffkreislauf im Speicher-Fluss-Schema	45
6.3.2 Vorstellungen zu den Kohlenstoffspeichern	48
6.3.3 Vorstellungen zu den Kohlenstoffflüssen und ihren Ursachen	49
6.3.4 Denkfigur: Vorindustrielles Gleichgewicht.....	52
6.3.5 Denkfigur: Anthropogenes Ungleichgewicht.....	54
6.3.6 Denkfigur: Erdgeschichtliches Ungleichgewicht.....	56
6.3.7 Denkfigur: Reagierender Kohlenstoffkreislauf	58
6.3.8 Vorstellungen zum Inhalt der Speicher	60

6.3.9	Denkfigur: Unterschiedliches CO ₂	62
6.3.10	Fachlich geklärte Vorstellungen zum Kohlenstoffkreislauf	63
6.4	Wissenschaftlervorstellungen zum Treibhauseffekt	65
6.4.1	Quellen der Vorstellungen: Die Atmosphäre als Behälter	66
6.4.2	Denkfigur: Strahlungsgleichgewicht	67
6.4.3	Denkfigur: Verschiebung des Strahlungsgleichgewichts	68
6.4.4	Denkfigur: Erwärmung Durch Treibhauseffekt	70
6.4.5	Fachlich geklärte Vorstellungen zum Treibhauseffekt	77
7	Lernervorstellungen zum Klimawandel	79
7.1	Fragestellung des Kapitels	79
7.2	Methodisches Vorgehen	79
7.2.1	Wahl und Angemessenheit der Methoden	79
7.2.2	Maßnahmen zur Qualitätssicherung	80
7.2.3	Vorgehensweise bei der Erhebung der Lernervorstellungen	81
7.2.4	Vorgehen bei der Interpretation der Lernervorstellungen	81
7.2.5	Vorgehensweise bei der Aufbereitung des Datenmaterials	82
7.2.6	Auswertung der Daten	84
7.3	Lernervorstellungen zum Kohlenstoffkreislauf im Klimawandel	86
7.3.1	Denkfigur: Künstliches Kohlenstoffdioxid	87
7.3.2	Denkfigur: Natürliches und künstliches Kohlenstoffdioxid	90
7.3.3	Denkfigur: Pflanzennahes und -fernes Kohlenstoffdioxid	92
7.3.4	Denkfigur: Anthropogenes Ungleichgewicht	94
7.3.5	Quellen der Vorstellungen	98
7.3.6	Vergleich der Lernervorstellungen zur CO ₂ -Freisetzung	101
7.4	Lernervorstellungen zum Treibhauseffekt	103
7.4.1	Denkfigur: Erwärmung Durch Ozonloch	103
7.4.2	Denkfigur: Erwärmung Durch Treibhauseffekt	108
7.4.3	Quellbereiche der Vorstellungen	112
7.4.4	Vergleich der Vorstellungen	116
8	Didaktische Strukturierung	119
8.1	Fragestellungen des Kapitels	119
8.2	Methodisches Vorgehen	119
8.3	Vergleich der Vorstellungen zum Kohlenstoffkreislauf	120
8.4	Leitlinien zur Vermittlung des Kohlenstoffkreislaufs	124
8.4.1	Kohlenstoff als natürlichen Bestandteil der Atmosphäre begreifen	125
8.4.2	Den Kohlenstoffkreislauf als Speicher-Fluss-Schema erkennen	125
8.4.3	Reflexion des Natürlich-Künstlich-Schemas im Speicher-Fluss-Modell	126
8.4.4	Den Klimawandel auf veränderte Kohlenstoffflüsse zurückführen	127
8.5	Vergleich der Vorstellungen zum Treibhauseffekt	127
8.6	Leitlinien zur Vermittlung des Treibhauseffekts	131
8.6.1	CO ₂ als Ursache der globalen Erwärmung begreifen	131
8.6.2	Ozonloch und Treibhauseffekt unterscheiden	132
8.6.3	CO ₂ speichert Wärme	132
8.6.4	Aus Sonnenstrahlung wird Wärmestrahlung	133
8.6.5	CO ₂ ist durchlässig für Licht- und undurchlässig für Wärmestrahlung	134
8.6.6	Die Atmosphäre als Kontinuum begreifen	134
8.6.7	Den Strahlungshaushalt als Gleichgewicht begreifen	134

9	Evaluation der Lernangebote und Beschreibung individueller Denkpfade	136
9.1	Fragestellung.....	136
9.2	Methodisches Vorgehen.....	136
9.2.1	Das Vermittlungsexperiment als Forschungsmethode	136
9.2.2	Durchführung der Vermittlungsexperimente	137
9.2.3	Phasen des Vermittlungsexperiments.....	138
9.2.4	Auswertung der Vermittlungsexperimente	139
9.3	Lernangebote zum Kohlenstoffkreislauf	139
9.3.1	Der Kohlenstoffkreislauf im Speicher-Fluss-Modell.....	140
9.3.2	Das Natürlich-Künstlich-Schema im Speicher-Fluss-Modell	146
9.3.3	Lernangebot: Abholzung im Speicher-Fluss-Schema.....	151
9.4	Lernangebote und Denkpfade zum Treibhauseffekt	155
9.4.1	Lernangebot: Globale Erwärmung und Ozonloch	155
9.4.2	Lernangebot: Treibhausexperiment CO ₂ vs. Luft.....	158
9.4.3	Lernangebot: Treibhausexperiment mit Folie vs. Pappe.....	162
9.4.4	Lernangebot: (Un)Durchlässiges CO ₂	165
9.4.5	Lernangebot: Fließgleichgewicht.....	170
9.5	Denkpfade zum Treibhauseffekt.....	172
9.5.1	Egons Denkpfad zum Treibhauseffekt.....	173
9.5.2	Ninas Denkpfad zum Treibhauseffekt	173
9.5.3	Raphaels Denkpfad zum Treibhauseffekt	174
10	Zusammenfassung und Diskussion	175
10.1	Zusammenfassung zentraler Ergebnisse	175
10.1.1	Vorstellungen und Vorstellungsentwicklungen zum Kohlenstoffkreislauf	175
10.1.2	Vorstellungen und Vorstellungsentwicklungen zum Treibhauseffekt.....	177
10.2	Reflexion des theoretischen Rahmens	179
10.2.1	Der Konstruktivismus als Ausgangspunkt dieser Studie	180
10.2.2	Nutzung der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens	180
10.2.3	Umsetzung des Conceptual Change Ansatzes in der Studie	181
10.3	Reflexion des methodischen Vorgehens.....	181
10.3.1	Dokumentation des methodischen Vorgehens.....	182
10.3.2	Das Vermittlungsexperiment in der Didaktischen Rekonstruktion	182
10.3.3	Umsetzung von Maßnahmen zur Qualitätssicherung	183
10.4	Relevanz der Studie für die Lehr-Lernforschung	184
10.4.1	Lernen als Reflexion der eigenen Vorstellung	184
10.4.2	Das Vermittlungsexperiment in der Lehr-Lernforschung	185
10.4.3	Einordnung der Ergebnisse in die Conceptual Change Forschung	185
10.5	Relevanz der Studie für den Unterricht.....	187
10.6	Erreichte Ziele.....	189
11	Literatur.....	190

Die Arbeit an Vorstellungen führt zum Verständnis des Klimawandels

Vorwort von Harald Gropengießer und Ulrich Kattmann

Erscheinungen wie der Kohlenstoffkreislauf oder der Treibhauseffekt sind schwierig zu verstehen. Die Vorstellungen zum Klimawandel sind bislang sowohl vor wie nach dem Unterricht weit von einem fachlich angemessenen Verständnis entfernt. Dies ist aus mehr als 20 bisher publizierten Untersuchungen zum Thema aus mehreren Ländern bekannt. Aus fachdidaktischer Sicht stellen sich hier zwei Fragen: Warum ist der Klimawandel so schwierig zu verstehen? Und auf welche Weise kann der Klimawandel besser verstanden werden?

Kai Niebert beantwortet diese Fragen, indem er – geleitet vom Modell der Didaktischen Rekonstruktion – zunächst die Vorstellungen der Wissenschaftler anhand verlässlicher Quellen analysiert. Dies geschieht mithilfe der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens. Dabei werden die von den Klimatologen und Ökologen genutzten Verstehenswerkzeuge deutlich: Es sind Schemata wie die vom „Kreislauf“, vom „Gleichgewicht“ sowie von „Speichern und Flüssen“. Diese erfahrungsbasierten aus unmittelbarer Erfahrung und Anschauung stammenden Schemata werden an die unanschaulichen Erscheinungen des Kohlenstoffkreislaufs und des Treibhauseffekts herangetragen und prägen so das wissenschaftliche Verständnis.

Mit der Analyse der Wissenschaftler-Vorstellungen lässt es Kai Niebert nicht bewenden. Er überführt diese Vorstellungen gemäß dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion im Prozess der Fachlichen Klärung in lernförderliche Vorstellungen zum Kohlenstoffkreislauf und zum Treibhauseffekt. Die Formulierung der fachlich geklärten Vorstellungen stützt sich dabei sowohl auf die Vorstellungen der Wissenschaftler wie auch auf die antizipierten Denkmöglichkeiten der Lerner.

Die Vorstellungen der Lerner zum Klimawandel sind deutlich vielfältiger als die der Wissenschaftler. Es bestätigt sich auch eine allgemein große Differenz zu den wissenschaftlichen Vorstellungen. Aber die theoriegeleitete Analyse enthüllt darüber hinaus Erstaunliches: Lerner und Wissenschaftler nutzen dieselben Verstehenswerkzeuge. Auch Lerner denken mit dem Schema des Speichers, des Flusses oder mit dem des Gleichgewichts. Aber die Oberstufenschüler verwenden diese Schemata anders als die Wissenschaftler. Andersherum kann man sagen: Die Wissenschaftler nutzen dieselben Schemata wie die Lerner, aber sie verwenden sie in elaborierter Weise.

Das Problem für das Erreichen eines angemessenen Verständnisses besteht darin, dass schon ein Kombinat von nur zwei Schemata, wie es beispielsweise beim Speicher-Fluss-Schema vorliegt, überraschende Eigenschaften aufweist. So kann ein kleiner Speicherinhalt durchaus mit einem zahlenmäßig viel größeren Zufluss einhergehen, wenn nur der Abfluss entsprechend ist. Hier setzen Lernangebote an, die sich als besonders erfolgreich erwiesen haben, ein reflektiertes Verständnis vom Klimawandel zu erreichen. Beispielsweise bekommen die Lerner mehrere Plastikbehälter, die mit »Atmosphäre«, »Ozeane«, »Lebewesen« usw. beschriftet sind und Styroporkugeln enthalten. Das gedankliche Speicher-Fluss-Schema steht damit materiell zur Verfügung. Daran können die Prozesse des Kohlenstoffkreislaufs durchgespielt und die Konsequenzen bedacht werden. Auf diese Weise werden die sonst wie selbstverständlich verwendeten Schemata bewusst gemacht. Den Schemata kann nun die gebührende Aufmerksamkeit geschenkt werden und ihre angemessene bereichsspezifische Verwendung ausgearbeitet werden. Es ist, als würde

mit den Denkwerkzeugen so lange *hantiert*, bis mit ihnen ein adäquates *Begreifen* der Phänomene möglich wird.

Es handelt es sich um eine methodisch kontrollierte Modellierung des Kohlenstoffkreislaufs. Dabei setzt die Modellierung genau am jeweiligen Vorverständnis der Lerner an und bietet zudem die Möglichkeit, das fachliche Verständnis weiter zu entwickeln. Die Modellierung wird hier also nicht allein vom fachlichen Verständnis her betrieben, vielmehr handelt es sich um eine vom Lernen ausgehende und daher dem Lernen unmittelbar förderliche Modellierung.

Kai Niebert hat mit Hilfe des Modells der Didaktischen Rekonstruktion theoriegeleitet empirisch fundierte Lernangebote für das schwierige Thema des Klimawandels entwickelt. Er zeigt, wie durch die Arbeit mit und an den Vorstellungen ein angemessenes Verständnis des Klimawandels erreicht werden kann.

Harald Gropengießer und Ulrich Kattmann

Zusammenfassung

Der vom Menschen verursachte Klimawandel wird seitens des Weltklimarats als eine der größten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts bezeichnet (IPCC 2007). Um wirkungsvolle Strategien zur Verminderung der Auswirkungen menschlichen Handelns auf das Klima zu entwickeln, ist ein Verstehen der zugrunde liegenden Prozesse und ihrer Chancen und Risiken auch auf individueller Ebene unabdingbar (Bord et al. 2000). Ziel dieser Studie ist deshalb die evidenzbasierte und theoriegeleitete Entwicklung von Lernangeboten zur Vermittlung von zentralen Aspekten des Klimawandels: dem Kohlenstoffkreislauf und dem Treibhauseffekt. Dabei werden auf Grundlage des Modells der Didaktischen Rekonstruktion die Alltagsvorstellungen von Lernern als Ausgangspunkt der Vermittlung gesehen (Kattmann et al. 1997).

Der theoretische Rahmen dieser Untersuchung wird aufgespannt durch drei Theorien: Der Konstruktivismus betrachtet Lernen als individuelle Konstruktion von Vorstellungen (Glaserfeld 2008; Roth 2009). Die Conceptual Change Forschung beschreibt Faktoren für das erfolgreiche Lernen naturwissenschaftlicher Inhalte (Treagust & Duit 2008). Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (Lakoff & Johnson 1999) beschreibt die Rolle von Erfahrungen und Metaphern beim Lernen. Geleitet durch diese Theorien sucht die vorliegende Arbeit folgende Fragen zu beantworten: (1) Über welche Vorstellungen verfügen Lerner und Wissenschaftler zu zentralen Aspekten des Klimawandels? (2) Welche Vorstellungsentwicklungen zeigen Lerner, wenn sie mit didaktisch rekonstruierten Lernangeboten zum Klimawandel konfrontiert werden? (3) Welche der entwickelten Lernangebote fördern oder behindern ein Lernen zum Klimawandel?

Diese Arbeit orientiert sich am Modell der Didaktischen Rekonstruktion (Kattmann et al. 1997). Dabei werden die Vorstellungen von Wissenschaftlern und Lernern zur Entwicklung effektiver Lernangebote in Beziehung gesetzt. Die Vorstellungen von Wissenschaftlern werden anhand von Hochschullehrbüchern, Forschungsartikeln und dem Vierten Sachstandsbericht des Weltklimarates (IPCC) erfasst. Für die Analyse der Lernervorstellungen werden 24 empirische Untersuchungen über Vorstellungen zum Klimawandel reanalysiert, eine eigene Interviewstudie (n=11, 18 Jahre; 6 m., 5 w.) und eine Interventionsstudie (n=24, 18 Jahre; 13 m., 11 w.) durchgeführt. Die Lernprozesse werden in zehn Vermittlungsexperimenten mit Kleingruppen von zwei bis drei Lernern analysiert. Die Interviewstudie wurde audiographiert, die Vermittlungsexperimente videographiert. Alle Daten wurden mithilfe der Qualitativen Inhaltsanalyse (Mayring 2003) und einer Metaphernanalyse (vgl. Schmitt 2005) ausgewertet.

Mithilfe der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens können vier Denkfiguren zur Rolle des CO₂ im Klimawandel identifiziert werden: *Künstliches CO₂*, *Natürliches und Künstliches CO₂*, *Pflanzenfernes und Pflanzennahes CO₂* und *Anthropogenes Ungleichgewicht im Kohlenstoffkreislauf*. Zu den Mechanismen der globalen Erwärmung können zwei Denkfiguren mit verschiedenen Varianten gefunden werden: *Erwärmung durch mehr Einstrahlung* und *Erwärmung durch weniger Abstrahlung*. Dabei zeigt sich, dass Lerner und Wissenschaftler ähnliche Schemata nutzen, diese aber unterschiedlich im Zielbereich Klimawandel konzeptualisieren.

Diese Studie leistet durch die Entwicklung einer auf den Erfahrungen der Lerner aufbauenden Vermittlungsstrategie einen Beitrag zur Conceptual-Change-Forschung. Dabei rekonstruieren die Lerner ihre Vorstellungen zu abstrakten Zielbereichen durch die Reflexion der ihren Vorstellungen zugrunde liegenden Schemata.

Abstract

Global warming presents a serious threat to our biosphere, with economical, ecological and social consequences (IPCC 2007). Translating public concern for global warming into effective every-day action requires knowledge about the causes and risks of climate change (Bord et al. 2000). The aim of this study is an evidence-based and theory-guided development of learning environments on key issues of global warming: the global carbon cycle and the greenhouse effect. Based on students' conceptions different learning environments were developed using the model of educational reconstruction (Duit et al. 2005).

The theoretical framework of this investigation relies on three different but interdependent theories: Constructivism (Glaserfeld 2008; Roth 2009) states learning as a construction of individual conceptions. A theory of conceptual change (Treagust & Duit 2008) describes factors to enable successful learning processes. Experientialism (Lakoff & Johnson 1999) describes understanding based on personal experience, metaphors, and analogies. Based on this framework, the study deals with three main research questions: (1) Which conceptions do students and scientists employ in explaining the causes of global warming? (2) Which learning pathways do students take in working with educationally reconstructed learning environments? (3) Which educationally reconstructed learning environments foster or hinder the learning of key aspects on global warming?

The research design is based on the model of educational reconstruction (Duit et al. 2005). Within this design, scientists' and students' conceptions are compared to develop effective teaching and learning activities. Scientists' conceptions are extracted from different scientific textbooks and the IPCC-Report (2007). Students' conceptions of global warming are collected in a reanalysis of empirical studies on every-day concepts of global warming, an own interview study (n=11, 18 years old; 6 male, 5 female) and during teaching experiments (n=24, 18 years old; 13 male, 11 female). In 10 teaching experiments learning processes on the global carbon cycle and the greenhouse effect were examined in small groups, each consisting of two or three students. All data were gathered with video, transcribed and investigated by qualitative content analysis (Mayring 2003) and metaphor analysis (Schmitt 2005).

Based on experientialism it was possible to find four thinking patterns of the role of CO₂ in global warming in students' conceptions: *man-made CO₂*, *man-made vs. natural CO₂*, *CO₂ near plants vs. CO₂ away from plants* and *anthropogenic imbalance in carbon cycle*. On the mechanism of global warming two thinking patterns with two variations were found: *warming by more input* and *warming by less output*. Experientialism gave insight in the experience based framework theories (i.e. *container schema*) used to explain abstract specific theories (i.e. *greenhouse effect*).

This study contributes to the research on conceptual change by developing a teaching-approach that gave students access to their conceptions by uncovering the applied schemata. By bringing students' mental models in material existence and providing them with new experiences, students reconstructed their domain specific use of the applied schemata to more science-oriented conceptions.

1 Einleitung

„CO₂ ist ein künstliches Gas. Es frisst ein Loch in die Ozonschicht.
Dadurch scheint mehr Sonne auf die Erde und es wird wärmer.“
(Dirk, 18 Jahre)

Der anthropogene Klimawandel bestimmt den Alltag der Menschen in Deutschland zunehmend: Hochwasser und Unwetter werden als Folge von Klimaveränderungen gedeutet, die Bundesregierung verabschiedet Klimaschutzpakete und die internationalen Klimakonferenzen werden zu medialen Großereignissen. Die deutsche Bundeskanzlerin bezeichnet den Klimawandel als größte Herausforderung des 21. Jahrhunderts (Merkel 2007), der Weltklimarat IPCC und der ehemalige Vizepräsident der USA Al Gore erhielten für ihr Engagement gegen den Klimawandel im Jahr 2007 den Friedensnobelpreis. Die Angst vor dem Klimawandel steigt weltweit: Gut zwei Drittel von 24.000 in einer repräsentativen Stichprobe Befragten bewerteten die Erderwärmung als sehr ernstes Problem. Das ist der höchste Stand seit Beginn der regelmäßigen Befragungen vor elf Jahren (GlobeScan 2009).

Die Sorgen über eine Veränderung des Klimas scheinen groß. Wie aber steht es um die Vorstellungen von den naturwissenschaftlichen Grundlagen des Klimawandels? Befunde empirischer Studien über Lernervorstellungen zum Klimawandel belegen, dass Laien¹ häufig andere Vorstellungen vom Klimawandel haben als Wissenschaftler. So auch Dirk: Für ihn ist der Klimawandel durch das als künstlich imaginierte Gas Kohlenstoffdioxid verursacht, das Löcher in die Ozonschicht frisst und es somit zu einer verstärkten Sonneneinstrahlung kommt.

Um wirkungsvolle Maßnahmen gegen den Klimawandel auf politischer wie auf individueller Ebene zu initiieren, ist jedoch Wissen über die Grundlagen der globalen Erwärmung ein wichtiger Baustein (UNCED 1992). Eine Forschergruppe um Bord (2000) konnte zeigen, dass allgemeine Vorstellungen von einem umweltfreundlichen Verhalten nicht ausreichen, sondern auf individueller Ebene fachlich angemessene Vorstellungen von zentralen Aspekten des Klimawandels notwendig sind, um ein klimafreundliches Handeln zu ermöglichen. Andrey et al. (2000) beschreiben darüber hinaus für die Initiierung nachhaltiger Handlungen im Rahmen des Klimawandels einen Dreischritt aus *Interesse wecken, die Grundlagen des Problems verstehen und zur Handlung motivieren*.

Die vorliegende Studie zielt dabei auf die mittlere Ebene: Die Vermittlung von Grundlagen zu zentralen Aspekten des Klimawandels. Ziel ist die theoriegeleitete und evidenzbasierte Entwicklung von Vermittlungsstrategien zum Klimawandel. Damit soll zum einen ein Beitrag für eine Bildung für nachhaltige Entwicklung (Haan & Gerhold 2008) und zum anderen für die Orientierung der Lerner in einer von globalen, gesellschaftlichen und naturwissenschaftlichen Herausforderungen geprägten Welt geleistet werden (OECD 2007).

Den Befunden des Konstruktivismus und der Neurobiologie folgend (**Kapitel 2**) werden für die Gestaltung von effektiven Lernangeboten nicht einfach fachwissenschaftliche Konzepte als normgebend übernommen, sondern ebenso die Vorstellungen und damit die Lernvoraussetzungen von Lernern berücksichtigt. Mit dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion (**Kapitel 5**) steht dabei für die Gestaltung von effektiven Lernangeboten ein erprobter Forschungsrahmen zur

¹ Aus Gründen der Lesbarkeit wird für alle allgemeingültigen Darstellungen auf die Verwendung der weiblichen Form verzichtet. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass die Verwendung der männlichen Form alle weiblichen Personen mit einschließt.

Verfügung, der die Vorstellungen von Lernern und Wissenschaftlern miteinander in Beziehung setzt.

In dieser Arbeit findet eine Fokussierung auf zwei zentrale Aspekte des Klimawandels statt: Mit rund 60 Prozent Anteil am anthropogenen Treibhauseffekt gilt Kohlenstoffdioxid (CO₂) als Hauptverursacher der globalen Erwärmung (IPCC 2007). Zum einen werden somit die Vorstellungen zum Treibhauseffekt und zum anderen zur Rolle des CO₂ im Rahmen des Kohlenstoffkreislaufs analysiert.

Dazu wurden zunächst in einer Reanalyse 24 Studien über Alltagsvorstellungen zum Klimawandel ausgewertet (**Kapitel 3**). In einer Interviewstudie wurden anschließend die Vorstellungen von 18-jährigen Lernern zu zentralen Aspekten des Klimawandels und in einer Literaturstudie die Vorstellungen von Wissenschaftlern anhand von ökologischen und klimatologischen Fachtexten erhoben. Die Vorstellungen der Wissenschaftler (**Kapitel 6**) und der Lerner (**Kapitel 7**) wurden mithilfe der Qualitativen Inhaltsanalyse und einer Metaphernanalyse ausgewertet. Somit war es möglich, eine methodisch kontrollierte Interpretation der Vorstellungen auf Grundlage der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (vgl. **Kapitel 2**) vorzunehmen. Diese Theorie des Verstehens hilft dabei, die Ursprünge von Vorstellungen anhand der genutzten Metaphern und Analogien zu analysieren. Damit ist es dieser Untersuchung möglich, über den Stand bisheriger Studien über Alltagsvorstellungen zum Klimawandel hinaus zu gehen. Die Ergebnisse der Metaphernanalyse fließen dabei in die Explikation der Vorstellungen im Rahmen der Qualitativen Inhaltsanalyse der Wissenschaftler- und Lernervorstellungen ein (**Kapitel 6 und 7**).

In einem wechselseitigen Vergleich der Vorstellungen von Wissenschaftlern und Lernern in der Didaktischen Strukturierung (**Kapitel 8**) werden Leitlinien zur Vermittlung des Klimawandels vorgeschlagen und diese in konkreten Lernangeboten in Umsetzung gebracht. Dabei werden auch zentrale von Wissenschaftlern genutzte Metaphern und Analogien auf ihre verständnisfördernden und -verhindernden Aspekte hin untersucht. Die Lernangebote werden theoriegeleitet auf Grundlage des theoretischen Rahmens dieser Arbeit gestaltet. Leitend sind hierbei u. a. die Erkenntnisse der Conceptual-Change-Forschung (vgl. **Kapitel 2**).

Neben der theoriegeleiteten Entwicklung effizienter Lernangebote findet im Anschluss eine empirische Evaluation ihrer Wirksamkeit statt, um fundierte Aussagen über die entwickelten Lernangebote zu ermöglichen. Dabei soll nicht nur geklärt werden, ob die Angebote lernwirksam sind, sondern auch, warum sie es sind – oder auch nicht sind. Um explanative Aussagen über die Wirkung der Lernangebote treffen zu können, wird der gesamte Lernprozess prozessbasiert ausgewertet: In den Vermittlungsexperimenten werden die Lerner mit den didaktisch strukturierten Lernangeboten konfrontiert und ihre Vorstellungsentwicklung analysiert. So können schließlich individuelle Denkpfade nachgezeichnet werden, aus denen die Vorstellungsentwicklung der Lerner hervorgeht (**Kapitel 9**).

Abschließend werden das Vorgehen und die Ergebnisse dieser Arbeit kritisch reflektiert. Dabei wird auch eine Einordnung der Arbeit in den Stand der internationalen Lehr-Lernforschung vorgenommen (**Kapitel 10**).