



Wie Vorwissen das Lernen beeinflusst – Eine Lernprozessstudie zur Wissenskonstruktion des Treibhauseffekt-Konzepts

How Pre-Instructional Conceptions Influence learning – A Learning Process Analysis to Explore the Construction of Knowledge of the Greenhouse Effect

Sibylle Reinfried , Sebastian Tempelmann

Zitieren dieses Artikels:

Reinfried, S., & Tempelmann, S. (2014). Wie Vorwissen das Lernen beeinflusst – Eine Lernprozessstudie zur Wissenskonstruktion des Treibhauseffekt-Konzepts. *Zeitschrift für Geographiedidaktik | Journal of Geography Education*, 42(1), S. 31–56. doi 10.18452/23977

Quote this article:

Reinfried, S., & Tempelmann, S. (2014). Wie Vorwissen das Lernen beeinflusst – Eine Lernprozessstudie zur Wissenskonstruktion des Treibhauseffekt-Konzepts. *Zeitschrift für Geographiedidaktik | Journal of Geography Education*, 42(1), pp. 31–56. doi 10.18452/23977

Wie Vorwissen das Lernen beeinflusst – Eine Lernprozessstudie zur Wissenskonstruktion des Treibhauseffekt-Konzepts

Sibylle Reinfried, Sebastian Tempelmann

Zusammenfassung:

Im Rahmen einer explorativen video-gestützten Lernprozessstudie wurden die Veränderungen der Präkonzeptionen über den atmosphärischen Treibhauseffekt von 13jährigen Lernenden detailliert untersucht. Das Forschungsdesign bestand aus einer Unterrichtseinheit, die in Vor- und Nachtest-Interviews eingebettet war. Der Unterricht basierte auf einem konstruktivistischen Lernansatz, in welchem die Entwicklung mentaler Modelle und Vorstellungsänderungen (Conceptual Change) eine große Rolle spielen. Als Datengrundlage dienten Transkripte der Videoaufzeichnungen, Schülerzeichnungen mit erklärenden Texten und Interviewtranskripte, die mit qualitativen Methoden untersucht wurden. Die Analyse ergab, dass die Lernwege der Lernenden in hohem Maße von ihrem fachspezifischen Vorwissen abhängen. Die Präkonzeptionen der Lernenden konnten drei Präkonzepttypen zugeordnet werden: Lernende, die kein oder sehr wenig Vorwissen über den Treibhauseffekt haben, konstruieren völlig neue mentale Modelle, die dem durch die Instruktion vermittelten Zielmodell sehr nahe kommen. Lernende, die Vorwissen haben, das mit grundlegenden Ideen des Zielmodells übereinstimmt, erreichen das Zielmodell durch Erweiterung und Umstrukturierung ihrer bestehenden Wissensstrukturen. Lernenden, deren Vorwissen aus subjektivem Weltwissen besteht, das für sie einen größeren Erklärungswert hat, als die mit dem Unterricht vermittelten Informationen, verändern ihre mentalen Modelle nicht erfolgreich.

Schlüsselwörter: Treibhauseffekt, Lernprozessanalyse, konzeptuelle Entwicklung, Entwicklung mentaler Modelle, Conceptual Change, Präkonzept-Typen

Summary: How pre-instructional conceptions influence learning – A learning process analysis to explore the construction of knowledge of the greenhouse effect concept

This paper provides an exploratory video-based learning process study that investigates in-depth the development of 13-year old learners' pre-instructional conceptions of the atmospheric greenhouse effect during instruction. The research design consisted of an instructional sequence embedded in pre- and post-test interviews. The instruction used a constructivist learning approach that focused on mental model evolution and conceptual change. The video transcripts, the students' annotated drawings, and the transcripts of the interviews served as the database, which was analysed qualitatively. The analysis showed that the learning pathways pursued by the learners significantly depend on their domain-specific previous knowledge. The learners' preconceptions could be typified in three preconception types: Learners, who have no or very little previous knowledge about the greenhouse effect, build completely new mental models that are close to the target model. Learners, who have previous knowledge that indicates compliances with central ideas of the scientific model, reach the target model by expanding and restructuring their existing knowledge structures. Learners whose previous knowledge consists of subjective worldly knowledge with a greater personal explanatory value than the information conveyed through instruction do not successfully change their existing conceptions.

Keywords: greenhouse effect; learning process analysis; conceptual development; mental model evolution; conceptual change; preconception types

Autoren: Prof. Dr. Sibylle Reinfried, Pädagogische Hochschule Luzern, s.reinfried@bluewin.ch; Dr. Sebastian Tempelmann, Pädagogische Hochschule Luzern, sebastian.tempelmann@phlu.ch

1 Einleitung

Dass das Treibhauseffekt-Konzept schwer zu verstehen ist, wurde immer wieder durch Studien nachgewiesen (z.B. AESCHBACHER, CALÒ, WEHRLI 2001; KIRKEBY HANSEN 2010; KLOSTERMAN, SADLER 2010; KEMPTON 1993; ÖSTERLIND 2005). Die Verständnisschwierigkeiten können darauf zurückgeführt werden, dass die Prozesse, die das Treibhauseffekt-Konzept bedingen, sinnlich nicht oder nur schwer erfahrbare sind. So wie z.B. die Umwandlung des kurzwelligen Anteils der Sonnenstrahlung in langwellige Wärmestrahlung und die Eigenschaft der selektiven Transparenz von CO₂ gegenüber Strahlung unterschiedlicher Wellenlängen. Subjektive Theorien über den Treibhauseffekt sind hingegen durch Alltagserfahrungen vielfach bestätigt. Solche subjektiven Theorien oder Alltagsvorstellungen sind zum Beispiel, dass Wärme in der Atmosphäre unter einer unsichtbaren Schicht aus Treibhausgasen angestaut wird und so nicht entweichen kann (vgl. ANDERSON, WALLIN 2000) oder dass mehr Sonnenstrahlen durch das Ozonloch in die Atmosphäre gelangen (vgl. AESCHBACHER ET AL. 2001; BOYES, STANISSTREET 1993; KOULADIS, CHRISTIDOU 1999; REINFRIED, SCHULER, AESCHBACHER, HUBER 2008).

Reinfried und Kollegen haben eine instruktionspsychologisch optimierte Lernumgebung zum Treibhauseffekt entwickelt, welche hilft, die speziellen Lernschwierigkeiten bezüglich des Treibhauseffekt-Konzepts zu überwinden und bleibende Vorstellungsänderungen zu induzieren (REINFRIED ET AL. 2008; REINFRIED, AESCHBACHER, HUBER, ROTTERMANN 2010a). Die Überprüfung der Wirksamkeit der Lernumgebung erfolgte mit quantitativen Methoden im Rahmen einer explorativen Interventionsstudie, genannt GeoConcepts I, und ergab einen signifikanten und relativ beständigen Wissenszuwachs, verbunden

mit einem besseren Verständnis des natürlichen und anthropogenen Treibhauseffekt-Prinzips (REINFRIED, ROTTERMANN, AESCHBACHER, HUBER 2010b, 2010c). Mit GeoConcepts I wurde allerdings nur das Vorwissen und der Wissenszuwachs über die Zeit erfasst. Die lernabhängigen Veränderungen der subjektiven mentalen Modelle konnten mit dem quantitativen Design der Studie nicht diagnostiziert werden. Der hier dargestellte qualitative Teil der Studie, genannt GeoConcepts II, verfolgte das Ziel, die lernabhängigen Vorstellungsänderungen von 13jährigen Lernenden genauer zu erfassen und ihre Lernwege in Abhängigkeit von ihrem Vorwissen detailliert zu beobachten und zu analysieren.

2 Theoretischer Hintergrund

Die in der Einleitung kurz beschriebenen Alltagsvorstellungen über den Treibhauseffekt sind persönliche, ‚naive‘ Erklärungen von Naturphänomenen. Sie beruhen auf intuitiven Ideen und subjektiven Wahrnehmungen, die mittels kognitiver Verarbeitungsprozesse zu einem subjektiv sinnvollen mentalen Modell verknüpft werden (zu den Begriffen Schüler- oder Alltagsvorstellungen, subjektive Theorien, mentale Modelle s. REINFRIED 2013 a, b). Beim Versuch, neue Informationen zu verarbeiten oder ein bestimmtes Phänomen zu begreifen, werden mentale Modelle konstruiert, indem auf bestehendes Wissen zurückgegriffen wird, mit welchen sich die dargebotenen Informationen deuten lassen. Die Konstruktionen von mentalen Modellen durch Novizen unterscheiden sich daher zwangsläufig von den wissenschaftlichen Modellen der Experten inhaltlich, strukturell und semiotisch (SEEL 2003). Mentale Modelle können subjektiv als widerspruchsfrei empfunden werden, auch wenn sie unvollständig sind oder sogar im

Gegensatz zu gültigen wissenschaftlichen Modellen stehen. Aufgrund ihrer Plausibilität sind sie äußerst stabil und beständig (VOSNIADOU, BREWER 1994). Die Entwicklung von Novizen- zu Expertenmodellen wird aus pädagogischer Sicht als eine lernabhängige Veränderung von Präkonzepten zu objektiven kausalen konzeptuellen Modellen verstanden. In der Fachliteratur hat sich für diesen Prozess der Vorstellungsänderung der Begriff *Conceptual Change* eingebürgert (vgl. REINFRIED 2013 c).

Mentale Modelle spielen eine zentrale Rolle in der Lerntheorie des kognitiven Konstruktivismus, die epistemologische Position, auf die sich diese Studie stützt. Gemäß dem kognitiven Konstruktivismus wird alles Wissen aktiv konstruiert und ist in mentalen Modellen und kognitiven Schemata organisiert (SEEL 1991). Um Lernprozesse nachvollziehen zu können, ist es somit fundamental, das subjektive intellektuelle Bezugssystem eines Lernenden zu verstehen (AEBLI 1983; SEEL 2003, S. 25). In Anlehnung an Piaget kann die Konstruktion von mentalen Modellen als Prozess der Wissensassimilation und -akkommodation betrachtet werden. Um Probleme lösen zu können, werden neue Informationen mit Vorwissen assimiliert und die Vorwissenstruktur wird an das neue Wissen akkommodiert. So lange die zu verarbeitende Information in bereichsspezifische Strukturen des Vorwissens assimiliert werden kann, besteht keine Notwendigkeit für eine Vorstellungsänderung und damit auch kein Grund zur Veränderung eines mentalen Modells. Ein *Conceptual-Change*-Prozess setzt nach SEEL (1991, S. 44) dann ein, wenn das kognitive System gezwungen ist, sein Wissen zu modifizieren. Können neue Informationen nämlich nicht in bestehenden Wissensstrukturen eingefügt werden, entsteht ein kognitiver Konflikt, der einen Prozess der Veränderung, also der Akkommodation bestehender mentaler Modelle

auslöst. Die Frage, was sich beim *Conceptual Change* eigentlich ändert, wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Manche Autoren betrachten *Conceptual Change* als eine Restrukturierung von mentalen Modellen im Sinne einer Reorganisation und Umdeutung von domänenspezifischen Wissensstrukturen (*knowledge-as-a-theory*-Ansatz; CHI 2008, S. 66f; RUMELHART, NORMAN 1978; VOSNIADOU, BREWER 1987, S. 52). DISSA (1993) sieht *Conceptual Change* als die Restrukturierung von bestehenden, fein-körnigen, zumeist intuitiven Wissenskomponenten und Strukturen (sog. *phenomenological primitives* oder *p-prims*), welche mit einer allmählichen Zunahme an Kohärenz und Konsistenz verbunden ist (*knowledge-in-pieces*-Ansatz).

Für die *Conceptual-Change*-Forschung ist es von großem Interesse, im Detail zu verstehen, welche Veränderungen im Lernprozess stattfinden. Interne, dynamische Wissenskonstruktionsprozesse sind jedoch nicht direkt beobachtbar, sondern müssen über die Externalisierung von mentalen Modellen erschlossen und aus pädagogischer Sicht interpretiert werden (vgl. AL-DIBAN 2002, S. 109). Da jede Unterrichtsphase bei jedem Lernenden andere Lernprozesse auslöst, können mit qualitativen, einzelfallbasierten Analysen entscheidende Informationen zum Prozess der Konstruktion von mentalen Modellen gewonnen und Lern- und Verstehensprozesse zumindest teilweise geklärt werden. Dieser Forschungsansatz ist in der *Conceptual-Change*-Forschung jedoch noch selten (DISSA 2008). Es gibt verschiedene Studien zum Einfluss des Vorwissens auf die Wissenskonstruktion in den Naturwissenschaften (s. z.B. NIEDERER, GOLDBERG 1995, RIEMEIER, GROPPENGIESSER 2008). In den Geowissenschaften hat sich die fachdidaktische Forschung bis jetzt aber vor allem auf die Erhebung von Alltagsvorstellungen konzentriert. Lernprozessstu-

dien, die untersucht haben, wie sich das Vorwissen auf die Wissenskonstruktion von geowissenschaftlichen Konzepten auswirkt, sind hingegen noch selten. So haben sich einige Studien mit der Konstruktion von Wissen über den Treibhauseffekt befasst (JAKOBSSON, MÄKITALO, SÄLJÖ 2009; KLOSTERMAN, SADLER 2010; NIEBERT 2010; ÖSTERLIND 2005; SCHULER 2011) und FELZMANN (2013) hat eine Lernprozessstudie zu Gletscher und Eiszeiten vorgelegt.

3 Forschungsfragen

Die vorliegende Lernprozessstudie ist eine qualitative Explorationsstudie, mit der Vorstellungsänderungen über den Treibhauseffekt bei der Arbeit mit einer lernpsychologisch optimierten Lernumgebung (vgl. REINFRIED ET AL. 2008) besser verstanden werden sollen. Der Fokus der Studie lag auf der Diagnose der lernabhängigen Veränderungen der individuellen Modellkonstruktionen beim Erlernen des Treibhauseffekt-Konzepts unter besonderer Berücksichtigung des Vorwissens der Lernenden. Da das bereichsspezifische Vorwissen nach AUSUBEL (1968) kognitive Lernprozesse entscheidend beeinflusst, war von besonderem Interesse, ob ähnliches Vorwissen zu ähnlichen Lernwegen führt. Die zu untersuchende Problemstellung konzentrierte sich somit auf die Diagnose der externalisierten Veränderungen der mentalen Modelle von 13jährigen Lernenden in Abhängigkeit von deren Vorwissen, wobei folgende Forschungsfragen im Zentrum standen:

- Wie verlaufen der Wissenskonstruktionsprozesse mit der lernpsychologischen Lernumgebung?
- Welche Rolle spielt dabei das Vorwissen?
- Gibt es typische Verlaufsprofile bei der Entwicklung der mentalen Modelle und wovon sind diese abhängig?

4 Methoden

4.1 Stichprobe

Die Stichprobe umfasste 14 Versuchspersonen (6 Mädchen und 8 Jungen) einer Sekundarklasse (7. Schuljahr, Typus A) aus dem Kanton Luzern/Schweiz, die im Durchschnitt 13.14 (± 0.5) Jahre alt waren. Die Auswahlkriterien für den Einbezug der Schülerinnen und Schüler in die Studie waren ein genügend guter Notendurchschnitt von mindestens 4.5 oder höher¹ in Mathematik, den Sprachen Deutsch und Französisch und den Sachfächern Geographie und Geschichte. Diese Kriterien zielten darauf ab, Versuchspersonen (VPn) mit genügenden schulischen Leistungen zu selektionieren, die in der Arbeitsphase mit der Lernumgebung auswertbare Beiträge hervorbringen und auch die Voraussetzungen dafür mitbringen würden, ihre Überlegungen zu externalisieren. Von diesen Lernenden konnten jene an der Studie teilnehmen, deren Eltern ihre Zustimmung für die Aufzeichnung der Lernprozesse mit Video gaben. Da es in der Schweiz bis jetzt noch keine inhaltlich standardisierten kantonalen Lehrpläne gibt, musste der Einfluss des in der Sekundarschule vermittelten Vorwissens dadurch kontrolliert werden, dass alle VPn aus derselben Klasse ausgewählt wurden. So konnte sichergestellt werden, dass (1) alle VPn im 7. Schuljahr bis zum Abschluss der Datenerhebung keinen nennenswerten Physik- oder Chemieunterricht erhalten hatten und (2) kein schulisches Wissen über den Treibhauseffekt vermittelt worden war. Die Schülerinnen und Schüler nahmen jeweils in Zweiergruppen an der Untersuchung teil. Sie entschieden selbst, wer mit wem in der Kleingruppe zusammenarbeiten wollte. Somit ergaben sich sieben Testgruppen, welche jeweils homogen männlich oder weiblich zusammengesetzt waren. Da es bei einer der Gruppen technische Probleme bei

der Aufnahme gab, konnten nur die Daten von zwölf VPn ausgewertet werden.

4.2 Forschungsdesign, Intervention und Instrumente

Forschungsdesign

Um eine genaue Beschreibung der Wissenskonstruktionsprozesse und eine präzise Diagnose der Veränderung der mentalen Modelle zu erhalten, wurde ein Untersu-

chungsdesign, das aus vier Phasen besteht, die in neun Untersuchungszeitpunkte (t1-t9) unterteilt waren, gewählt (s. Tab. 1). Durch die kleinschrittige Gliederung des Ablaufs kann die Wissenskonstruktion jedes Individuums in zeitlich abgrenzbaren Phasen, die durch ihre bzw. in ihrer Genese verknüpft und voneinander abhängig sind, beschrieben werden.

Von Interesse sind die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler vor und nach der gesamten Arbeitsphase mit der Lernum-

Tab. 1: Ablauf der Untersuchung

Phasen	Unter-suchungs-zeitpunkte	Kurzbeschreibung	Dauer (Min)	Instrument/ Lernmaterial	Daten-material
Vorerhebung	t1	Kurzes Einstiegsgespräch Subjektive mentale Modelle zeichnen und beschreiben	15		Schüler-zeichnungen und -texte
Intervention: Arbeit mit der Lernumgebung	t2	Studieren des Arbeitsblattes	10	Arbeitsblatt (Abbildung 1)	Transkripte der Videoaufzeichnungen mit Schüler-zeichnungen und -notizen
	t3	Schriftliche und zeichnerische Wiedergabe der Inhalte des Arbeitsblatts	10		
	t4	Versuchspersonen diskutieren unter Anleitung der Versuchsleiterin über ihr Verständnis der Arbeitsblatt-Inhalte	15		
	t5	Demonstration des Modellexperiments durch die Versuchsleiterin	15	Modell-experiment	
	t6	Diskussion über das Modellexperiment unter Anleitung der Versuchsleiterin	5	Gesprächs-leitfaden (Kasten A)	
Nacherhebung	t7	Subjektive mentale Modelle zeichnen und beschreiben	10		Schüler-zeichnungen und -texte
Interviews	t8	Fokussiertes Einzelinterview	7	Interview-leitfaden (Kasten B)	Transkripte
	t9	Einzelinterview mit Sondierungsfragen	7	Interview-leitfaden (Kasten C)	

gebung (t1, t7-t9) sowie die intermediären mentalen Modelle der VPn, die während des Lernprozesses gebildet werden. Für die Analyse des konzeptuellen Verständnisses und des Lernfortschritts im Verlauf der Unterrichtssequenz wurde das Vermittlungsexperiment verwendet (teaching experiment nach STEFFE 1983; STEFFE, THOMPSON, VON GLASERSFELD 2000), das der Intervention (t2-t6) zugrunde liegt. Das Vermittlungsexperiment ist ein experimentelles Verfahren aus der qualitativen Sozialforschung und ein wirkungsvolles Erhebungsinstrument in Lernprozessstudien. Die Methode ist prinzipiell eine Interviewtechnik, die sich an das klinische Interview von Piaget anlehnt (STEFFE ET AL. 2000).

In den Phasen Vorerhebung (t1), Nacherhebung (t7) und Interviews (t8 und t9) wurden die VPn einzeln befragt, in der Interventionsphase (t2-t6) arbeiteten sie in Zweiergruppen. Die Untersuchung dauerte insgesamt 95 Minuten und wurde mit einer ungeführten, auf die VPn ausgerichteten Kamera videographiert. Beteiligt waren die Autorin (in der Rolle der Versuchsleiterin [Abk. VL] und Interviewerin) und der Koautor (ebenfalls in der Rolle des Interviewers).

Intervention

Die Datenerhebung begann mit der Erhebung des Vorwissens. Nach einem kurzen Aufwärmgespräch mit Fragen zu den Hobbies und schulischen Interessen wurden die VPn gebeten, ihre Vorstellungen über den Treibhauseffekt zu zeichnen und die Zeichnungen schriftlich zu erläutern (t1). Die anschließende Interventionsphase mit der Lernumgebung begann damit, dass die VPn das Arbeitsblatt studierten (t2, Abb. 1) und es anschließend zur Seite legten. Als Nächstes zeichnete und beschrieb jede VPn für sich allein das Wissen, das sie/er aus dem Arbeitsblatt gewonnen hatte (t3). Im folgenden Schritt erklärten sich die beiden VPn gegenseitig, was sie ge-

zeichnet und geschrieben haben (t4). Falls es zur Klärung der Sachverhalte sinnvoll war, regte die VL durch gezielte Hinweise die Diskussion zwischen den VPn an. Anschließend stellte die VL Fragen zu Unklarheiten oder Verständnisproblemen, die beim Lernen entstanden waren. Die VL antwortete auf konkrete Fragen, vermied jedoch, von sich aus geschlossene Wissensinhalte zu artikulieren. Vielmehr hakte sie bei offensichtlichen Fehlinterpretationen nach, ließ sich die Ideen erklären und lud dazu ein, sich bestimmte Aspekte im Arbeitsblatt noch einmal genau anzuschauen. Im Anschluss daran setzte die VL das Modellexperiment in Gang, erklärte den VPn die einzelnen Komponenten und erläuterte, was diese darstellen sollen. Danach forderte sie die Lernenden auf, Hypothesen darüber zu bilden, was geschieht, wenn CO₂-Gas in die Atmosphäre des Modells gefüllt wird. Während die VL den Versuch durchführte, beobachteten die VPn das Geschehen und artikulierten ihre Beobachtungen spontan (t5). Danach wurde den VPn die Möglichkeit geboten, den Versuch selbst durchzuführen. Es folgte ein halbstrukturiertes Gruppeninterview mittels eines Gesprächsleitfadens (t6, Kasten A, S.37). Es lief in Form einer Diskussion der VL mit der Schülergruppe über das Modellexperiment und dessen Bezüge zum realen Treibhauseffekt ab. Auf die Arbeitsphase (t2-t6) folgte die Nacherhebung, in der die VPn nochmals ihre Vorstellungen zeichneten und beschrieben (t7). Anschließend wurde jede VPn der Lerngruppe einzeln mit einem leitfadenorientierten halbstrukturierten Interview zu seinem Lernprozess und allfälligen Lernschwierigkeiten mit der Lernumgebung befragt (t8; Kasten B, S.37). In Untersuchungsschritt t9 wurden im Rahmen eines weiteren leitfadenorientierten, strukturierten Einzelinterviews acht Sondierungsfragen zu den in der Lernumgebung angesprochenen Inhalten gestellt, mit denen u.a. die Robustheit des Wissens getestet wurde (Kasten C, S.37).

A: Gesprächsleitfaden

Fragen, die vor und nach der Durchführung des Modellexperiments gestellt wurden (t5, t6):

Vor dem Modellexperiment:

- Stellt Vermutungen an, was passieren wird, wenn CO₂-Gas in die Modell-Atmosphäre gefüllt wird.

Nach dem Modellexperiment:

- Was habt ihr bei der Durchführung des Versuchs beobachtet?
- Wie erklärt ihr euch die Beobachtungen?
- Das Modellexperiment ist nur ein Abbild der wirklichen Verhältnisse in der Erdatmosphäre. Worin stimmt das Modellexperiment mit der Realität überein? Wo hat das Modell seine Grenzen?
- Durch Verbrennung von Holz, Erdöl, Erdgas und Kohle wird CO₂ freigesetzt. Was passiert, wenn immer mehr CO₂ in die Atmosphäre gelangt?
- Werft noch einmal einen Blick auf eure Zeichnung und Beschreibung des Treibhauseffekts, die ihr zu Beginn der Stunde angefertigt habt. Welche Unterschiede zu eurem jetzigen Wissen stellt ihr fest? Wie unterscheiden sich eure Vorstellungen?

B: Interviewleitfaden

Freie Bemerkungen zur Arbeit mit der Lernumgebung:

- Wie hat dir die Arbeit insgesamt gefallen/was hat dir weniger gut gefallen?
- War die Videokamera störend?
- Wie hilfreich war es, dass ihr zu zweit arbeiten konntet? Wäre es besser gewesen, alleine zu arbeiten oder gar zu dritt?
- War die Anwesenheit des Versuchsleiters für dich hilfreich oder eher störend?

Gezielte Fragen zu ihrem Lernprozess und ihren Lernschwierigkeiten bei der Arbeit mit der Lernumgebung:

- Was war an dem Arbeitsblatt für dich unverständlich, was war nicht nachvollziehbar? (Verständlichkeit) Ist das Experiment für dich überzeugend (im dem Sinne, dass du jetzt sicher bist, dass CO₂ zur Erwärmung der Atmosphäre führt)? (Glaubwürdigkeit)
- Ist das Prinzip, wie der Treibhauseffekt funktioniert (das du jetzt kennengelernt hast), für dich überzeugend? (Glaubwürdigkeit)
- Weißt du noch, was du dir zu Beginn der heutigen Sitzung darüber vorgestellt hast, wie der Treibhauseffekt funktioniert? War es für dich eine Überraschung, dass das nicht stimmt? (Wurde ein kognitiver Konflikt erlebt?)
- Empfindest du es als Widerspruch, dass Sonnenstrahlung durch CO₂ durchgeht, Wärmestrahlung aber nicht? (Wurde ein kognitiver Konflikt erlebt?)
- Warum ist es wichtig, den Treibhauseffekt zu verstehen? Was bringt es dir, wenn du ihn verstehst? (Fruchtbarkeit des Konzepts bzgl. seiner Anwendung)

C: Interviewleitfaden

Fragen zum Testen der Robustheit des Wissens über den Treibhauseffekt:

Lochkonzept

- Was hat das Ozonloch mit dem Treibhauseffekt zu tun?
- Stimmt es, dass die Treibhausgase eine Schicht in der Atmosphäre bilden? Wenn ja, welche Gase?
- Schädigt das CO₂ die Ozonschicht, also dünnt sie z.B. aus oder macht ein Loch rein, oder sind dies eventuell andere Gase, die das tun?

Strahlungsumwandlung und Treibhausgase als Strahlungsfalle

- Haben Abgase aus Autos und Schornsteinen etwas mit dem Treibhauseffekt zu tun?
- Im Internet kann man manchmal lesen: Die Sonnenstrahlen kommen in die Erdatmosphäre und werden an der Erdoberfläche reflektiert (also zurückgeworfen). Stimmt das?
- Können Sonnenstrahlen die Atmosphäre erwärmen?
- Benötigen wir überhaupt CO₂ in der Atmosphäre oder wäre es nicht besser, man würde das Gas entfernen, wenn das möglich wäre?

Anthropogener vs. Natürlicher Treibhauseffekt

- Da das natürliche CO₂ die Atmosphäre erwärmt, müsste vom Menschen verursachtes CO₂ die Erwärmung verstärken. Würdest du dem zustimmen?

Gesprächs- und Interviewleitfäden

Während und nach der Arbeitsphase mit dem Lernmaterial führten die Autoren Gespräche und Interviews mit den VPn durch. In den verschiedenen Phasen kamen unterschiedliche Instrumente zum Einsatz. Nach dem Einsatz des Modellexperiments wurde ein halbstrukturierter Gesprächsleitfaden (t6, Kasten A, S.37) verwendet, damit es bei der Befragung möglich sein würde, sowohl in die Breite als auch in die Tiefe zu gehen und auch spontan Fragen stellen zu können, die in der Situation weitere Informationen über die Vorstellungen der Lernenden hervorbringen würden. Für die Interview-phase (t8, t9) wurden hingegen strukturierte Interviewleitfäden gewählt. Mit dem Leitfaden in Kasten B, S.37 wurden die VPn einzeln zu ihrem Lernprozess bei der Arbeit mit der Lernumgebung befragt. Daran schlossen sich Fragen zu den Bedingungen Verständlichkeit, Glaubwürdigkeit, Unzufriedenheit mit der bisherigen Vorstellung und Fruchtbarkeit der neuen Vorstellung an, die nach POSNER, STRIKE, HEWSON, GERTZOG (1982) und STRIKE, POSNER (1992) für einen Conceptual Change von Bedeutung sind. Anschließend folgte ein strukturiertes Einzelinterview (Kasten C, S.37) mit Fragen, die sich auf die schwierigen, oft mit Fehlvorstellungen behafteten Aspekte des Treibhauseffekt-Konzepts beziehen. Dieses Interview sollte zeigen, wie souverän die VPn mit dem neuen Wissen umgehen können bzw. wie robust das neue Wissen in sachlogischer Hinsicht ist.

4.3 Lernumgebung und Lernmaterial

Die methodische Konzeption der Intervention sieht vor, dass während der ganzen Zeit mit möglichst hoher kognitiven Aktivität gelernt wird. Dazu eignet sich eine Kombination aus kognitiv aktivierenden instruk-

tionalen Methoden des problemlösenden Lernens (nach MAYER 2009 *principled presentation* des zu lernenden Konzepts) und gelenktem entdeckenden Lernens (*guided discovery*), die tiefes Lernen und Verarbeiten fördern (MAYER 2009). Diese Voraussetzungen sind in der Lernumgebung, die in GeoConcepts I zum Einsatz kam (REINFRIED ET AL. 2008, 2010b, 2010c), gegeben. Sie besteht aus einem Arbeitsblatt und einem Modellexperiment, denen lernpsychologische Überlegungen zugrunde liegen, die auf die kognitionspsychologische Didaktik von Hans AEBLI (1983) zurückgehen. Das Lernmaterial bietet Informationen in unterschiedlichen Repräsentationsformaten an. Es soll neues Wissen vermitteln und zum Aufbau bzw. zur Restrukturierung der Vorstellungen der Lernenden über den Treibhauseffekt beitragen. Das dem Lernmaterial zu Grunde liegende instruktionale Modell des Treibhauseffekts bildet das wissenschaftliche Modell hypothetisch und stufengerecht ab mit dem Ziel, naturwissenschaftlichen Laien das Treibhauseffekt-Konzept in seinen Grundzügen begreiflich zu machen. Mit seinen einfachen, verallgemeinernden, visualisierenden und vertrauten Elementen entspricht es den Anforderungen an ein Erklärungsmodell (*explanatory model* nach CLEMENT 1989, 2008), das die Konstruktion einer befriedigenden wissenschaftsnahen Erklärung für das Treibhauseffekt-Konzept und die globale Erwärmung ermöglicht. Erklärungsmodelle sind weniger komplex und/oder abstrakt als wissenschaftliche Modelle. Es sind didaktisch aufbereitete Repräsentationen wissenschaftlicher Modelle, die in Bezug auf das Vorwissen der Lerner und die spezielle Anforderungssituation im Unterricht die Konstruktion mentaler Modelle unterstützen sollen. Der methodische Rahmen der Lernumgebung beinhaltet verschiedene Lernstrategien, die kognitive, sozio-kognitive und metakognitive Prozesse fördern. Konkret sind dies die Verwendung

Wie der Treibhauseffekt funktioniert

- 1.) Jeder kennt den Begriff Treibhauseffekt aus der Zeitung und dem Fernsehen. Dort wird er oft so erklärt:
 Auf die Erde fallende Sonnenstrahlen werden am Erdboden zurückgeworfen (**reflektiert**). Die Strahlen können die Lufthülle (**Atmosphäre**) wegen bestimmter Gase in der Luft (= Treibhausgase) nicht mehr ungehindert verlassen. Die Atmosphäre heizt sich auf - man spricht vom **Treibhauseffekt**.

Aber wie ist es denn möglich, dass Strahlung durch die Atmosphäre zwar herein, aber nicht mehr hinaus gelangen kann? Hat die Atmosphäre etwa ein Loch, durch welches die Sonnenstrahlung herein kann, aber dann sozusagen „in der Falle“ sitzt?

Nein, mit einem Loch hat der Treibhauseffekt nichts zu tun! Und Sonnenstrahlung wird auch nicht einfach am Boden reflektiert!

- 3.) Die Luft enthält das Gas Kohlendioxid (CO₂). Das CO₂ lässt die sichtbare **Sonnenstrahlung** fast ungehindert durch, aber es absorbiert die **Wärmestrahlung** von der Erdoberfläche. Das CO₂ nimmt dadurch Energie auf und gibt diese als Wärmestrahlung wieder an die Luft ab. Dadurch wird die Atmosphäre wärmer.

Das nennt man den **natürlichen Treibhauseffekt**!

Also: **Sonnenstrahlung wird im Boden in Wärmestrahlung umgewandelt. Die Wärmestrahlung wird vom CO₂ zurückgehalten.**

- 2.) Und so funktioniert's wirklich:
 Die Sonnenstrahlung wird am Boden nicht reflektiert! Der Erdboden nimmt die Sonnenstrahlung hingegen auf (= **Absorption**). Dadurch wird er erwärmt. Diese Wärme strahlt er dann wieder nach oben als Wärmestrahlung ab. Der Erdboden nimmt also die Sonnenstrahlung auf (= er **absorbiert** sie) und wandelt sie in Wärmestrahlung um.

Die Sonnenstrahlung wird nicht reflektiert, sondern im Boden umgewandelt!

Das CO₂ in der Luft funktioniert wie ein Filter. Es lässt die Sonnenstrahlung durch, aber die vom Boden ausgehende Wärmestrahlung nicht mehr!

gleichmäßig verfeiltes CO₂ wegrückendes CO₂-Molekül Wärmestrahlung

Sonnenstrahlung Wärmestrahlung

Molekül = Teilchen, das aus mehreren Atomen besteht.

Je mehr CO₂ in die Atmosphäre gelangt, desto mehr Wärmestrahlung wird zurückgehalten - und desto wärmer wird es dadurch auf der Erde. Man spricht von globaler Erwärmung.

von Analogien, die Aufforderung, eigene Annahmen und Überlegungen zu erklären, die Konfrontation der Lernervorstellungen mit korrekter Information zwecks Herbeiführung von kognitiven Dissonanzen, die Demonstration des Modellexperiments mit anschließendem Experimentieren durch die VPn; verschiedene Fragetechniken, das Anregen von reflexiven Diskussionen, die Identifikation, Klärung und das Anzweifeln von Alltagsvorstellungen mit dem Ziel, die mentale Modellbildung zu unterstützen.

Das Arbeitsblatt

Das Arbeitsblatt wurde auf der Basis von AEBLIS Didaktik auf psychologischer Grundlage (1983) entwickelt (vgl. die Ausführungen hierzu in REINFRIED ET AL. 2010b, 2010c). Der Schwerpunkt der kognitionspsychologischen Didaktik Aebli's liegt auf tiefem kognitiven Lernen, das auf verstehensorientierte Wissensbildung und bewegliches und problemlösendes Denken gerichtet ist. Dem Arbeitsblatt (Abb. 1) kommt in der methodischen Konzeption der Intervention somit die Rolle eines kognitiv aktivierenden Lehrtextes zu, mit dem ein lebensnahes Problem aufgeworfen und gelöst wird.²

Modellexperiment

Mit dem einfachen analogen Modellexperiment kann entdeckend gelernt werden. Es stellt den Treibhauseffekt physisch dar, womit Wärmestrahlung erfahrbar wird (Abbildung und Beschreibung s. DEMOEX 2011; REINFRIED ET AL. 2008, 2010b, 2010c). Man kann sie fühlen und am Strahlungsmesser ablesen. Beabsichtigt war außerdem, auch mit dem Modell einen kognitiven Konflikt auszulösen, indem die Opazität von CO₂ gegenüber Wärmestrahlung im Vergleich zu Luft visualisiert wurde (AESCHBACHER, HUBER 1996). Das Modellexperiment soll das Verständnis der Lernenden verbessern und ihre Motivati-

on für das Thema steigern, was sich positiv auf Vorstellungsänderungen auswirken kann (DOLE, SINATRA 1998; VENVILLE, TREAGUST 1996).

4.4 Datenanalyse

Das Analysematerial von den Untersuchungszeitpunkten t1, t3 und t7 (Tab. 1) umfasste insgesamt drei kommentierte Schülerzeichnungen pro VPn. Dazu kam das Videomaterial aus den Gruppenarbeits- und Interviewphasen (t4, t5, t6, t8, t9), das die Verbalisierung verschiedener Denkprozesse enthält. Alle diese Daten gaben Einblick in die lernabhängigen Veränderungen der mentalen Modelle.

Die Videoaufnahmen wurden transkribiert und die Transkripte anschließend nochmals von einem zweiten Forscher genauestens geprüft. Die qualitative Auswertung der Schülerzeichnungen und -texte und die interpretative Analyse der Video- und Interviewtranskripte bildeten die empirische Basis für die Beschreibung der Wissenskonstruktionen und der Lernpfade. Die Analyse erfolgte zunächst für jedes Individuum einzeln. Mittels eines mehrgliedrigen deduktiv-induktiven Verfahrens, basierend auf der strukturierenden Inhaltsanalyse nach MAYRING (2008), erfolgte dann die Analyse der Schülerzeichnungen und -texte und aller Videotranskripte. Der deduktive Aspekt der Analyse bestand darin, dass zunächst alle Daten nach vier Kategorien klassifiziert wurden, die das Treibhauseffekt-Konzept sinnvoll in seinen Grundzügen beschreiben. Es handelt sich um die Kategorien (1) Lochkonzept, (2) Strahlungsumwandlung, (3) Wissen über CO₂ und (4) Zusammenwirken mehrerer Faktoren/generelle Aussagen über den Treibhauseffekt. Die Kategorien beruhen auf Konstrukten, die gängige subjektive mentale Modelle des

Treibhauseffekts abbilden, sowie auf wissenschaftlichen Phänomenen, die für das Verständnis des Treibhauseffektes grundlegend sind (vgl. REINFRIED ET AL. 2010b, 2010c). Das so kategorisierte Material wurde anschließend induktiv auf weitere Kategorien untersucht, wodurch eine fünfte Kategorie mit der Bezeichnung Schichtvorstellung dazukam.

Die kategorisierten mündlichen, zeichnerischen und schriftlichen Aussagen jeder VPn wurden in ihrer zeitlichen Reihenfolge aufgelistet. Diese beginnt damit, dass zuerst das von jeder VPn geäußerte Vorwissen aus dem ganzen Datenmaterial zusammengefasst wurde. Daran anschließend folgte zeitlich geordnet die Auflistung des verschriftlichten und kategorisierten Datenmaterials aus der Interventionsphase und den Interviewphasen (t3 bis t9). Im nächsten Schritt wurde das Vorwissen aller zwölf Probanden verglichen. Es wurde deutlich, dass die von den VPn eingeschlagenen Lernwege maßgeblich von ihrem Vorwissen abhängen, weshalb sich eine Typisierung der Präkonzepte der Lernenden aufdrängte. Die Typisierung diente sowohl der Strukturierung des Datenmaterials als auch der Generierung von Hypothesen über die Entwicklung der Vorstellungsänderungen im Laufe des Lernprozesses. In Abhängigkeit von den so gebildeten Präkonzept-Typen wurden dann die typenspezifischen Lernwege analysiert. Verglichen wurden die Lernwege der Probanden innerhalb jedes Präkonzept-Typus und zwischen den Präkonzept-Typen. Das gesamte Datenmaterial durchlief das Analyseverfahren mehrmals. Die Qualitätssicherung der Daten erfolgte mittels kommunikativer Validierung durch die beiden Autoren (JACOBS, KAWANAKA, STIGLER 1999) unter Hinzuziehung eines unabhängigen Wissenschaftlers. Die Angemessenheit der deduktiv gebildeten Kategorien wurde mittels Inhaltsvalidierung sicher gestellt.³

5 Ergebnisse

Das Ziel dieser Studie ist die Analyse und Rekonstruktion der Wissenskonstruktionsprozesse der VPn mit der lernpsychologischen Lernumgebung unter besonderer Berücksichtigung des Vorwissens der Lernenden. Von besonderem Interesse ist die Frage, ob es typische Verlaufsprofile bei der Entwicklung der mentalen Modelle gibt und wovon diese abhängig sind. Die individuelle Analyse der zwölf Einzelfälle ergibt bei jeder VPn personenspezifisches Vorwissen und auch die beschrittenen Lernwege unterscheiden sich. Durch Fallvergleich und Fallkontrastierung (KELLE, KLUGE 1999) konnten die Einzelfälle zu drei Präkonzept-Typen gruppiert werden, mit denen die Präkonzept-abhängigen Lernwege und typenspezifischen Vorstellungsänderungsprozesse untersucht werden konnten. Typ 1 wird mit der Bezeichnung ‚Einzelne Wissenselemente‘ umschrieben, Typ 2 mit ‚Reduzierter Wärme-Output‘ und Typ 3 mit ‚Zunehmender Wärme-Input‘. Diese Bezeichnungen sind als Klassifizierungen zu betrachten, die die Hauptunterschiede der Typen beschreiben, was jedoch nicht heißt, dass alle unter einem Typus zusammengefassten Individuen das genau gleiche mentale Modell haben. Die externalisierten individuellen initialen mentalen Modelle bilden vielmehr die in der Situation konstruierten Vorstellungen der VPn ab, die aus deren intuitivem und deklarativem Wissen und ihre Erfahrungen, die durch organisierende kognitive Schemata verbunden wurden, bestehen.

Mit dieser Untersuchung wird nicht der Anspruch erhoben, alle möglicherweise vorkommenden Typvarianten darzustellen. Auch sind die mittels der Typisierung gebildeten Präkonzept-Typen und die typenspezifischen Lernwege in Bezug auf eine Generalisierung hypothetischer Natur.

5.1 Beschreibung der Präkonzept-Typen

Die Analyse der Daten ergab, dass kein Lernender über wissenschaftsnahes Vorwissen hinsichtlich der beiden für den Treibhauseffekt bedeutsamen Prozesse der Strahlungsumwandlung und der strahlungsaktiven Wirkung des Gases CO_2 gegenüber Strahlung unterschiedlicher Wellenlängen verfügt. Hinsichtlich erfahrungsbasierter Schemata, wie z.B. „*Sonnenstrahlen sind warm*“ (vgl. auch WISER 1986), „*Sonnenstrahlen werden (grundsätzlich) an der Erdoberfläche reflektiert*“, „*Abgase (zu denen auch das CO_2 gezählt wird) können in der Atmosphäre eine Schicht bilden*“, oder „*Wärme ist eine substanzartige Entität, die man einschließen und weiterleiten kann*“ (vgl. CHI 2008, S. 67ff; WISER, AMIN 2001) unterscheiden sich die Lernenden kaum. Entscheidende Unterschiede zwischen den VPn ergeben sich jedoch hinsichtlich ihrer Gesamtsicht auf das Treibhauseffekt-Konzept, die im Folgenden genauer erläutert werden.

5.1.1 Präkonzept-Typ 1: Einzelne Wissenselemente

Zu diesem Typus passen fünf VPn (u.a. VPn A2, die als Typbeispiel in Kap. 5.2.1 genauer beschrieben wird). Ihre Ideen vom Treibhauseffekt bestehen aus einzelnen Wissenselementen und -fragmenten und sind folglich sehr unterschiedlich. Die VPn stellen sich darunter zum Beispiel vor, dass der Treibhauseffekt etwas mit einem Glastreibhaus zu tun habe oder dass die Ozonschicht die Erde vor UV-Strahlung schütze, dass Abgase und Verbrennung zu mehr CO_2 in der Luft führe und dass es wegen der Abholzung von Bäumen weniger Schatten gebe. Eine VPn assoziiert mit dem Treibhauseffekt Erdplatten, die auf

Magma treiben. Alle VPn zeigen jedoch keinerlei Bezüge zu einem irgendwie gearbeteten Erwärmungseffekt der Atmosphäre. Ihr gemeinsamer Nenner ist der, dass ihre Vorstellungen nur aus mehr oder weniger zusammenhangslosen Ideen bestehen. Im Interview sagen die Lernenden dieser Gruppe später dann auch, dass sie nicht wussten, was der Treibhauseffekt sei und dass sie in der Vorerhebung (t1) spontan Vermutungen darüber angestellt haben, was mit dem Treibhauseffekt gemeint sein könnte. Bei der zeichnerischen und schriftlichen Darstellung ihrer Präkonzepte versuchen die VPn unterschiedliche Elemente, die sie teilweise *ad hoc* mit dem Begriff Treibhauseffekt assoziiert und teilweise vermutlich schon einmal in Verbindung mit Umweltproblemen gehört haben, zusammenzubringen, ohne dass ein Geschehen abgebildet wird, das erklären kann, weshalb es zu einer Erwärmung der Atmosphäre kommt. Nach der Arbeit mit dem Arbeitsblatt wird in den Schüleräußerungen ein Verständnis für die Abstrahlung von Wärmestrahlung von der Erdoberfläche sichtbar (t3). Am Schluss der Arbeit mit der Lernumgebung wird die Strahlungsumwandlung von den meisten Lernenden so wiedergegeben, wie sie in der Lernmaterial vermittelt wird (t6). Beim Verständnis der Selektivität von CO_2 , also der Eigenschaft von CO_2 , Sonnenstrahlung durchzulassen, nicht aber Wärmestrahlung, kommen sie jedoch unterschiedlich weit. Die Unterschiede reichen von Vorstellungen, dass CO_2 eine Ausstrahlungsbarriere bildet, bis zum korrekten Verständnis von CO_2 als Wärmestrahlungsabsorber und -emittent, wie im Arbeitsblatt beschrieben. Der Lernweg der VPn folgt i.d.R. den in der Lernumgebung vorgegebenen Schritten: Zunächst wird die Strahlungsumwandlung gelernt, dann verstehen sie in unterschiedlicher Tiefe die Wirkung von CO_2 .

5.1.2 Präkonzept-Typ 2: Reduzierter Wärme-Output

Zu diesem Typus gehören drei VPn (u.a. Typbeispiel VPn A5 in Kap. 5.2.2). VPn mit diesem Präkonzept-Typ gehen von einem Schichtmodell aus, in welchem Strahlung durch eine Schicht (Ozonschicht) in die Erdatmosphäre hinein, jedoch nicht mehr hinaus gelangt. Die initialen mentalen Modelle beinhalten schon wesentliches Fakten- und Zusammenhangswissen über den Treibhauseffekt, wie z.B. das Konzept der Abstrahlung von Strahlung von der Erdoberfläche und das Zurückhalten von Strahlung in der Erdatmosphäre. Wissen über die Strahlungsumwandlung und Selektivität fehlt jedoch. Ein aufbauender Lernweg von der Strahlungsumwandlung zur Wirkung des CO₂ ist aufgrund des Vorwissens gut möglich, da geeignete Verstehensmuster bereits vorhanden sind und nur noch durch wissenschaftlich korrekteres Wissen präzisiert werden müssen. Das Präkonzept der reduzierten Wärmeausstrahlung ruft buchstäblich nach Erklärungen, die ihm Kohärenz verleihen. Die Strahlungsumwandlung und die Selektivität von CO₂ können daher ohne grosse Umstellungen des Gesamtkonzeptes in das initiale mentale Modell assimiliert werden. Der Lernweg verläuft so, dass schon mit dem Arbeitsblatt das Prinzip der Strahlungsumwandlung und die Selektivität von CO₂ sehr gut verstanden werden, inklusiv des Detailwissens über die Absorption und Emission von Wärmestrahlung durch CO₂.

5.1.3 Präkonzept-Typ 3: Zunehmender Wärme-Input

Diesem Typus konnten vier VPn (u.a. Typbeispiel VPn B1 in Kap. 5.2.3) zugeordnet werden. Ihre initialen mentalen Modelle weisen ebenso wie jene des Typs 2 ein differenzierteres Fakten- und Zusammenhangs-

wissen auf. Sie zeichnen sich aber dadurch aus, dass für die Erwärmung der Atmosphäre eine vermehrte oder stärkere Sonneneinstrahlung verantwortlich gemacht wird. Nach der Arbeit mit dem Arbeitsblatt (t3) haben die Lernenden zwar eine Vorstellung davon, dass Strahlung von der Erdoberfläche abgestrahlt wird, sie haben aber Probleme mit dem Verständnis der Strahlungsumwandlung. Es fällt ihnen schwer, ihr Schema ‚Wärmestrahlung ist gleich Sonnenstrahlung‘ infrage zu stellen. Beim Lernen ergeben sich offensichtlich Widersprüche zwischen dem Präkonzept der zunehmenden Wärmezufuhr in die Atmosphäre und der im Arbeitsblatt dargelegten, wissenschaftsnahen Erklärung des Treibhauseffekts. Sie verstehen prinzipiell, dass CO₂ etwas rein, aber nicht wieder raus lässt und konstruieren zuerst einmal eine CO₂-Schicht, die wie ein Einbahnstraßen-Hindernis wirkt, wonach Sonnenstrahlung durchgelassen, von der Erde abgehende Strahlung jeglicher Art aber zurückgehalten wird. Die Selektivität von CO₂ wird also nur in der Funktion einer Barriere begriffen. Der Lernweg von VPn des Präkonzept-Typs 3 verläuft so, dass zuallererst ein Konzeptwechsel vom zunehmenden Wärme-Input zum reduzierten Wärme-Output erfolgt. Die in sich subjektiv kohärenten Präkonzepte werden mit diesem Lernschritt zunächst einmal in nicht-kohärente Synthesemodelle überführt, die nicht erklären können, warum Sonnenstrahlung durch eine Schicht in die Atmosphäre hineinkommt, aber nicht mehr hinaus kann. Erst danach wird die Strahlungsumwandlung in die Alltagsvorstellung integriert. Ein Verständnis der selektiven Wirkung von CO₂, wie sie im Arbeitsmaterial erklärt ist, kann anschließend unter den gegebenen Bedingungen (begrenzte Zeit, Struktur der Lernumgebung) nicht mehr erreicht werden und es bleibt bei der Barriere-Vorstellung von CO₂. Das Besondere dieses Typus besteht also darin, dass ein Lernweg eingeschlagen wurde,

der umgekehrt zu dem durch die Lernumgebung nahegelegten Weg von der Strahlungsumwandlung zur Wärme-rückhaltenden Wirkung von CO₂ verläuft. Das Konzept des reduzierten Wärme-Outputs stellt also offensichtlich eine Art übergeordnetes Konzept des Treibhauseffekts dar, das zuerst begriffen werden muss, bevor die ihm zugrunde liegenden physikalischen Prinzipien (Strahlungsumwandlung und Selektivität von CO₂) verstanden werden können.

5.2 Beschreibung der typenspezifischen Lernpfade

Hierfür wurden repräsentative Fallbeispiele ausgewählt, welche die Charakteristika des Typus gut repräsentieren. Die Wahl fiel auf drei VPn (A2, A5, und B1, alle männlich, 13 Jahre alt), deren gezeichnete und beschriebene Vorstellungen auf den ersten Blick ähnlich aussehen. Sie haben alle eine Schichtvorstellung, die dadurch charakterisiert ist, dass die Erde von der Ozonschicht, die verschiedene Schutzfunktionen ausübt, umgeben ist. Man könnte vermuten, dass diese VPn aufgrund ihres ähnlichen erscheinenden Vorwissens alle den gleichen Lernweg einschlagen würden. Die detaillierte Analyse hat jedoch ergeben, dass ihre Präkonzepte fundamentale Unterschiede aufweisen und sich typenspezifisch verändern. VPn A2 wird exemplarisch als Beispiel für den Typus ‚Einzelne Wissens-elemente‘ dargestellt, VPn A5 für den Typus ‚Reduzierter Wärme-Output‘ und VPn B1 für den Typus ‚Zunehmender Wärme-Input‘.

5.2.1 Lernpfad von Schüler A2 – Typus Einzelne Wissens-elemente

In der Vorerhebung vermutet VPn A2, dass mit dem Treibhauseffekt gemeint ist, dass die Ozonschicht die Erde vor UV-Strahlung

schützt. Mehr Wissen äußert er dazu nicht. Nach der Arbeit mit dem Arbeitsblatt gibt er in seiner zweiten Zeichnung (t3) eine korrekte Darstellung der Umwandlung von Sonnenstrahlung in Wärmestrahlung wieder. Korrekt dargestellt ist auch, dass als Pünktchen gezeichnete CO₂-Moleküle Wärmestrahlung in der Atmosphäre zurückhalten, indem sie von der Erde abgestrahlte Wärmestrahlung absorbieren und wieder abgeben. In der Legende zu dieser Zeichnung schreibt er: *Die Sonnenstrahlen treffen auf den Boden, dort werden sie in Wärmestrahlung umgewandelt. Ein paar davon [gemeint sind: Wärmestrahlung]⁴ sollten wieder aus der Atmosphäre gehen, aber das überflüssige CO₂ [gemeint ist: vom Menschen produziertes CO₂] hält die Wärmestrahlung davon ab (= globale Erwärmung).* Zur selektiven Durchlässigkeit von CO₂ äußert er sich nicht explizit, was allerdings nicht heißen muss, dass er sich dieses Sachverhalts nicht bewusst ist. A2 hat nach dem Studium der Arbeitsblätter ein recht kohärentes Konzept, welches den Treibhauseffekt erklären kann. Über den zeitlichen Ablauf des Lernprozesses gesehen, scheint A2 sich die Absorption und Emission von Wärmestrahlung durch das CO₂ während der Demonstration des Modellexperiments und bei dessen Besprechung (t5, t6) genauer erschlossen zu haben. In der Legende zur dritten Zeichnung (t7) schreibt er: *Sonnenstrahlen kommen auf die Erde. Dort werden sie umgewandelt in Wärmestrahlung; die werden dann von dem CO₂ aufgenommen und wieder ausgestrahlt (als Wärme).* Im Einzelinterview (t9) macht er seine Überlegungen zu diesem Umstand explizit (Int. = Interviewerin/Interviewer):

Int.: Empfindest du es als einen Gegensatz, dass die Sonnenstrahlung durch das CO₂ hindurch geht, die Wärmestrahlung aber nicht?

A2: Ja, schon ein bisschen.

Int.: Wie könnte man sich das erklären?

A2: Irgendwie sind die Sonnenstrahlen für das Molekül nicht interessant. Es [das Molekül] zieht die Wärme an.

Im Interview zeigt sich auch, wie er die komplexe Wirkungsweise der Absorption und Emission von Wärmestrahlung durch CO₂ verstanden hat. Auf die Frage, wie er den Wirkungsmechanismus des CO₂ einer jüngeren Person, z. B. einem Geschwister, erkläre, sagt

A2: ..., dass die Sonnenstrahlen, die hinein-kommen, zu Wärmestrahlen am Boden umgewandelt werden, nachher von einem CO₂-Molekül aufgefangen werden und - wie eine Heizung - das Molekül wie eine Heizung ist und heizt.

A2 assoziiert die Wirkung des CO₂ mit der Wirkung der Heizung, eine Analogie, die für ihn mit Erfahrungen verknüpft ist. Im fokussierten Einzelinterview (t8) bezeichnet A2 das Konzept des Treibhauseffekts, so wie es in den Lernmaterialien vermittelt wird, als verständlich und plausibel. Beim Arbeitsblatt fand er gut, dass zuerst eine Fehlvorstellung thematisiert und diese dann richtiggestellt wurde. Beim Modellexperiment hat ihn beeindruckt, wie die Wirkungsweise des CO₂ demonstriert wurde. Er findet es wichtig, den Treibhauseffekt zu verstehen, damit man gewillt sei, weniger CO₂ zu produzieren und auf den öffentlichen Verkehr umzusteigen. Auf die Frage des Interviewers, ob es für ihn eine Überraschung war, dass der Treibhauseffekt anders ist, als er es sich ursprünglich vorgestellt habe, zuckt A2 mit den Schultern, schmunzelt und sagt mit einer gewissen Verlegenheit:

A2: Ja, es war einfach ein Lernen. Ich habe zur Kenntnis genommen, dass meine Vorstellung falsch ist und habe dann das Richtige richtig gelernt. Ich hät-

te [zu Beginn der Arbeitsphase] nicht gedacht, dass das Ozonloch nicht viel damit [mit dem Treibhauseffekt] zu tun hat.

Aus seiner Antwort kann geschlossen werden, dass seine Erwartung hinsichtlich der Erklärung, was der Treibhauseffekt ist, nicht erfüllt wurde und eine kognitive Dissonanz entstanden ist. Der wahrgenommene Widerspruch zwischen eigener Überzeugung und dargebotener Information wird jedoch ein wenig heruntergespielt, weil kognitive Dissonanzen als unangenehm empfunden werden. Im Abschlussinterview mit den Sondierungsfragen (t9) erweist sich sein Wissen als sehr robust.

5.2.2 Lernpfad von Schüler A5 – Typus Reduzierter Wärme-Output

Schüler A5 stellt in seiner Zeichnung in der Vorerhebung eine Schicht dar, welche die Atmosphäre nach außen abgrenzt, und bezeichnet sie als Ozonschicht. Er unterscheidet nicht zwischen Sonnen- und Wärmestrahlung, sondern verwendet, wie alle VPn in dieser Studie, beide Strahlungsarten synonym. Dies kommt in der Legende zu der Zeichnung zum Ausdruck: *Sonnenstrahlen (Wärme) können nicht fliehen*. Er geht davon aus, dass die Erwärmung der Erdatmosphäre darauf zurückzuführen ist, dass die einmal eingefallene warme Strahlung die Atmosphäre nicht mehr in Richtung Weltraum verlassen kann: *Die Sonnenstrahlen können durch die Ozonschicht hindurch, doch die Wärme kann nicht wieder raus, wie in einem Treibhaus*. A5 weiß, dass die auf der Erdoberfläche auftreffende Sonnenstrahlung wieder abgestrahlt wird, kennt aber die Strahlungsumwandlung noch nicht, sondern denkt an eine Reflexion. Eine Schicht aus Ozon wird als Stauer der ausfallenden Sonnenstrahlung gesehen, die einfallende Sonnenstrah-

lung kann jedoch ungehindert eindringen. Es kommt zu einer Art Hitzestau, in dem die Sonnenstrahlen, sprich die Wärme, zwischen Erdoberfläche und Ozonschicht gefangen bleiben. Warum das so ist, wird nicht erklärt. VPn mit diesem Präkonzept-Typ Reduzierter Wärme-Output sind somit der wissenschaftlichen Vorstellung über den Treibhauseffekt näher als VPn mit den anderen typenspezifischen Vorstellungen. Ihre mentalen Modelle sind allerdings nicht kohärent, da unklar bleibt, warum Sonnenstrahlung (die mit Wärme assoziiert wird) durch die Ozonschicht hindurch kommt, nach der Rückstrahlung von der Erdoberfläche aber darunter gefangen bleibt. Die zweite Zeichnung, die A5 direkt im Anschluss an die Bearbeitung des Arbeitsblattes angefertigt hat (t3), zeigt, dass er das Konzept der Strahlungsumwandlung assimiliert hat. Er zeichnet Sonnenstrahlen, die durch eine Schicht (die Ozonschicht!) zur Erdoberfläche gelangen, dort absorbiert und als Wärmestrahlung wieder abgegeben werden. In Bezug auf die Selektivität von CO_2 hat er also ein interessantes Synthesemodell aus seinem Präkonzept und den neuen Informationen konstruiert. Er erwähnt das CO_2 in seiner Zeichnung und seinem Text auch nicht, sondern schreibt, dass die Ozonschicht den Austritt der Wärmestrahlung aus der Atmosphäre verhindert: *Die Sonnenstrahlen treten ohne großen Widerstand durch die Ozonschicht ein. Dann treffen sie auf die Erde. Die Erde wandelt die Sonnenstrahlen in Wärmestrahlen um, und die Wärmestrahlen können nicht mehr durch die Ozonschicht fliehen. So erwärmt sich die Erdatmosphäre.* Er bleibt auch bei dieser Aussage, als er vom Interviewer aufgefordert wird zu erklären, wie er die Erläuterungen im Arbeitsblatt verstanden hat (t4):

A5: ... dass die Sonnenstrahlen durch die Ozonschicht hereinkommen können und in der Erde umgewandelt wer-

den zu Wärmestrahlen und diese aber nicht mehr durch die Ozonschicht hindurch raus können und so wird es wärmer.

Int.: Wie kommst du auf die Idee, dass die Ozonschicht der Grund für die Stauung der Wärmestrahlung ist?

A5: Ja, wegen dem CO_2 , das Wärme aufnimmt und wieder abgibt, an die Umgebung.

Er differenziert also nicht zwischen CO_2 und der Ozonschicht, deren Unterschied er auch noch nicht kennen kann, aber es ist ihm klar geworden, dass CO_2 nicht einfach Wärme abblockt, sondern aufnimmt und wieder abgibt. Nachdem er vom Interviewer dazu ermutigt wird, noch einmal in das Arbeitsblatt zu schauen, stellt er überrascht fest: Es ist nicht die Ozonschicht, sondern das CO_2 !

Bei der Erläuterung des Modellexperiments (t5) zeigt sich, dass A5 die dort verwendeten Analogien und deren Bezug zum wissenschaftlichen Treibhausmodell versteht. Er kann sich die Ergebnisse des Experiments im Voraus aufgrund seines Wissens über die Wirkweise von CO_2 hypothetisch erschließen. In seiner 3. Zeichnung, die er nach der Arbeit mit dem Modellexperiment anfertigt (t7), bringt er zum Ausdruck, dass CO_2 nichts mit der Ozonschicht zu tun hat und das Gas aufgrund seiner Selektivität eine wärmerückhaltende Wirkung besitzt. Er zeichnet CO_2 -Moleküle in Form von Pünktchen, die in der Erdatmosphäre verteilt sind, und schreibt dazu: *Die Sonnenstrahlen können durch das CO_2 hindurch und in der Erde werden sie zu Wärmestrahlen umgewandelt. Das [die Wärmestrahlen] kann nicht fliehen und wird vom CO_2 aufgenommen.* A5 hat schon früh im Lernprozess die wichtigsten Prinzipien des Treibhauseffektprinzips begriffen: (1) die Strahlungsumwandlung und (2) die Tatsache, dass CO_2 , welches er

zu Beginn mit der Ozonschicht gleichsetzt, Wärmestrahlung absorbiert und emittiert und (3) dass dies zu einer Erwärmung der Erdatmosphäre führt. Im Schlussinterview (t9) erweist sich sein Wissen denn auch als robust. Auf die Frage, ob die Erdatmosphäre durch Sonnenstrahlung erwärmt wird, antwortete er:

A5: Sonnenstrahlen glaube ich nicht. Erst wenn es [ein Sonnenstrahl] auf die Erde trifft und danach Wärmestrahlung daraus wird.

Er weiß im Schlussinterview auch, dass das CO₂ nichts mit der Ozonschicht zu tun hat und dass das Gas für den natürlichen und anthropogenen Treibhauseffekt verantwortlich ist, weil es Wärmestrahlung absorbiert. Das Konzept des Treibhauseffektes ist für ihn, so wie es im Lernmaterial erklärt wird, verständlich und plausibel. Im Hinblick auf die in der Schweiz üblichen Volksabstimmungen findet er es wichtig, den Treibhauseffekt zu verstehen, damit man begreift, was in den Medien darüber berichtet wird und worum es geht, wenn von der Bekämpfung des anthropogen verursachten Klimawandels die Rede ist. Er gibt an, einen kognitiven Konflikt erlebt zu haben.

5.2.3 Lernpfad von Schüler B1 – Typus Zunehmender Wärme-Input

B1 erklärt zum Zeitpunkt der Vorerhebung (t1) (vgl. Abb. 2): Die Erdatmosphäre ist von einer Ozonschicht umgeben, die durch Abgase (Autoabgase, CO₂) beschädigt ist und deshalb für Strahlung durchlässiger wird, was zu einer Erwärmung der Erdatmosphäre führt. Er schreibt: *Abgase zerstören die Ozonschicht, dadurch können mehr UV-Strahlen auf die Erde kommen = es wird wärmer!* Nach dem Studium des Arbeitsblatts (t3) hat B1 verstanden, dass

CO₂ etwas in die Atmosphäre hinein lässt, nicht aber hinaus und sogar Wärme absorbiert. Eine Konzeptveränderung von ‚Zunehmendem Wärmeinput‘ zu ‚Reduziertem Wärme-Output‘ hat stattgefunden. Der Schüler hat jedoch den relevanten Prozess der Umwandlung von Licht in Wärmestrahlung nicht oder nur teilweise verstanden. Zwar konnte er dem Arbeitsblatt entnehmen, dass irgend etwas mit der Sonnenstrahlung passiert, Probleme bereitete ihm aber die neue Information, dass es sich bei Sonnenstrahlung und Wärmestrahlung um unterschiedliche Strahlungsarten handelt und dass Licht in Wärmestrahlung umgewandelt werden kann. Dies zeigt sich deutlich bei genauerer Betrachtung der schriftlichen Schüleraussage: *Die Sonnenstrahlen fallen auf die Erde. Der Boden speichert die Strahlen und es findet ein Wärmeaustausch statt und die [vom Boden kommenden] warmen Strahlen können nicht mehr hinaus ins All.* Die erfahrungsbasierte Idee, dass Sonnenstrahlen Wärme mitführen, kann nicht zugunsten der abstrakten Information der Strahlungsumwandlung überwunden werden. Er interpretiert vielmehr die Aussage im Arbeitsblatt, dass der Boden Sonnenstrahlung aufnimmt und in Wärmestrahlung umwandelt, dahingehend, dass zwischen den Sonnenstrahlen und dem Boden ein Wärmeaustausch oder eine Vermischung stattfindet und die so ‚wärmeausgetauschte‘ Strahlung vom Boden wieder abgegeben wird. Wie er sich diesen Prozess vorstellt und ob er z.B. meint, die Sonnenstrahlung verändere durch den Wärmeaustausch mit dem Boden ihre Eigenschaften, bleibt unklar. Hinsichtlich der Wirkung des CO₂ verwendet er die Decken-Analogie und betont den Hindernischarakter von CO₂. Die im Boden ‚ausgetauschten‘ Wärmestrahlen werden im Gegensatz zu den einfallenden Strahlen vom CO₂ aufgehalten: ... *dann gehen die Sonnenstrahlen rein und wieder aus*

dem Boden raus und das CO₂ wirkt wie so eine Decke, also hält die Sonnenstrahlen zurück und dann können sie nicht mehr raus. Und das heißt jetzt, wenn wir immer mehr CO₂ produzieren, dann wird es immer wärmer auf der Welt, weil das CO₂ dann so dicht wird, dass gar keine Sonnenstrahlen mehr raus können.

Auch nach der Demonstration des Modellexperiments sind seine Vorstellungen bezüglich der Umwandlung von Sonnenstrahlung in Wärmestrahlung im Prinzip dieselben wie zu t3. Er erklärt zu t6:

B1: Die Sonnenstrahlen gehen in den Boden. Also ja, und dann findet dort im Boden drin Wärmeaustausch statt.

Diesen Wärmeaustausch erklärt er so:

B1: Die Sonnenstrahlen gehen in den Boden und dort wird dann das irgendwie so ein Gemisch und dann steigt die Wärme wieder auf.

Erst ganz am Schluss der Arbeitsphase scheint ihm klar zu werden, dass Son-

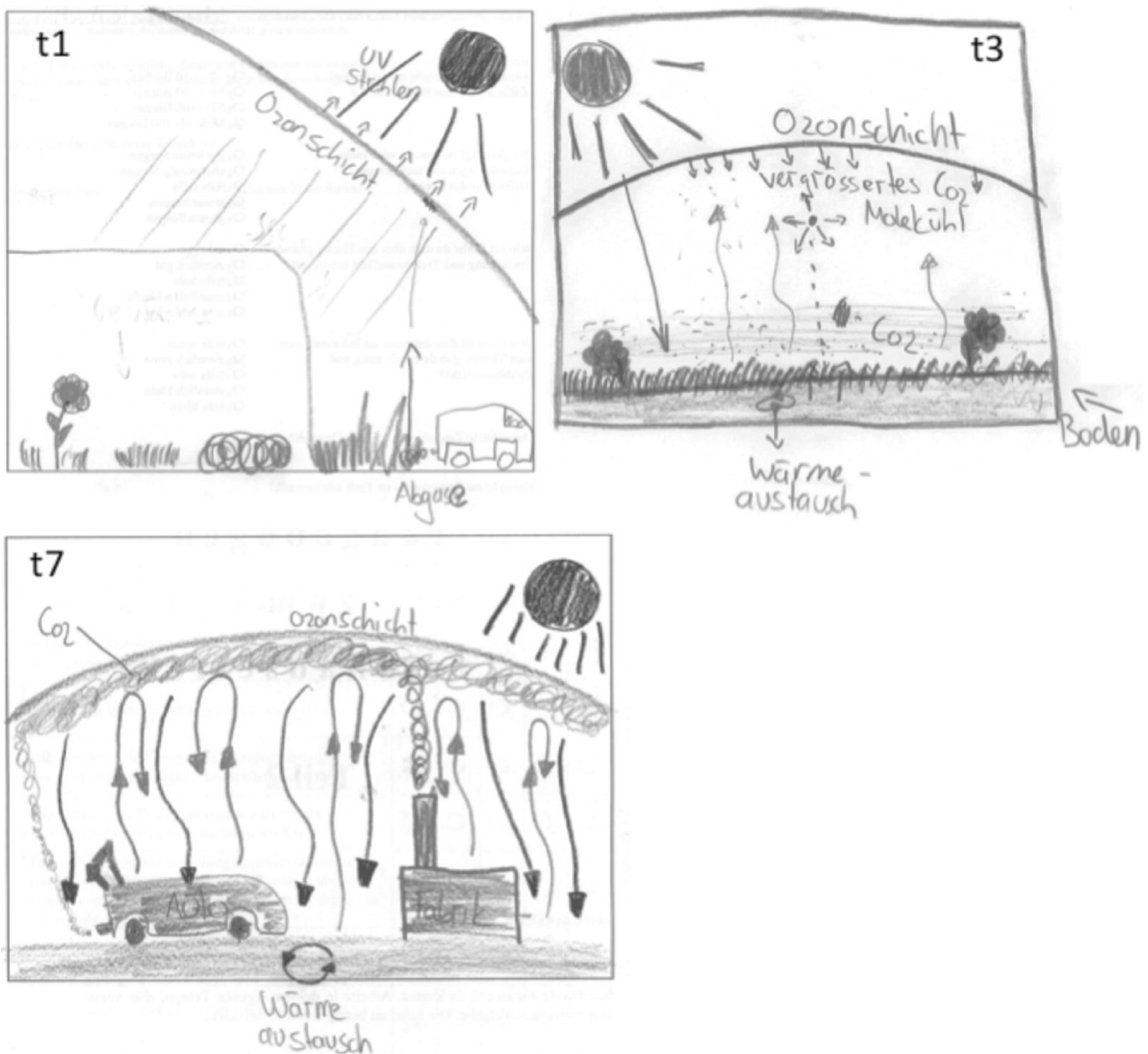


Abb. 2: Zeichnungen von Schüler B1 vor der Intervention (t1), unmittelbar nach dem Studium des Arbeitsblattes (t3) und nach der Intervention (t7)

nen- und Wärmestrahlen nicht identisch sind. In der Legende zur 3. Zeichnung (t7) schreibt er explizit, dass Wärmestrahlen im Boden generiert und abgestrahlt werden und bleibt auch bis zum Schlussinterview (t9) bei diesen Aussagen. Trotz mehrfachem Nachfragen kann jedoch nicht genauerer geklärt werden, was er zuvor unter dem Begriff Wärmeaustausch verstanden hat.

Was die selektive Wirkung von CO₂ angeht, so haben sich die Vorstellungen von B1 durch das Modellexperiment und die anschließende Diskussion nicht fundamental verändert. Von der Schichtvorstellung kann er sich nicht lösen. Sie kommt auch in seiner 3. Zeichnung (t7) in Form der Ozonschicht noch vor. Die Schichtvorstellung entspricht offenbar einem vertrauten Schema, das spontan aktiviert wird, da es am ehesten zu einer plausiblen Erklärung führt. Am Ende der Arbeitsphase verfügt er über ein Synthesemodell, in welchem sich unter der Ozonschicht das anthropogen verursachte CO₂ als dicke, zusätzliche Schicht angesammelt hat (t7). Durch die so verstärkte Schicht kommen Sonnenstrahlen in die Atmosphäre, treffen auf dem Boden auf, werden durch Wärmeaustausch im Boden in Wärmestrahlung umgewandelt und wieder abgestrahlt. Die Wärmestrahlen werden an dieser CO₂-Schicht wieder zur Erdoberfläche zurückgeworfen.

Im Interview (t8) erklärt B1, dass das Konzept des Treibhauseffekts, so wie es im Lernmaterial dargestellt wird, für ihn verständlich und plausibel ist. Wissen über den Treibhauseffekt findet er wichtig, damit man sich bewusst darüber wird, was es für das Klima bedeutet, wenn die Menschheit so weitermacht. Einen kognitiven Konflikt hat er nicht bewusst empfunden. Im Interview mit den Sondierungsfragen zeigt sich, dass sein Wissen nicht sehr robust ist:

Int.: Schädigt das CO₂ die Ozonschicht, also dünnt es sie zum Beispiel aus oder macht es ein Loch rein?

B1: Nein, also das CO₂ frisst, glaube ich, schon nicht Löcher hinein, aber es macht sie dünner.

Int.: Können Sonnenstrahlen die Erdatmosphäre erwärmen?

B1: Das weiß ich nicht, das weiß ich nicht.

Auch wenn die 3. Zeichnung (t7) von B1 den Eindruck erweckt, als ob er seine vorunterrichtlichen Vorstellungen verändert habe, enthüllt das Interview, dass er die Lochvorstellung nicht wirklich aufgegeben, sondern nur unterdrückt hat. Sie tritt in Form der schichtausdünnenden Wirkung des CO₂ wieder zu Tage. Der Grad der Verankerung der Lochvorstellung in der kognitiven Struktur ist nach der Intervention nach wie vor hoch und auch zur Strahlungsumwandlung konnte kein abrufbares Wissen gespeichert werden. Es kann deshalb vermutet werden, dass auch die Konzeptveränderung vom zunehmenden Wärme-Input zum reduzierten Wärme-Output nicht sehr beständig ist. Die Information, dass CO₂-Gas Wärmestrahlung absorbiert und emittiert, wurde gar nicht aufgenommen. Hingegen fügt B1 das CO₂ an seine vorhandene Schichtvorstellung an, wodurch das CO₂ zum Schichtverstärker wird. Das Ergebnis des Lernprozesses von B1 zeigt, dass seine Fehlkonzeptionen während der Informationsverarbeitung als fehlerhaftes Assimilationsschema wirkten. Dies führte dazu, dass nur diejenigen Elemente rezipiert werden konnten, welche zum sachlich falschen mentalen Modell passten (vgl. AESCHBACHER ET AL. 2001). Bei verzerrter Informationsselektion kann das richtige Situationsmodell folglich nicht aufgebaut werden und es entsteht auch keine kognitive Dissonanz. Dies erklärt, warum er offenbar keinen kognitiven Konflikt empfunden hat.

6 Diskussion

Die Analyse der typenspezifischen Lernwege der drei Präkonzept-Typen deutet auf verschiedene Ausprägungen der Prozesse der konzeptuellen Veränderungen hin. Die Lernenden des Typs 1 (Einzeln-Wissenselemente), die nur sehr wenig Treibhauseffekt-relevantes Vorwissen haben, erzielen einen beachtlichen Wissenszuwachs. Ihre mentalen Modelle kommen dem mit der Lernumgebung vermittelten instruktionalen Modell recht nahe, auch wenn das neu gelernte Wissen nicht immer zu fehlerfreien mentalen Modellen führt. Ihre Lernpfade entsprechen dem im Lernmaterial vorgeschlagenen Lernweg – zuerst Erlernen der Strahlungsumwandlung, dann der Selektivität des CO₂. Auf der Ebene ihrer erfahrungsbasierten Schemata, wie z.B. der Vorstellung, dass Sonnenstrahlen warm sind, an Objekten reflektiert werden oder dass Gase (hier: CO₂) in der Atmosphäre eine Schicht bilden, gelangen den Lernenden Vorstellungsänderungen in dem Sinne, dass ihr Vorwissen entsprechend der neuen Informationen akkommodiert wird. Sie erweitern also ihr Vorwissen und strukturieren es um. Das übergeordnete Konzept des ‚Reduzierter Wärme-Output‘ war initial nicht vorhanden und musste neu konstruiert werden.

Die VPn des Typs 2 (Reduzierter Wärme-Output) haben ein großes themenspezifisches und relationales Vorwissen über den Treibhauseffekt, das gewisse strukturelle Ähnlichkeiten zum instruktionalen Modell aufweist. Diese Ähnlichkeiten ermöglichen ihnen einen großen Wissenszuwachs und ein tiefer gehendes Verständnis. Ihre elaborierten initialen mentalen Modelle verändern sich durch die Konfrontation mit dem Fachwissen so wie im Lernmaterial vorgeschlagen. Sie erweitern ihre erfahrungsbasierten Schemata im Verlauf des Lernprozesses und akkommodieren ihr Vorwissen

entsprechend. Ihre mentalen Modelle werden restrukturiert und reinterpretiert und werden dadurch kohärenter. Die strukturellen Ähnlichkeiten ihrer Vorstellungen mit dem instruktionalen Modell erleichtert ihnen den Conceptual Change.

In das Vorwissen der VPn des Typs 3 (Zunehmender Wärme-Input) können die neuen Informationen nicht so einfach assimiliert werden. Hinderlich ist dabei ganz besonders die Alltagstheorie, dass die Erwärmung der Erdatmosphäre auf eine verstärkte Zufuhr von Wärme zurückzuführen sei. Um den Treibhauseffekt zu verstehen, müssen diese Lernenden eine radikal andere ‚Weltsicht‘ konstruieren. Das Beispiel der VPn B1 zeigt, dass es keine einfache Sache ist, einen Menschen zur Übernahme einer neuen ‚Weltsicht‘ zu bringen, wenn diese seinen bisherigen Alltagstheorien grundlegend zuwiderläuft. Die bloße Vermittlung des Wissens, dass Sonnenstrahlung und Wärmestrahlung nicht dasselbe sind, reicht in diesem Fall nicht aus, um Lernende zu dessen Übernahme zu bewegen, was der Schüler B1 eindrücklich demonstriert hat. Er hat die vermittelten Informationen so umgedeutet, dass er die für ihn *implizit* warmen Sonnenstrahlen durch Wärmeaustausch mit der Erde *explizit* zu warmen Sonnenstrahlen verändert hat, die dadurch weiter zu seiner etablierten Alltagstheorie passen. Die Lochvorstellung ist ebenfalls noch vorhanden, auch wenn er diese erst äußert, wenn prüfend nachgefragt wird. Die Mühe, welche die VPn des Typs 3 mit dem Konzept der Strahlungsumwandlung im Lernprozess bekunden, zeigt, dass selbstgenerierte und auf eigenen Erfahrungen beruhende Erklärungen für Phänomene der Objekt- und Ereigniswelt oft einen hohen Grad an Verankerung in der kognitiven Struktur eines Individuums haben (SEEL 1991, S. 47). Ohne eine starke Restrukturierung, also die Konstruktion einer radikal neuen Sichtweise des Treibhauseffekts, werden neue In-

formationen unter dem Einfluss des alten Wissens umgedeutet und in Richtung der falschen Erklärung verzerrt.

7 Schlussfolgerungen

Die Frage, wie der Mensch sein Wissen verändert, steht heute ganz oben auf der Agenda der Instruktionspsychologie (SEEL 2003, S. 251). Mit der vorliegenden Studie wurde unseres Wissens erstmals in der Geographiedidaktik aus lernpsychologischer Perspektive analysiert, wie konzeptuelle Strukturen lernabhängig verändert werden. Das Ziel dieser explorativen Analyse war es nicht, repräsentative Ergebnisse zu gewinnen, sondern die Lernwege einer kleinen Schülergruppe Präkonzept-abhängig tiefgreifend zu erforschen. Die aus dieser Analyse hervorgegangene Typisierung benötigt weitere hypothesenprüfende Untersuchungen. Gewinnbringend ist die hier vorgenommene Systematisierung aber schon jetzt insofern, als dass sie Antworten darauf geben kann, warum nicht alle VPn beim Erlernen von komplexen naturwissenschaftlichen Konzepten zum Erfolg kommen, selbst wenn sie motiviert, mit Interesse und mit lernpsychologisch optimiertem Lernmaterial arbeiten.

Für die Lehrpersonenausbildung im Fach Geographie und für den Geographieunterricht ergeben sich aus der Studie folgende Schlussfolgerungen:

- (1) Das Vorwissen beeinflusst in erheblichem Masse den Lernprozess.
- (2) Eine erfolgreiche Wissenskonstruktion hängt davon ab, dass ein Lerner sein Vorwissen bestmöglich an einen neuen Sachverhalt akkommodieren kann.
- (3) Aus den Präkonzept-abhängigen Lernwegen der Schülerinnen und Schüler resultiert die Anforderung an die Lehrperson, den Unterrichtsverlauf stetig anzupassen.

Lehrpersonen müssen wissen, dass Lernschwierigkeiten eine Angelegenheit des individuellen Wissenssystems sind, wobei es Sets von Schemata gibt, die zu ähnlichen Lernschwierigkeiten führen. Die Identifikation des Vorwissens hilft zu verstehen, wovon ein Individuum bei seiner mentalen Modellkonstruktion ausgeht, welche Lernschwierigkeiten zu erwarten sind und welche Unterstützung beim Lernen benötigt werden. Allerdings, und das hat diese Studie deutlich gezeigt, ist es nicht möglich, alle in einem Individuum vorkommenden Sets von Schemata und die dadurch bedingten individuellen Modellkonstruktionen zu jedem Unterrichtsthema zu kennen. Bei der Konzeption von Unterrichtsmaterial und im Unterricht selbst ist es deshalb unmöglich, alle Präkonzepte zu berücksichtigen. Lernende beschreiten bei der Entwicklung und Veränderung ihrer mentalen Modelle unterschiedliche Wege und eine Lehrperson kann in der Regel nicht für jeden Lerner ein individualisiertes Lernprogramm anbieten, mit dem dieser sein spezifisches mentales Modell entwickeln kann.

Trotzdem kommt der Lehrperson bei der Wissenskonstruktion ihrer Schülerinnen und Schüler eine bedeutende Rolle zu. Um fehlerhafte Vorstellungen ändern zu können, müssen Lernende diese äußern und dann Gelegenheit haben zu erkennen, wo ihre Vorstellungen zu kurz greifen. Dazu müssen fehlerhafte Vorstellungen, wenn sie erkannt werden, direkt angesprochen und bewusst gemacht werden, wobei darauf zu achten ist, dass vorunterrichtliches Wissen nicht bewertet werden darf. Es repräsentiert das Weltwissen der Lernenden, das sie in ihrem spezifischen sozialen Umfeld und unter den dort gebotenen Möglichkeiten konstruiert haben. Um mehr darüber zu erfahren, welche spezifischen Fehlvorstellungen Lernende haben und wann sie diese anwenden, eignen sich kurze formative Beurteilungen zu Beginn, während

und/oder nach dem Unterricht. Sowohl die Lernenden selbst wie auch die Lehrperson erkennen dadurch, wo es Verständnisschwierigkeiten und Missverständnisse gibt und es kann nach Wegen gesucht werden, die helfen, die Lernschwierigkeiten zu überwinden. Dieses sich nach und nach immer mehr ausdifferenzierende Wissen darüber, wo Lernende beim Denken und Problemlösen leicht auf Abwege geraten, hilft der Lehrperson, ihre Unterrichtsstunden lernwirksamer zu strukturieren und den Lernenden adäquate Rückmeldungen zu geben. Aufschlussreich für die Lehrperson sind auch bewusst in den Unterricht eingeplante metakognitive Sequenzen, in denen die Lernenden erklären, wie sie die für den Lerngegenstand relevanten Elemente und Prozesse verstanden haben und mit welchen ähnlichen Sachverhalten sie sie verknüpfen. Können in den Unterricht zusätzlich noch gute, verständliche Anwendungsbeispiele und Analogien, die als Brücken zwischen Alltagsvorstellungen und wissenschaftlichen Konzepten dienen, einbezogen werden, helfen diese den Schülerinnen und Schülern, den Anwendungsbereich ihrer Vorstellungen zu erweitern.

Dank

Die Autoren danken Dr. Urs Aeschbacher für die anregenden Diskussionen und der Lehrerin Anita von Däniken und ihren Schülerinnen und Schülern für ihre Teilnahme in diesem Forschungsprojekt. Diese Studie wurde vom Direktionsfonds der Pädagogischen Hochschule Zentralschweiz Luzern finanziell unterstützt.

Anmerkungen

- 1 In der Schweiz wird eine Notenskala von 1 bis 6 verwendet, wobei 6 die beste Note ist. Der Typus A entspricht dem Progymnasium.
- 2 Das Diagramm der ersten Bild-Text Einheit wurde gegenüber jenem, das in

GeoConcepts I verwendet wurde (vgl. REINFRIED ET AL. 2010b,c), aufgrund der Erkenntnisse aus GeoConcepts I leicht verändert. Anstatt explizit ein Loch in der Atmosphäre zu zeichnen, wurde es nur in Form einer Frage thematisiert. Einige Schüler hatten das Loch im Arbeitsblatt für GeoConcepts I nicht gleich als Illustration einer verbreiteten Fehlvorstellung erkannt und sind dadurch verunsichert worden. Das Lochkonzept war in GeoConcept I als Ausgangspunkt im Arbeitsblatt verwendet worden, in der Annahme, damit die initialen mentalen Modelle vieler Lernender anzusprechen. Eine Reihe von Untersuchungen (AESCHBACHER, HUBER 1996; BOYES, STANISSTREET 1993; DOVE 1996; KOULALIDIS, CHRISTIDOU 1999; RYE, RUBBA, WIENMAYER 1997; SCHULER 2011) hatten nämlich gezeigt, dass die Vorstellung, dass die Ausdünnung der Ozonschicht die Ursache für den Treibhauseffekt ist, weit verbreitet ist. AESCHBACHER ET AL. (2001) haben zudem darauf hingewiesen, dass die Lochvorstellung als eine intelligente konstruktive Fähigkeit, ein themenbezogenes Problem zu lösen, gesehen werden kann. Bei allen Lernenden, welche zu dieser Fehlkonzeption neigen, sollte deshalb durch die erste Bild-Text-Einheit die Fehlvorstellung aktiviert und eine gewisse Irritation erzeugt werden.

- 3 Die Inhaltsvalidität der Kategorien ergab sich
 - aus der Analyse von Fachliteratur (IPCC 2007; SCHÖNWIESE 2003; WEISCHET, ENDLICHER 2008),
 - aus der Analyse von mehreren Studien, welche Konstrukte, die auf Fehlvorstellungen basieren, problematisieren (u.a. AESCHBACHER, CALÒ, WEHRLI 2001; ANDERSSON, WALLIN 2000; BORD, O'CONNOR, FISHER 2000; BOYES, STANISSTREET 1993; DIECKMANN, MEYER

2007; DOVE 1996; KOULALIDIS, CHRISTIDOU 1999; READ, BOSTRUM, MORGAN, FISCHHOFF, SMUTS 1994; RYE, RUBBA, WIESENMAYER 1997; SCHULER 2011),
 - aus der Analyse von 61 Lehrmitteln und 37 Internet-Seiten, in denen die fehlerhaften Vorstellungen ebenfalls vorkamen (Stand Mai 2009),
 - aus dem Review der Items durch drei Experten (ein Klimatologe, ein Physiker, und ein Psychologe) und

- aus dem bisherigen Erfolg mit den Skalen bei der Quantifizierung des Wissenszuwachs der Lernenden in der Teilstudie GeoConcepts I (vgl. REINFRIED ET AL. 2010b, 2010c).

4 Auslassungen in den folgenden Transkriptausschnitten sind mit ... gekennzeichnet. Die Transkripte sind sprachlich leicht geglättet. In eckige Klammern gefasste Aussagen kennzeichnen von den Autoren eingefügte Erläuterungen.

Literatur

- AEBLI, H. (1983): Zwölf Grundformen des Lehrens. Eine Allgemeine Didaktik auf psychologischer Grundlage. Stuttgart.
- AESCHBACHER, U., HUBER, E. (1996): Der Treibhauseffekt – auch eine pädagogische Herausforderung. Entwicklung eines Demonstrationsexperiments als didaktische Forschung. In: Beiträge zur Lehrerbildung 14, Heft 2, S. 180-190.
- AESCHBACHER, U., CALÒ, C., WEHRLI, R. (2001): „Die Ursache des Treibhauseffektes ist ein Loch in der Atmosphäre“: Naives Denken wider besseres Wissen. In: Zeitschrift für Entwicklungspsychologie 33, Heft 4, S. 230-241.
- AL-DIBAN, S. (2002): Diagnose mentaler Modelle. Hamburg.
- ANDERSSON, B., WALLIN, A. (2000): Students' understanding of the greenhouse effect, the social consequences of reducing CO₂ emissions and the problem of Ozone layer depletion. In: Journal of Research in Science Teaching 37, Heft 10, S. 1096-1111.
- AUSUBEL, D. P. (1968): Educational psychology. A cognitive view. New York.
- BORD, J. R., O'CONNOR, R. E., FISHER, A. (2000): In what sense does the public need to understand global climate change? In: Public Understanding of Science, 9, S. 205-218.
- BOYES, E., STANISSTREET, M. (1993): The „greenhouse effect“: Children's perception of causes, consequences, and cures. In: International Journal of Science Education 15, Heft 5, S. 531-552.
- CHI, M. T. C. (2008): Three types of conceptual change: Belief revision, mental model transformation and categorial shift. In: VOSNIADOU, S. (Ed.): International Handbook of Research on Conceptual Change. New York, S. 61-82.
- CLEMENT, J. (1989): Learning via model construction and criticism. In: GLOVER, G., RONNING, R., REYNOLDS, C. (Ed.): Handbook of creativity: Assessment, theory and research. New York.
- CLEMENT, J. (2008): The role of explanatory models in teaching for conceptual change. In: VOSNIADOU, S. (Ed.): International Handbook of Research on Conceptual Change. New York, S. 417-452.
- DEMOEX (2011): Produkte: Treibhauseffekt. <http://www.demoex.ch/cms/index.php> (Stand: 15.03.2013).
- DIECKMANN, A., MEYER, R. (2007): Der Schweizer Umweltsurvey 2007. Klimawandel, ökologische Risiken und Umweltbewusstsein in der Schweizer Bevölkerung. Zürich.
- DISSA, A. A. (1993): Towards an epistemology of physics. In: Cognition and

- Instruction 10, Heft 2-3, S. 105-225
- DISSA, A. A. (2008): A bird's-eye view of the "Pieces" vs. "Coherence" controversy (From the "Pieces" side of the fence). In: VOSNIADOU, S. (Ed.): International Handbook of Research on Conceptual Change. New York, S. 35-60.
- DOLE, J. A., SINATRA, G. M. (1998): Reconceptualizing change in the cognitive construction of knowledge. In: Educational Psychologist 33, S. 109-128.
- DOVE, J. (1996): Student teacher understanding of the greenhouse effect, ozone layer depletion and acid rain. In: Environmental Education Research 2, Heft 1, S. 89-100.
- FELZMANN, D. (2013): Didaktische Rekonstruktion des Themas „Gletscher und Eiszeiten“ für den Geographieunterricht. Oldenburg.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) (2007): Climate Change 2007. Summary for policymakers. In: SOLOMON, S., QIN, D., MANNING, M., CHEN, Z., MARQUIS, M., AVERYT, K. B., TIGNOR, M., MILLER, H. L. (Ed.): Climate Change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge/New York. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/spms2.html (Stand: 15.03.2013)
- JACOBS, J. K., KAWANAKA, T., STIGLER, J. W. (1999): Integrating qualitative and quantitative approaches to the analysis of video data on classroom teaching. In: International Journal of Educational Research 31, Heft 8, S. 717-724.
- JAKOBSSON, A., MÄKITALO, A., SÄLJÖ, R. (2009): Conceptions of knowledge in research on students' understanding of the greenhouse effect: Methodological positions and their consequences for representations of knowing. In: Science Education 93, Heft 6, S. 978-995.
- KELLE, U., KLUGE, S. (1999): Vom Einzelfall zum Typus. Opladen.
- KEMPTON, W. (1993): Will public environmental concern lead to action on global warming? Ann. Rev. Energy Environ., 18, S. 217-245.
- KIRKEBY HANSEN, P. J. (2010): Knowledge about the greenhouse effect and the effect of the ozone layer among Norwegian pupils finishing compulsory education in 1989, 1993, and 2005 – What now? In: International Journal of Science Education 32, Heft 3, S. 397-419.
- KLOSTERMAN, M. L., SADLER, T. D. (2010): Multi-level assessment of scientific content knowledge gains associated with socioscientific issues-based instruction. In: International Journal of Science Education 32, Heft 8, S. 1017-1043.
- KOULAIDIS, V., CHRISTIDOU, V. (1999): Models of students' thinking concerning the greenhouse effect and teaching implications. In: Science Education 83, Heft 5, S. 559-576.
- MAYER, R. E. (2009): Constructivism as a theory of learning versus constructivism as a prescription for instruction. In: TOBIAS, S., DUFFY, T. M.: Constructivist Instruction. Success or Failure? New York, London, S. 184-200.
- MAYRING, P. (2008): Qualitative Inhaltsanalyse. Weinheim.
- NIEBERT, K. (2010): Den Klimawandel verstehen. Eine didaktische Rekonstruktion der globalen Erwärmung. Beiträge zur Didaktischen Rekonstruktion, 31, Didaktisches Zentrum, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg.
- NIEDERER, H., GOLDBERG, F. (1995): Lernprozesse beim elektrischen Stromkreis. In: Zeitschrift für die Didaktik der Naturwissenschaften 1, S. 73-86.
- ÖSTERLIND, K. (2005): Concept formation in environmental education: 14-year olds' work on the intensified greenhouse effect and the depletion of the ozone layer

- er. In: *International Journal of Science Education* 27, Heft 8, S. 891-908.
- POSNER, G. J., STRIKE, K. A., HEWSON, P. W., GERTZOG, W. A. (1982): Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. In: *Science Education* 66, Heft 2, S. 211-227.
- READ, D., BOSTRUM, A., MORGAN, M., FISCHHOFF, B., SMUTS, T. (1994): "What do people know about global climate change? Survey studies of educated laypeople". In: *Risk Analysis* 14, Heft 6, S. 971-982.
- REINFRIED, S. (2013a): Schülervorstellungen. In: BÖHN, D., OBERMAIER, G. (Hrsg.): *Wörterbuch der Geographiedidaktik. Begriffe von A-Z*. Braunschweig, S. 250-252.
- REINFRIED, S. (2013b): Mentale Modelle. In: BÖHN, D., OBERMAIER, G. (Hrsg.): *Wörterbuch der Geographiedidaktik. Begriffe von A-Z*. Braunschweig, S. 190-191.
- REINFRIED, S. (2013c): Conceptual Change. In: BÖHN, D., OBERMAIER, G. (Hrsg.): *Wörterbuch der Geographiedidaktik. Begriffe von A-Z*. Braunschweig, S. 40-43.
- REINFRIED, S., SCHULER, S., AESCHBACHER, U., HUBER, E. (2008): Der Treibhauseffekt - Folge eines Lochs in der Atmosphäre? Wie Schüler sich ihre Alltagsvorstellungen bewusst machen und sie verändern können. In: *geographie heute*, Heft 265/266, S. 24-33.
- REINFRIED, S., AESCHBACHER, U., HUBER, E., ROTTERMANN, B. (2010a): Den Treibhauseffekt zeigen und erklären. In: REINFRIED, S. (Hrsg.): *Schülervorstellungen und geographisches Lernen. Aktuelle Conceptual Change-Forschung und Stand der theoretischen Diskussion*. Berlin, S. 123-156.
- REINFRIED, S., ROTTERMANN, B., AESCHBACHER, U., HUBER, E. (2010b): Alltagsvorstellungen über den Treibhauseffekt und die globale Erwärmung verändern - eine Voraussetzung für Bildung für nachhaltige Entwicklung. In: *Schweizerische Zeitschrift für Bildungswissenschaften* 32, Heft 2, S. 251-271.
- REINFRIED, S., ROTTERMANN, B., AESCHBACHER, U., HUBER, E. (2010c): Wirksamkeit einer lernpsychologisch optimierten Lernumgebung auf die Veränderungen von Schülervorstellungen über den Treibhauseffekt und die globale Erwärmung - eine Pilotstudie. In: *Geographie und ihre Didaktik* 38, Heft 4, S. 218-239.
- RIEMEIER, T., GROPPENGIESSER, H. (2008): On the roots of difficulties in learning about cell division: Process-based analysis of students' conceptual development in teaching experiments. In: *International Journal of Science Education* 30, Heft 7, S. 923-939.
- RUMELHART, D. E., NORMAN, D. A. (1978): Accretion, tuning and restructuring: Three models of learning. In: COTTON, J. U., KLATZKY, R. L. (Ed.): *Semantic facts in cognition*. Hillsdale (MI), S. 37-54.
- RYE, J., RUBBA, P., WIESENMYER, R. (1997): An investigation of middle school students' alternative conceptions of global warming. In: *International Journal of Science Education* 19, Heft 5, S. 527-551.
- SCHÖNWIESE, C.-D. (2003): *Klimatologie*. Stuttgart.
- SCHULER, S. (2011): *Alltagstheorien zu den Ursachen und Folgen des globalen Klimawandels. Erhebungen und Analyse von Schülervorstellungen aus geographiedidaktischer Perspektive*. Bochumer Geographische Arbeiten Bd. 78. Bochum.
- SEEL, N. M. (1991): *Weltwissen und mentale Modelle*. Göttingen.
- SEEL, N. M. (2003): *Psychologie des Lernens*. München, Basel.
- STEFFE, L. P. (1983): *The teaching experiment methodology in a constructivist re-*

- search program. In: ZWENG, M., GREEN, T., KILPATRICK, J., POLLAK, H., SUYDAM, M. (Ed.): Proceedings of the fourth International Congress on Mathematical Education. Boston, S. 469-471.
- STEFFE, L. P., THOMPSON, P. W., VON GLASERSFELD, E. (2000): Teaching experiment methodology: Underlying principles and essential elements. In: KELLY, A. E., LESH, R. A. (Ed.): Handbook of Research Design in Mathematics and Science Education. Mahwah, London, S. 267-306.
- STRIKE, K. A., POSNER, G. J. (1992): A revisionist theory of conceptual change. In: DUSCHL, R. A. (Ed.): Philosophy of science, cognitive psychology and educational theory and practise. New York, S. 147-176.
- VENVILLE, G. J., TREAGUST, D. F. (1996): The role of analogies in prompting conceptual change in biology. In: Instructional Science 24, Heft 4, S. 295-320.
- VOSNIADOU, S., BREWER, W. F. (1987): Theories of knowledge restructuring in development. In: Review of Educational Research, 54, S. 143-178.
- VOSNIADOU, S., BREWER, W. F. (1994): Mental models of the day/night cycle. In: Cognitive Science, 18, S. 123-183.
- WEISCHET, W., ENDLICHER, W. (2008): Einführung in die Allgemeine Klimatologie. Berlin, Stuttgart.
- WISER, M. (1986): The differentiation of heat and temperature: An evaluation of the effect of microcomputer teaching on students' misconceptions (Technical Report). Harvard Graduate School of Education. Cambridge (MA).
- WISER, M., AMIN, T. (2001): "Is heat hot?" Inducing conceptual change by integrating everyday and scientific perspectives on thermal phenomena. In: Learning and Instruction 11, Heft 4-5, S. 331-355.