

Alltagsvorstellungen über den Treibhauseffekt und die globale Erwärmung verändern – eine Voraussetzung für Bildung für nachhaltige Entwicklung

Sibylle Reinfried, Benno Rottermann, Urs Aeschbacher und Erich Huber

Das korrekte Verstehen des Treibhauseffektes ist eine wichtige Voraussetzung, um politische Massnahmen zur Reduktion des Treibhausgases CO₂ zu unterstützen. Fehlerhafte Alltagsvorstellungen über den Treibhauseffekt und die globale Erwärmung sind jedoch weit verbreitet und schwer zu verändern. Um eine beständige Veränderung der Alltagsvorstellungen zu induzieren, wurde eine instruktionspsychologisch optimierte Lernumgebung zum Treibhauseffekt entwickelt. Ihre Wirksamkeit wurde in einer Interventionsstudie mit einem Pretest-Posttest-Kontrollgruppen-Design mit einem Follow-up-Test zwei Monate nach der Intervention an 289 Lernenden des 8. Schuljahrs getestet. Die statistische Analyse ergab einen signifikanten und relativ beständigen Wissenszuwachs, verbunden mit einem besseren Verständnis des natürlichen und anthropogenen Treibhauseffekt-Phänomens.

Einleitung

Der anthropogen verstärkte Treibhauseffekt und die globale Erwärmung werden als eines der zentralen Probleme des 21. Jahrhunderts gesehen (IPCC, 2007). Damit Jugendliche sich in Zukunft als aktive Bürgerinnen und Bürger am Dialog über Massnahmen zur Reduktion der Treibhausgase beteiligen und so Verantwortung übernehmen können, muss es ein vorrangiges Bildungsziel sein, die Ursachen und Auswirkungen des anthropogen verstärkten Treibhauseffektes zu verstehen. Politisch partizipieren und Einfluss nehmen zu können sind normative Bildungsziele und bilden die Grundlagen für die Schlüsselkompetenz¹ der gelebten Demokratie (De Haan et al., 2008; OECD, 2005). Um motiviert dafür zu sein, Massnahmen zur Kontrolle der globalen Erwärmung zu unterstützen, genügt eine generelle Besorgnis oder Beunruhigung wegen der heutigen Umweltprobleme jedoch nicht. Es ist vielmehr das *Wissen* und das korrekte *Verstehen* der Ursachen der globalen Erwärmung, die als die Schlüsseldeterminanten für die Verhaltensabsichten, die globale Erwärmung aktiv anzugehen, gesehen werden. In zwei Befragungen von mehr als 1200

(O'Connor, Bord & Fisher, 1999) bzw. 623 US-Bürgern (O'Connor, Bord, Yarnal & Wiefek, 2002) erwies sich korrektes Wissen über die Ursachen des Treibhauseffekts als der stärkste Prädiktor der Unterstützungsbereitschaft für staatliche Lenkungs- und Gesetzesmassnahmen zur Senkung des CO₂-Ausstosses (Bord, O'Connor & Fisher, 2000). Am Beispiel der globalen Erwärmung kann also ein Verständnis zentraler Kausalzusammenhänge als wichtige Komponente der angestrebten Kompetenz belegt werden (siehe auch Kunz, 1998; Preisendörfer & Franzen, 1996).

Die bisherige Vorstellungsforschung hat jedoch gezeigt, dass dem Kompetenzerwerb beim Thema Treibhauseffekt schwer veränderbare Alltagsvorstellungen entgegenstehen. *Vorstellungen* und *mentale Modelle*, die in diesem Aufsatz synonym verwendet werden, stehen für interne konzeptionelle Repräsentationen von Informationen aus Erfahrungen mit der Umwelt (Johnson-Laird, 1983; Nersessian, 2008). Untersuchungen über die subjektiven Vorstellungen von Kindern und Erwachsenen über den Treibhauseffekt ergaben, dass als Erklärung für die globale Erwärmung häufig Abgase oder das Ozonloch herangezogen werden (Aeschbacher, 1992; Boyes & Stanisstreet, 1993). Diese Vorstellungen lassen sich mit bestimmten Denkfiguren, dem *Glashausmodell* und dem *Ozonlochmodell* erklären (Aeschbacher, Calò & Wehrli, 2001; Anil, 2003; Dieckmann & Franzen, 1995; Eisele, 2003; Schuler, 2005; Reinfried, Schuler, Aeschbacher & Huber, 2008). Das Glashausmodell ist ein wissenschaftsnahes mentales Modell, nach welchem Sonnenstrahlen ungehindert durch die Atmosphäre zum Erdboden gelangen, die zurückgestrahlte Strahlung die Atmosphäre aber nicht mehr verlassen kann, weil Abgase zur Ausbildung einer Schicht in der oberen Atmosphäre führen. Beim Ozonlochmodell lässt ein Loch in der Atmosphäre mehr Sonnenstrahlen herein, die an der Erdoberfläche reflektiert werden und dann das Loch (i. S. v. Ausgang) nicht mehr finden, wodurch es in der Atmosphäre immer wärmer wird. Ungeachtet der intensiven öffentlichen Klimadiskussion in den letzten zehn Jahren interpretierten im Schweizer Umweltsurvey 2007 immer noch zwei Drittel der Befragten den Treibhauseffekt als Folge des Ozonlochs (Dieckmann & Meyer, 2007). Hansen (2010) berichtet, dass 2005 im Vergleich zu 1993 weniger 15jährige norwegische Schülerinnen und Schüler nach der obligatorischen Schulzeit wussten, dass das CO₂ eine wesentliche Ursache des Treibhauseffekts ist. Auch ordneten die Lernenden 2005 die Wirkungen, die auf das Ozonloch zurückgehen, häufiger dem Treibhauseffekt zu als 1993. Dies, obwohl die Themen Treibhauseffekt und Ozonloch bindend in das nationale Curriculum integriert wurden, präzise in den Schulbüchern enthalten sind und die häufig vorkommenden Schülervorstellungen in den Lehrerkommentaren explizit genannt werden. Erstaunlich ist dies nicht, denn Aeschbacher et al. haben schon 2001 darauf hingewiesen, dass die Lochvorstellung ausserordentlich belehrungsresistent ist und sich durch herkömmliche Instruktion kaum verändern lässt.

Dass Alltagsvorstellungen eine zentrale Rolle beim Lernen spielen, ist in der Kognitionspsychologie heute unbestritten (Ausubel, 1968; Edelman, 2000; Rapp & Kurby, 2008). Sie sind Gegenstand der Conceptual-Change-Forschung, die sich mit der Entstehung und Veränderung des begrifflichen Wissens und Verständnisses befasst (Vosniadou, 2008). Die vorunterrichtlichen Vorstellungen, die in aller Regel mit den im Unterricht zu lernenden wissenschaftlichen Begriffen und Prinzipien (für die auch der Begriff Konzepte verwendet wird) nicht übereinstimmen, stellen das Interpretationsschema bereit, mit dem Lernende alles, was im Unterricht gesagt und gezeigt wird, deuten (DiSessa, 1982; Duit, 2009; Duit & Treagust, 2003). Da die Schülerinnen und Schüler nicht über geeignete Schemata verfügen, die zum Verständnis wissenschaftlicher Phänomene notwendig sind, bleiben Lernfortschritte oftmals teilweise oder gänzlich aus.

Zielsetzung und Forschungsfragen

Um hochkomplexe Umweltprobleme wie jenes der globalen Erwärmung adäquat beurteilen zu können, benötigt man geeignete Bewertungskategorien. Diese werden durch das Umweltwissen, d.h. die abrufbaren umweltrelevanten Zusammenhänge, über die ein Individuum verfügt, bereitgestellt (Preuss, 1991). Differenziertes Wissen bildet somit eine wichtige Voraussetzung für die Kompetenz, komplexe Entwicklungen zu bewerten (Schuler, 2002, 2005). Wie soll der Mensch aber etwas adäquat bewerten, das er nicht wahrnehmen kann? Die nicht-wahrnehmbaren Prozesse, die das Treibhauseffekt-Phänomen ausmachen, entziehen sich unserer unmittelbaren kognitiven Auseinandersetzung. Die auf Wahrnehmungsdefiziten basierenden subjektiven Vorstellungen des Ozonloch- und Glashausesmodells und das damit in Zusammenhang stehende unzureichende Bewertungsvermögen der globalen Erwärmung ergeben eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für inadäquate Handlungsweisen, weil sie eine Unterschätzung der Problematik zur Folge haben (Preuss, 1991). Tiefeninterviews bestätigen dies, indem die Menschen, welche die Ursachen der globalen Erwärmung nicht kennen, oftmals unwirksame oder irrelevante Problemlösungen, wie Recycling, das Verbot von Spraydosen oder die Überwachung der Luftverschmutzung vorschlagen, während Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz kaum erwähnt werden (Kempton, 1993). Die Adäquatheit der Vorstellungen, deren Ausprägung vom Wissen abhängig ist (Collins & Gentner, 1987), entscheidet also, wie ernst ein Umweltproblem genommen wird, und ob man angemessen darauf reagieren kann oder nicht.

Beim Treibhauseffekt gilt es die folgenden physikalischen Einzelphänomene und ihr Zusammenwirken zu verstehen, um so zu erkennen, dass die Lochvorstellung nicht haltbar ist:

1. Die Sonnenstrahlung wird am Erdboden zum grössten Teil nicht reflektiert, sondern absorbiert, worauf der Boden diese „geschluckte“ Energie in gewandelter Form wieder nach oben ausstrahlt – nicht mehr als Licht, sondern als Wärmestrahlung.
2. Die CO₂-Moleküle absorbieren Wärmestrahlung und geben diese wieder in alle Richtungen ab. Sie verlangsamen so den Prozess der Abstrahlung von Wärmeenergie in den Weltraum. Sonnenstrahlung hingegen passiert die CO₂-Moleküle ungehindert.

Werden diese physikalischen Einzelphänomene nicht richtig verstanden, ergibt der Treibhauseffekt keinen Sinn. Denn wer davon ausgeht, dass der Treibhauseffekt eine Folge der Reflexion des Lichtes an der Eroberfläche ist, kann sich nicht erklären, warum das gleiche Licht zwar in die Atmosphäre ein-, aber nicht mehr austreten können soll.

Auf der Basis dieser Überlegungen wurde eine lernpsychologisch optimierte Lernumgebung entwickelt (Reinfried et al., 2008), welche

- a) die genannten schematheoretischen Ursachenerklärungen des Treibhauseffekt-Prinzips berücksichtigt,
- b) Massnahmen zur Text- und Bildoptimierung auf der Grundlage von kognitiven Prozessen des Text- und Bildverstehens einbezieht (Kintsch, 1998; Mayer, 2001; Pavio, 1986),
- c) die Bedingungen für eine Vorstellungsänderung im Sinne von Conceptual Change, der die Reorganisation der Ausgangsvorstellungen ermöglicht, einschliesst (Posner, Strike, Hewson & Gertzog, 1982).

Die Wirksamkeit dieser Lernumgebung wurde im Projekt GeoConcepts² im Hinblick auf eine Veränderung der fehlerhaften mentalen Modelle über den Treibhauseffekt überprüft (in Experimentalgruppe 1 = EG1), indem sie mit herkömmlichem Schulmaterial (Texte und Abbildungen aus Schulbüchern und einem klassischen Schulversuch) kontrastiert wurde (in Experimentalgruppe 2 = EG2). Die dem Untersuchungsdesign zugrunde liegende Hypothese lautete: Die konstruktivistische, lernpsychologisch optimierte Lernumgebung hat einen signifikant positiveren Einfluss auf das sachlich richtige Verständnis des Treibhauseffekts als herkömmliches Unterrichtsmaterial.

Untersucht wurden im Einzelnen folgende Forschungsfragen:

- 1) Wie gross sind der Lernerfolg und die Stabilität der angestrebten Konzeptveränderung unter den verschiedenen Bedingungen (in der EG1 mit lernpsychologisch optimiertem Unterrichtsmaterial und der EG2 mit herkömmlichem Unterrichtsmaterial)?
- 2) Wie unterscheiden sich die Vorstellungen der beiden Experimentalgruppen nach der Intervention?

Methode

Stichprobe, Untersuchungsdesign und Messinstrument

Die Versuchspersonen rekrutierten sich aus 16 Sekundarschulklassen im 8. Schuljahr. Vierzehn Klassen kamen aus der Stadt und dem Kanton Luzern in der Zentralschweiz, zwei Klassen (die Klassen für die Pilotstudie) aus der Stadt Zürich. Die Gesamtzahl der Probanden betrug 289; davon waren 152 Mädchen und 137 Jungen; sie waren im Durchschnitt 14,0 Jahre alt. Sieben Luzerner Klassen kamen aus einem urbanen Umfeld (Städte Luzern und Kriens), sieben aus einem eher ländlichen Umfeld (Hochdorf, Escholzmatt, Neuenkirch und Hitzkirch). Alle Schülerinnen und Schüler hatten bis zum Abschluss der Studie keinen erwähnenswerten Physik- oder Chemieunterricht. Vor der Hauptstudie wurde eine Pilotstudie mit den beiden 8. Klassen aus der Stadt Zürich durchgeführt (Reinfried, Rottermann, Aeschbacher & Huber, in Druck). Die Daten der Pilot- und der Hauptstudie konnten zusammengenommen werden, da weder am Design noch am Unterrichtsmaterial nennenswerte Änderungen vorgenommen wurden. Insgesamt wurden 335 Jugendliche befragt; 46 Probanden konnten nicht in die Auswertungen einbezogen werden, weil sie zu einem der drei Messzeitpunkte fehlten.

Um die Effekte der Lernumgebungen zu testen, wurde ein quasi-experimentelles Pretest-Posttest-Kontrollgruppen-Design mit einem verzögerten Nachtest nach zwei Monaten gewählt (Tabelle 1).

Tabelle 1: Die Versuchsanordnung

Gruppen	Ausgangszustand (t1)	5-7 Tage nach dem Pretest: Treatment (ca. 90 Minuten Unterricht)	Direkt nach dem Treatment (t2)	2 Monate nach dem Treatment (t3)
EG1	Pretest	Unmittelbar vor dem Treatment: Motivationsfragebogen; anschliessend: Unterricht mit instruktionspsychologisch optimierter Lernumgebung	Posttest	Follow-up-Test
EG2	Pretest	Unmittelbar vor dem Treatment: Motivationsfragebogen; anschliessend: Unterricht mit Lernumgebung, in der herkömmliches Unterrichtsmaterial verwendet wurde	Posttest	Follow-up-Test
KG	Pretest	Kein auf die Thematik bezogener Unterricht	Posttest	Follow-up-Test

Anmerkungen: EG = Experimentalgruppe, KG = Kontrollgruppe

Der Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler wurde nach der Intervention über den Punktestand, der sich aus den Wissensfragen eines speziell für die Studie entwickelten Fragebogens ergibt, entsprechend der Korrektheit des Verständnisses des Treibhauseffekts, ermittelt. Der Fragebogen enthält 24 Wissensfragen, die aus vier Subskalen mit je sechs Items zu den Konstrukten «Lochkonzept», «Strahlungsumwandlung», «Wissen über CO₂», und «Zusammenwirken mehrerer Faktoren/generelle Aussagen über den Treibhauseffekt», gruppiert wurden. Die Konstruktion der Subskalen-Items beruht auf den in der Bevölkerung weit verbreiteten mentalen Modellen «Ozonlochmodell» und «Glashausmodell» und auf wissenschaftlichen Basiskonzepten, die für das Verständnis des Treibhauseffektes grundlegend sind. Die Subskala «Lochkonzept» beinhaltet Fragen, die sich auf die Alltagsvorstellungen rund um das Ozonlochmodell beziehen; die Subskala «Strahlungsumwandlung» bezieht sich auf das Basiskonzept der Absorption und Umwandlung von Sonnenstrahlung an der Erdoberfläche; die Subskala «Wissen über CO₂» berücksichtigt die Eigenschaft des Moleküls CO₂ als Wärmestrahlungsabsorber. Die Subskala «Zusammenwirken mehrerer Faktoren/generelle Aussagen über den Treibhauseffekt» bezieht sich auf die Kombination von Basiswissen über den Treibhauseffekt und die Atmosphäre sowie die daraus resultierenden Auswirkungen auf die globale Erwärmung (vgl. Tabelle 2). Die Items können auf einer 5-Punkte Likert-Skala von «trifft nicht zu» bis «trifft völlig zu» zustimmend oder ablehnend beantwortet werden (dichotom). Ausserdem kann in einer 6. Antwortspalte «weiss nicht» angekreuzt werden. Dies hat den Vorteil, dass viele «missing values» in der statistischen Auswertung vermieden werden können, da sich die Versuchspersonen nicht auf eine strikt positive oder negative Antwort festlegen müssen (und deshalb lieber nichts ankreuzen); die Antworten sind durch dieses Vorgehen ausserdem besser interpretierbar.

Tabelle 2: Je eine Beispielfrage aus dem Fragebogen zu jeder Subskala

Hauptskala	Subskalen	Beispielfragen
Wissen Treibhauseffekt	Lochkonzept	Das Loch in der Atmosphäre ist der Grund für den Treibhauseffekt.
	Wissen CO ₂	CO ₂ lässt die von der Erde kommende langwellige Wärmestrahlung ungehindert hindurch.
	Strahlungsumwandlung	Alle einfallende Sonnenstrahlung wird an der Erdoberfläche wie an einem Spiegel reflektiert.
	Zusammenwirken mehrerer Faktoren	Die Menschen erhöhen durch Verbrennungsprozesse den CO ₂ -Gehalt in der Atmosphäre, wodurch es immer wärmer wird.

Zusätzlich zur Beantwortung der Wissensfragen sollten die Schülerinnen und Schüler ihre Vorstellung vom Treibhauseffekt beschreiben und skizzieren. Die

zum Pretest (Messzeitpunkt t_1) und Follow-up-Test (Messzeitpunkt t_3) erstellten Zeichnungen und die dazugehörigen Beschreibungen wurden kategorisiert und quantifiziert. Es konnten acht Kategorien gebildet werden, die richtigen und fehlerhaften Konzepten zugeordnet werden können und mit der Kodierung 0 für «nicht vorhanden» und 1 für «vorhanden» erfasst wurden. Die Zuordnung wurde von zwei unabhängigen Beurteilern vorgenommen. Nicht miteinander übereinstimmende Zuordnungen wurden aufgrund der in den Zeichnungen beobachtbaren und in den Texten beschriebenen Einzelheiten gemeinsam festgelegt. Als erklärende Variable fungierte die Gruppenzugehörigkeit. Kontrolliert wurden folgende Kovariablen: Alter, Geschlecht, Nationalität³, Lebensjahre in der Schweiz, Muttersprache, Bildungsnähe, Involviertheit, Informiertheit über den Treibhauseffekt, Interesse am Treibhauseffekt, Motivation, Noten in Deutsch und Mathematik sowie die geographische Lage des Schulorts (urbanes oder ländliches Umfeld). Der Unterricht wurde vom Zweitautor durchgeführt und zu Kontrollzwecken auf Videoband aufgezeichnet⁴. Die EG-Klassen waren Parallelklassen und wurden der EG1 oder EG2 zugelost. Zwei Klassen, eine aus dem städtischen und eine aus dem ländlichen Luzerner Kontext, dienten als Kontrollklassen (KG). Sie hatten keinen auf die Thematik bezogenen Unterricht. Die Anzahl der Versuchspersonen verteilt sich wie folgt auf die drei Gruppen: $N_{EG1} = 122$, $N_{EG2} = 128$ und $N_{KG} = 39$. Die Motivation zu Beginn der Intervention wurde mit einer angepassten Version des FAM von Rheinberg, Vollmeyer und Burns (2001) erfasst. Deren interne Konsistenzen nach Cronbach liegen zwischen $\alpha = .69$ und $\alpha = .79$ und erreichen damit vergleichbare Werte wie die Originalfassung von Rheinberg et al. (2001). Die mit den Fragebögen und der Kodierung erfassten Daten wurden mit SPSS (Version 16) ausgewertet.

Die Lernumgebungen

Die Lernumgebungen setzen sich für beide Gruppen aus Arbeitsblättern⁵ und einem Experiment sowie denselben unterrichtsmethodischen Elementen zusammen. Die Arbeitsblätter sind für beide Gruppen gleich aufgebaut. Sie bestehen aus vier Lernschritten und enthalten für beide Gruppen dieselben Informationen, die den Treibhauseffekt erklären. Die daran anschliessenden Experimente zeigen das Phänomen der Wärmestrahlungsabsorption von CO_2 einmal in qualitativer, das andere Mal in quantitativer Weise. Methodisch kommen direkte Instruktion, Einzel- und Partnerarbeit, Hypothesenprüfung, eine Demonstration mit Beobachtungsauftrag, gelenktes entdeckendes Lernen sowie eine Plenumsdiskussion zum Einsatz.

Für die EG1 sind die Arbeitsblätter und das Experiment instruktionspsychologisch optimiert (Reinfried et al., 2008). Das bedeutet, dass nur die für das Verstehen der Schlüsselkonzepte essentiellen Informationen vermittelt und hierfür irrelevante Informationen weggelassen werden, und dass die essentiellen

Informationen so strukturiert werden, dass sie leicht begriffen und korrekt verstanden werden. In Anlehnung an Aebli (1983) wurden die folgenden Kriterien für *verständliches Erklären* herangezogen (siehe auch Aeschbacher, 2009):

1. Die Problemstellung geht von undifferenziertem Vorwissen/Alltagsvorstellung aus.
2. Komplexe Abläufe werden in separaten Skizzen zeitlich aufgeschlüsselt. Dies ermöglicht aktives Mitdenken und Elaborieren und macht die Verkettung von Operationen nachvollziehbar.
3. Der Inhalt wird stark abstrahiert; nur die Grundideen des zu lernenden Konzepts werden dargeboten.
4. Fachbegriffe werden weitgehend vermieden.

Das Experiment, hier Modellexperiment (DemoEx, 2010) genannt, ist ein didaktisch aufbereiteter Versuch, der die Absorption von Wärmestrahlung durch CO₂ qualitativ und erlebniswirksam zeigt (Aeschbacher & Huber, 1996). CO₂ wird in den Strahlengang zwischen einer Modellerde, die Wärmestrahlung abgibt, und einem Messgerät in einen durchsichtigen Behälter (die Modellatmosphäre) eingefüllt. Der Zeigerausschlag des Messgeräts zeigt, dass das unsichtbare Gas eine unsichtbare, von der Modellerde ausgehende Strahlung behindert (Abb. 1). Diese Veranschaulichung überrascht die Lernenden und bringt sie zum Staunen. Die Unvereinbarkeit von Vorwissen und Wahrnehmung verursacht einen kognitiven Konflikt. Dieser soll den Anstoss zu einer grundlegenden begrifflichen Veränderung geben und das durch die Arbeitsblätter erworbene Wissen zu einer persönlichen Überzeugung werden lassen.

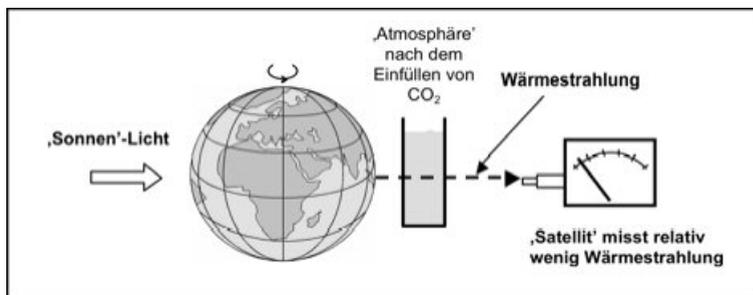


Abbildung 1: Schemaskizze des in der Experimentalgruppe 1 verwendeten Modellexperiments.

Das Modellexperiment spielt bei der Veränderung der Schülervorstellungen in der optimierten Lernumgebung eine zentrale Rolle, da es die Absorption von unsichtbarer langwelliger Wärmestrahlung durch das unsichtbare, geruchlose CO₂ beobachtbar und damit besser vorstellbar macht. Das Experiment bietet

plausible und auf sinnliche Perzeption ausgelegte Informationen, wodurch die Lernenden die Beziehung zwischen dem CO₂-Gas und der Wärmestrahlung erleben können. Die mentalen Repräsentationen, welche die Lernenden während der Arbeit mit dem Lernmaterial konstruieren, sind somit eine direkte Folge ihrer Lernerfahrungen. Die alleinige Verwendung von Texten und Graphiken führt nicht zum Aufbau von korrekten, stabilen mentalen Modellen über den Treibhauseffekt, wie Anil (2003) und Eisele (2003) zeigen konnten, während Lernerfahrungen, die den Aufbau und das Abrufen von Erinnerungen mittels themenbezogenen wahrnehmungsrelevanten Visualisierungen erleichtern, besser behalten werden (Glenberg & Robertson, 1999; Rapp & Kurby, 2008).

Für die EG2 wurde das Arbeitsmaterial aus Abbildungen und Texten aus gängigen Schulbüchern für das 8. Schuljahr zusammengestellt. Diese Texte und Abbildungen wurden aus in der Deutschschweiz und Deutschland verbreiteten Schulbüchern für die Sekundarstufe I gewonnen und mittels der Analyse von 57 zufällig ausgewählten, allgemein erhältlichen aktuellen Geographieschulbüchern für die Sekundarstufe I und II, vier Lehrbüchern und einem Lexikon, alle aus dem deutschsprachigen Raum, sowie 37 deutschsprachigen Internetquellen validiert. Sie repräsentieren den Status Quo der Wissensdarstellung in gängigem Schul- und Lehrmaterial (Stand Mai 2009), das Lehrerinnen und Lehrern für die Vorbereitung und den Unterricht zur Verfügung steht. Die Analyse ergab, dass sich die Autoren der Schul- und Lehrbücher sowie der Internetseiten der Alltagsvorstellungsproblematik in der Regel nicht bewusst sind, ja dass sie zum Teil sogar die gängigen «Fehlvorstellungen», wie das Ozonloch- und Glashaushausmodell in Texten und Abbildungen reproduzieren (z. B. die Glashaushausvorstellung bei Brucker & Filser, 2005, S. 43; die Ozonlochvorstellung bei Dietrich & Mederow, 2002, S. 55). Die meisten Graphiken und Texte beinhalten didaktisch reduziertes Fachwissen; die Vereinfachungen beziehen sich fast immer auf die Strahlungsumwandlung und die Wirkungsweise der Treibhausgase (siehe Brucker & Filser, 2005, S. 43; Litz, 2005, S. 70), also auf jene Phänomene, deren Nichtverstehen die Grundlage von «Fehlvorstellungen» bildet. Nicht selten zeigen Abbildungen eine Vielzahl von aggregierten Fakten zu den Wirkungen des anthropogenen Treibhauseffekts, die es den Lernenden erschweren, das Wesentliche herauszuschälen (siehe Eck, 2005, S. 46). Oft lassen Abbildungen und Texte keinen direkten Zusammenhang erkennen (siehe Litz, 2005, S. 70f.). Die in Schulbüchern publizierten Lernmaterialien (und oft auch das schulrelevante Material im dem Internet) werden häufig im Hinblick auf ihr Ziel, wissenschaftlichen Laien bei der Bedeutungskonstruktion des Phänomens Treibhauseffekt zu helfen, konzeptionell zu wenig genau durchdacht und sind oft sogar falsch. Den Hauptschwierigkeiten der Lernenden beim Verständnis des Treibhauseffekts, nämlich der Strahlungsumwandlung und die Absorptionswirkung des CO₂, wird wenig bis keine Beachtung geschenkt.

Die Arbeitsblätter für die EG2 bestehen ebenfalls aus vier Lernschritten (Reinfried et al., in Druck; Reinfried, Rottermann, Aeschbacher & Huber, 2010). Schritt 1 und 4 sind identisch mit den Schritten der Arbeitsblätter für die EG1. Für Schritt 2 und 3 wurden Abbildungen und Texte aus Schulbüchern (Auer et al., 2005, S. 48; Bartzli, Gutmann, Hobi & Rempfler, 2003, S. 128), die den Status Quo der Wissensdarstellung über den Treibhauseffekt in deutschsprachigen Schulbüchern am geeignetsten repräsentieren, ausgewählt. Die Informationen, die sie enthalten, sind dieselben wie in den Arbeitsblättern für die EG1, unterscheiden sich von jenen jedoch in Komplexität und Graphik, da es sich um Material handelt, das von den Schulbuchautoren zwar *didaktisch reduziert* wurde, dies jedoch nicht nach instruktionspsychologischen Kriterien. Im Einzelnen heisst dies:

1. Die natürlichen, aber abstrakten Prozesse der Strahlungsumwandlung und Wärmestrahlungsabsorption von CO_2 werden weggelassen.
2. Komplexe, in der Natur zeitlich nacheinander ablaufende Prozesse werden in einer einzigen Abbildung zusammengefasst.
3. Trotz der Reduktion des wissenschaftlichen Treibhauseffektprinzips enthalten die Abbildungen und Texte eine Vielzahl von Informationen, die für das Verstehen des Konzeptes irrelevant sind.
4. Farben und graphisches Design sind wichtige Elemente bei der Gestaltung der Abbildungen, tragen jedoch kaum zum besseren Verständnis bei.
5. Viele Fachbegriffe werden verwendet.

Der in der herkömmlichen Lernumgebung eingesetzte Versuch (Abb. 2), hier Schulversuch genannt, ist nach den methodologischen Kriterien einer wissenschaftspropädeutischen Herangehensweise aufgebaut und zeigt die Effekte des Wärmeabsorptionsvermögens von CO_2 in einem Gasrohr quantitativ, d.h. die Grössenordnung des Zeigerausschlags wird beim Versuch gemessen (Versuch zur Absorption von Wärmestrahlung nach Tyndall; siehe Parchmann & Jansen, 1996; Parchmann, Kaminski & Jansen, 1995).

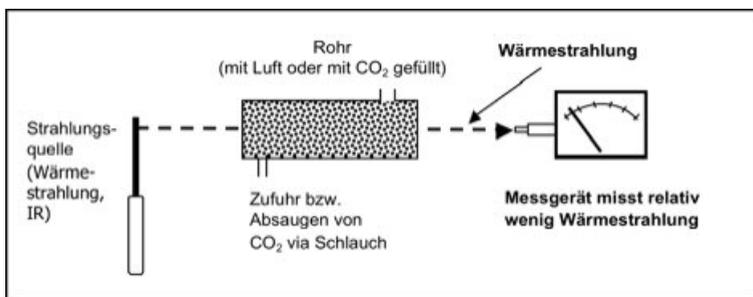


Abbildung 2: Schemaskizze des in der Experimentalgruppe 2 verwendeten Schulversuchs.

Ergebnisse

Die Überprüfung der Lernwirksamkeit der lernpsychologisch optimierten Lernumgebung erfolgte über die Analyse des Wissenszuwachses. Zu diesem Zweck wurden die erzielten Testpunkte aller Probanden im Pre-, Post- und verzögerten Nachtest miteinander verglichen. Der Datensatz wurde hierfür dichotomisiert, in dem die Antwortenskala von 1 bis 6 wie folgt zusammengefasst wurde: die Werte 1, 2, 3 und 6 für «nicht Wissen» und «falsche Antwort» ergaben den neuen Wert 0; die Werte 4 und 5 für «richtige Antwort» ergaben den neuen Wert 1.

Reliabilitätsprüfung des Messinstruments

Zur Überprüfung der Reliabilität des Fragebogens wurde die interne Konsistenz berechnet. Die α -Koeffizienten nach Cronbach für die 24 Fragen erreichen für t1 den Wert .67, für t2 den Wert .89 und für t3 den Wert .86, womit die Reliabilität des Messinstruments als hinreichend angesehen werden kann. Die niedrigeren Werte zum Messzeitpunkt t1 können so erklärt werden, dass die Schülerinnen und Schüler zu Beginn der Studie wenig über den Treibhauseffekt wussten, so dass sie manchmal geraten haben und zudem oftmals «weiss nicht» angekreuzt haben. Die hierarchische Faktorenanalyse (berechnet mit Statistica 8) bestätigt den übergeordneten Faktor «Wissen Treibhauseffekt». Die Stabilität der Hauptskala «Wissen Treibhauseffekt» beträgt $r = .81$ (bivariate Korrelation).

Wissensveränderung über die Zeit

Die Wissensveränderung über die drei Messzeitpunkte wurde varianzanalytisch (ANOVA) geprüft (Tabelle 3). Sowohl der Einfluss der Faktoren Messzeitpunkt (t1, t2, t3) und Gruppenzugehörigkeit (EG1, EG2, KG) für sich betrachtet, wie auch deren Interaktion, erwiesen sich als höchst signifikant. Die standardisierten Residuen für t1, t2 und t3 sind normal verteilt. Aus den Mittelwertsunterschieden zwischen der EG1 und der EG2 geht hervor, dass zwischen t1 und t2 sowie t1 und t3 in beiden Gruppen ein erheblicher Wissenszuwachs stattgefunden hat. Die KG zeigt erwartungsgemäss keinen Wissenszuwachs. Ein Post-Hoc-Test (t-Test) zeigt, dass der Lernzuwachs beider Experimentalgruppen zwischen t1 und t3 höchst signifikant ist ($t_{EG1} = -15.1$, $p < .001$; $t_{EG2} = -15.2$, $p < .001$; $KG = .38$, $p > .05$; vgl. auch Abb. 3).

Betrachtet man die Wissensveränderung in der Hauptskala und den vier Subskalen des Fragebogens, so zeigen die Befunde für alle Skalen höchst signifikante gruppenspezifische Haupteffekte, Zeiteffekte und Interaktionen. Da es im t1 keine grossen Unterschiede zwischen der EG1, der EG2 und der KG gibt, ist davon auszugehen, dass sich die Gruppen bezogen auf ihr Vorwissen nicht unterscheiden haben. Die tiefen Mittelwerte der Gruppen im Vortest t1 beim «Wissen Treibhauseffekt» (.25 – .33) und den Subskalen «Lochkonzept», «Wissen CO2» und «Strahlungsumwandlung» (.15 – .29) weisen darauf hin, dass die Lernenden

Wissenveränderung über die drei Messzeitpunkte

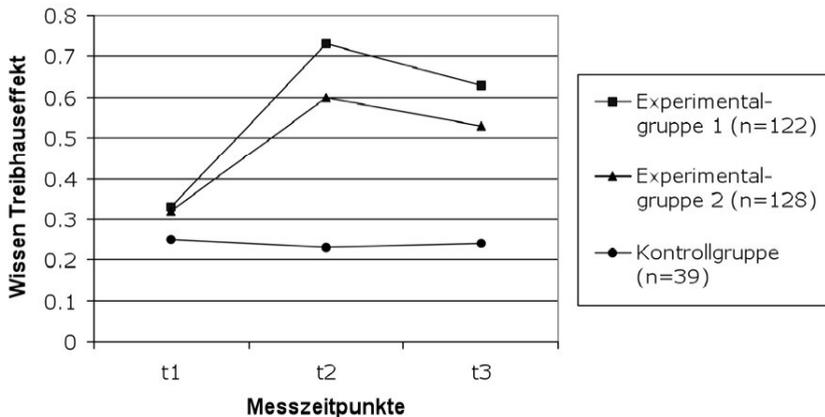


Abbildung 3: Wissensveränderung der drei Gruppen über die Zeit

Tabelle 3: Ergebnisse der Varianzanalyse (ANOVA)

Skalen	Mittelwerte (SD)			F _{Gruppe} df	part. Eta ²	F _{Zeit} df	part. Eta ²	F _{Interaktion} df	part. Eta ²
	EG1	EG2	KG						
<i>Hauptskala</i>									
Wissen Treibhauseffekt t1	.33 (.16)	.32 (.13)	.25 (.16)	70.94***	.33	214.6***	.43	52.3***	.27
Wissen Treibhauseffekt t2	.73 (.19)	.60 (.20)	.23 (.13)	2, 286		1, 286		2, 286	
Wissen Treibhauseffekt t3	.63 (.21)	.53 (.20)	.24 (.14)						
<i>Subskalen</i>									
Lochkonzept t1	.23 (.21)	.23 (.22)	.15 (.22)	46.42***	.25	81.9***	.22	16.0***	.10
Lochkonzept t2	.66 (.28)	.59 (.31)	.13 (.18)	2, 286		1, 286		2, 286	
Lochkonzept t3	.64 (.32)	.54 (.31)	.13 (.19)						
Wissen CO ₂ t1	.26 (.23)	.26 (.19)	.18 (.21)	52.22***	.27	93.6***	.25	20.9***	.13
Wissen CO ₂ t2	.72 (.28)	.57 (.28)	.18 (.17)	2, 286		1, 286		2, 286	
Wissen CO ₂ t3	.57 (.28)	.48 (.27)	.18 (.18)						
Strahlungsumwandlung t1	.29 (.22)	.25 (.19)	.21 (.18)	54.06***	.27	66.0***	.19	28.0***	.16
Strahlungsumwandlung t2	.70 (.25)	.49 (.26)	.18 (.19)	2, 286		1, 286		2, 286	
Strahlungsumwandlung t3	.57 (.25)	.42 (.23)	.24 (.23)						
Zusammenwirken t1	.57 (.26)	.53 (.24)	.46 (.25)	36.18***	.20	65.2***	.19	14.2***	.09
Zusammenwirken t2	.86 (.18)	.76 (.23)	.43 (.26)	2, 286		1, 286		2, 286	
Zusammenwirken t3	.74 (.23)	.70 (.25)	.41 (.25)						

Anmerkungen: EG = Experimentalgruppe; KG = Kontrollgruppe, N_{EG1} = 122, N_{EG2} = 128, N_{KG} = 39, *** p < .001

über ein geringes Vorwissen, bzw. häufig fehlerhafte Vorstellungen verfügten. Eine Ausnahme bildet die Subskala «Zusammenwirken mehrerer Faktoren». Die höheren Mittelwerte kommen dort dadurch zustande, dass diese Items Aussagen beinhalten, die häufig in den Medien genannt werden und deshalb mit Allgemeinwissen ohne tieferes Verständnis der physikalischen Prozesse beantwortet werden können. Bei den drei anderen Subskalen bedarf es hingegen spezifischer Vorkenntnisse, um diese richtig einzuschätzen.

In einer Post-Hoc-Analyse mittels t-Test wurde im Detail die Performanz von EG1 und EG2 miteinander verglichen (Tabelle 4). Zu den Messzeitpunkten t2 und t3 weiss die EG1 ausgesprochen mehr über den Treibhauseffekt als die EG2. Mit Ausnahme der Subskala «Zusammenwirken» bestätigen sich die unterschiedlichen Leistungen der beiden Experimentalgruppen sowohl im Posttest also auch im Follow-up-Test. Bei den Subskalen «Wissen CO₂» und «Strahlungsumwandlung» weiss die EG1 zu den Zeitpunkten t2 und t3 signifikant mehr als die EG2, beim «Lochkonzept» werden die Unterschiede bei t2 tendenziell signifikant, bei t3 signifikant.

Tabelle 4: Vergleich von EG1 und EG2 mittels T-Tests für unabhängige Stichproben (Post-Hoc-Analysen).

	Hauptskala/Subskalen	M _{EG 1} (SD)	M _{EG 2} (SD)	t	Sig
Messzeitpunkt t ₁	Wissen Treibhauseffekt	.33 (.16)	.32 (.13)	.96	ns
	Lochkonzept	.23 (.21)	.23 (.22)	.07	ns
	Wissen CO ₂	.26 (.23)	.26 (.19)	-.30	ns
	Strahlungsumwandlung	.29 (.22)	.25 (.19)	1.50	ns
	Zusammenwirken	.57 (.26)	.53 (.24)	1.13	ns
Messzeitpunkt t ₂	Wissen Treibhauseffekt	.73 (.19)	.60 (.20)	5.30	***
	Lochkonzept	.66 (.28)	.59 (.31)	1.77	†
	Wissen CO ₂	.72 (.28)	.57 (.28)	3.99	***
	Strahlungsumwandlung	.70 (.25)	.49 (.26)	6.58	***
	Zusammenwirken	.86 (.18)	.76 (.23)	3.73	***
Messzeitpunkt t ₃	Wissen Treibhauseffekt	.63 (.21)	.53 (.20)	3.65	***
	Lochkonzept	.64 (.32)	.54 (.34)	2.35	*
	Wissen CO ₂	.57 (.28)	.48 (.27)	2.54	*
	Strahlungsumwandlung	.57 (.25)	.42 (.23)	5.00	***
	Zusammenwirken	.74 (.23)	.70 (.25)	1.38	ns

Anmerkungen: EG1 = Experimentalgruppe 1, EG2 = Experimentalgruppe 2; N_{EG1} = 122, N_{EG2} = 128, ns = nicht signifikant, † p < .1; * p < .05; *** p < .001

In der EG1 konnte das Konstrukt «Lochkonzept» stark verändert werden und der Lerneffekt bleibt auch bis zum verzögerten Nachtest auf hohem Niveau stabil. Die EG1 hat offensichtlich im Gegensatz zur EG2 eine relativ stabile Konzeptveränderung vollziehen können. Bei der Strahlungsumwandlung war der Lernerfolg in der EG1 im Vergleich zur EG2 besonders hoch. Der beim «Wissen CO₂» von der EG1 erzielte deutliche Wissenszuwachs konnte im Vergleich zu den anderen Subskalen nicht so gut behalten werden. Bezüglich der Subskala «Zusammenwirken» wussten beide Gruppen von Beginn an mehr als in den anderen Subskalen.

Die Auswertung der Zeichnungen und die dazugehörigen Beschreibungen, die im Vortest und verzögerten Nachtest angefertigt wurden, erfolgte mittels Kreuztabellen und Chi-Quadrat-Tests (Tabelle 5).

Tabelle 5: Prozentuale Häufigkeiten der in den Schülerzeichnungen vorkommenden Konstrukte und χ^2 -Tests zum Messzeitpunkt t1 und t3

In den Schülerzeichnungen kodierte Konstrukte (n = 263)	Messzeitpunkt t1			Messzeitpunkt t3		
	EG1 (in %)	EG2 (in %)	χ^2	EG1 (in %)	EG2 (in %)	χ^2
Schicht begrenzt Atmosphäre	36	31	.13 ns	26	45	10.60**
Strahlenreflexion an der Erdoberfläche	21	24	.33 ns	19	49	26.75***
Strahlenrückreflexion an ‚Obergrenze‘ der Atmosphäre	29	30	.04 ns	21	48	21.36***
Strahlungsumwandlung an der Erdoberfläche	6	6	.01 ns	46	26	11.85**
CO ₂ -Moleküle absorbieren Wärmestrahlung	3	0	4.22 *	9	0	13.06**
CO ₂ bildet eine Schicht, die Wärmestrahlung absorbiert	8	8	.01 ns	9	22	9.60**
Luftverschmutzung absorbiert Wärmestrahlung	22	35	5.76*	15	22	1.63 ns
Loch / Ausdünnung in der Atmosphäre	21	17	.61 ns	5	7	.91 ns

Anmerkungen: ns = nicht signifikant, * p < .05, ** p < .01, *** p < .001

Sie ergab, dass die fehlerhaften Vorstellungen einer schichtartigen Obergrenze der Atmosphäre, die als Strahlenaustrittshindernis wirkt, die Strahlenreflexion an der Erdoberfläche und die Strahlenrückreflexion zur Erde an einer vermeintlichen «Obergrenze» der Atmosphäre zum Messzeitpunkt t3 in der EG2 hoch bis höchst signifikant häufiger vorkommen als in der EG1. Die EG1 ging hingegen in ihren Skizzen signifikant häufiger auf die in der Intervention neu gelernten Konzepte der Strahlungsumwandlung an der Erdoberfläche und die Wirkung von CO₂ als «Strahlenfänger» ein. Die fehlerhafte Vorstellung, wonach die

Luftverunreinigung durch Feinstaub, Russ- und Rauchemissionen aus Fahrzeugen und Fabriken den Treibhauseffekt verursacht, ist bei der EG2 zum Messzeitpunkt t3 ebenfalls signifikant häufiger zeichnerisch dargestellt als in der EG1.

Überprüfung von Einflussfaktoren

Mittels Kovarianzanalyse (ANCOVA) wurde überprüft, ob neben der neu entwickelten Lernumgebung (Arbeitsblätter, Modell) auch andere personen- und umfeldbedingte Faktoren einen Einfluss auf den Wissenszuwachs und die Behaltensleistung der Lernenden haben. Die Analyse mit 14 Faktoren (Alter, Geschlecht, Lebensjahre in der Schweiz, Bildungsnähe, Involviertheit [sich Sorgen machen wegen der globalen Erwärmung], Vorwissen [Informiertheit über den Treibhauseffekt], Interesse, Muttersprache [deutsch vs. nicht deutsch], Nationalität [Schweizerinnen/Schweizer vs. Nicht-Schweizerische Herkunft], Motivation [Fragen zu den Emotionen bei der Bearbeitung von anspruchsvollen Aufgaben], Noten im Fach Deutsch und Mathematik, Sekundarschulniveau [Niveau A oder B] und Schulstandort [Stadt – Land]) ergab die in Tabelle 6 dargestellten signifikanten Effekte der Gesamtstichprobe.

Tabelle 6: Kovarianzanalyse ANCOVA mit der abhängigen Variablen, «Wissen Treibhauseffekt» zu den Messzeitpunkten t2 und t3

Wissen Treibhauseffekt	Messzeitpunkt t2				Messzeitpunkt t3			
	df	F		Part. Eta ²	df	F		Part. Eta ²
Gruppenzugehörigkeit	1	30.66	***	.15	1	10.83	**	.06
Alter	1	.01		.00	1	.34		.00
Geschlecht	1	.18		.00	1	2.52		.02
Lebensjahre in der Schweiz	1	.46		.00	1	.16		.00
Bildungsnähe der Eltern	3	2.26	†	.04	3	1.94		.03
Involviertheit	4	.96		.02	4	.58		.01
Informiertheit	4	.92		.02	4	.16		.00
Interesse	4	2.98	*	.07	4	2.94	*	.06
Muttersprache	1	.35		.00	1	1.32		.01
Nationalität	1	11.44	**	.06	1	13.38	***	.07
Motivation	1	10.75	**	.06	1	4.60	*	.03
Note Deutsch	1	3.88	*	.02	1	.49		.00
Note Mathematik	1	2.37		.01	1	4.07	*	.02
Sekundarschulniveau (A, B)	1	.22		.00	1	.08		.00
Schulstandort	1	5.07	*	.03	1	1.33		.01
R ² (korr. R ²)		.431 (.335)				.360 (.252)		

Anmerkungen: † p < .1, * p < .05, ** p < .01, *** p < .001

In der Detailbetrachtung der Ergebnisse aus der Kovarianzanalyse wurden mit dem Median-Split-Verfahren zwei Gruppen – eine mit hohen und eine mit niedrigen Werten – gebildet. Anschliessend wurden für jede Gruppe t-Tests berechnet. Die Unterschiede in der Bildungsnähe der Eltern konnten in der Detailanalyse nicht als relevant bestätigt werden. Schülerinnen und Schüler beider Versuchsgruppen weisen bei hohem Interesse höhere Wissens- und Behaltensleistungen aus. Zwischen Probanden mit Schweizer Nationalität und solchen mit einer anderen Nationalität gibt es sowohl in der EG1 wie auch EG2 grosse und signifikante Unterschiede: die Schweizerinnen und Schweizer wissen mehr und können das Wissen besser behalten. Dies wird darauf zurückgeführt, dass die Muttersprache der Lernenden mit Schweizer Nationalität meist Deutsch ist und sie deshalb weniger Mühe hatten, die Texte in den Arbeitsblättern zu verstehen. Die motivationsbedingten Unterschiede bleiben nur in der EG2 bestehen. Die motivierteren Schülerinnen und Schüler ($M_{\text{mot}} = .63$, $SD_{\text{mot}} = .23$) konnten in der herkömmlichen Lernumgebung mehr profitieren als die weniger motivierten ($M_{\text{unmot}} = .49$, $SD_{\text{unmot}} = .17$, $T(1, 104) = -2.48$, $p < .05$). Schülerinnen und Schüler der EG1 mit guten Noten in Mathematik bzw. Deutsch zeigen sowohl signifikant bessere Lern- als auch Behaltensleistungen. In der EG2 werden die Unterschiede jedoch nicht signifikant. Ob sich der Schulstandort in der Stadt oder auf dem Land befindet, spielt in den Untergruppen keine Rolle.

Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Studie erbrachte folgende wichtige Ergebnisse:

1. Beide Experimentalgruppen zeigen nach der Intervention einen Wissenszuwachs. Im Vergleich zum Vortest (t1) ist der Lernzuwachs in beiden Experimentalgruppen auch noch im verzögerten Nachtest (t3) signifikant. Das erworbene Wissen ist also zu einem erheblichen Teil auch noch nach zwei Monaten verfügbar.
2. Der positive Einfluss der instruktionspsychologisch optimierten Lernumgebung in der EG1 lässt sich sowohl im Nachtest (t2) als auch im Follow-up-Test (t3) nachweisen: die Gruppe ist hoch signifikant besser als die EG2. Sie weiss zum Zeitpunkt t3 noch so viel, wie die EG2 zum Zeitpunkt t2, also direkt nach der Intervention, gewusst hat. Bedeutsam ist die relative Beständigkeit des Wissens über die Strahlungsumwandlung und darüber, dass das Lochkonzept falsch ist. Die Wissensunterschiede bezüglich der Strahlungsumwandlung werden auch im t3, also zwei Monate nach dem Treatment, noch hoch signifikant. Zum Messzeitpunkt t3 beantworteten die Probanden der EG1 die Fragen zum Lochkonzept noch zu ca. zwei Dritteln korrekt; der Unterschied zur EG2 ist signifikant. Die Subskala «Wissen CO₂», die sich auf die Wirkung von CO₂ als Treibhausgas bezieht, ergab ebenfalls einen signifikanten Vorteil für die EG1.

3. Die qualitative Auswertung der Schülerzeichnungen zeigt, dass die Strahlungsumwandlung am Boden und die Bedeutung des CO₂ als «Strahlenfänger» in den Zeichnungen der EG1 deutlicher zum Ausdruck gebracht werden als in der Vergleichsgruppe. Das Lochkonzept wurde in beiden Gruppen kaum noch gezeichnet. Insgesamt zeigen die Zeichnungen der EG 2 vom Zeitpunkt t1 zum Zeitpunkt t3 wenige Veränderungen in Richtung auf ein korrekteres Verständnis des Treibhauseffektes.
4. Die Nationalität der Probanden und die Noten in Mathematik und Deutsch, wie auch die affektiven Variablen Interesse und Motivation haben zusätzlich einen Einfluss auf den Wissenszuwachs und die Behaltensleistung der Probanden.

Aus dem Lernzuwachs, der Behaltensleistung und den Zeichnungen der EG1 kann auf eine teilweise oder weitreichende Vorstellungsänderung in Bezug auf das Lochkonzept, die Strahlungsumwandlung und die Bedeutung des CO₂ als «Strahlenfänger» geschlossen werden. Die Konzeptveränderungen werden auf die optimierte Lernumgebung zurückgeführt. Die (1) Anschaulichkeit und leichte Verständlichkeit der Arbeitsblätter und des Modellexperiments, (2) der mit dem Modellexperiment angestrebte kognitive Konflikt und (3) die leichte Übertragbarkeit des im Experiment Beobachteten auf die Realität haben in der EG1 offensichtlich Lerneffekte bewirkt. Auch die EG2 hat einen Lernzuwachs erfahren. Er ist jedoch nicht so beständig, weil die in den Arbeitsblättern verwendeten Schulbuchtexte und -abbildungen zwar korrekte Informationen vermitteln, den Lernern aber zu wenig helfen, ein tieferes Verständnis für das Treibhauseffekt-Prinzip aufzubauen. Ein weiteres Lernhindernis bildet der in der EG2 verwendete abstrakte Schulversuch, dessen Anordnung und Messergebnisse auf die realen Verhältnisse in der Erdatmosphäre zu übertragen sind. Dies erfordert eine beträchtliche kognitive Eigenleistung der Lernenden. Goldstone und Sakamoto (2003) beschreiben, dass konkrete Visualisierungen das Lernen besser unterstützen als idealisierte Visualisierungen (siehe auch Uttal & O'Doherty, 2008). Beide Medien in der EG2, die Arbeitsblätter und der Schulversuch, sind Idealisierungen und eignen sich daher wenig als tragfähige Basis zum Verstehen und Lernen des komplexen und abstrakten Treibhausphänomens. Deshalb hat die herkömmliche Lernumgebung wahrscheinlich keinen beständigen Conceptual Change im Sinne der Reorganisation und sinnvollen Erweiterung der bestehenden mentalen Modelle, sondern nur einen weniger ausgeprägten und weniger beständigen Wissenszuwachs bewirkt.

Vergleicht man die Ergebnisse des Wissenstests mit der Analyse der Schülerzeichnungen, so bestätigt sich die relativ stabile Vorstellungsänderung in der EG1 in Bezug auf die Strahlungsumwandlung. Sie kann in beiden Datenquellen nachgewiesen werden. Auch die Wärmeabsorptionswirkung von CO₂ wurde in der EG1 signifikant häufiger korrekt wiedergegeben und von 9% der Lernenden auch

richtig, d.h. nicht mehr als CO₂-Schicht in der oberen Atmosphäre, gezeichnet. Dieses Ergebnis ist von besonderer Bedeutung, weil bisher durch herkömmlichen Unterricht keine bleibende Vorstellungsänderung dieser beiden sehr beständigen «Fehlvorstellungen» erzeugt werden konnte (Aeschbacher et al., 2001; Anil, 2003; Eisele, 2003). Dass nur eine geringe Anzahl der Lernenden die Wärmeabsorption durch CO₂-Moleküle beschreibt hat damit zu tun, dass in den Arbeitsblättern dieser Aspekt zwar zeichnerisch dargestellt wird, darüber hinaus aber nicht thematisiert wird. Die Lochvorstellung tritt in der EG1 im Wissenstest signifikant weniger auf, gezeichnet wird sie allerdings von beiden Gruppen kaum noch. Dieser Widerspruch zwischen Zeichnungs- und Itembeantwortungsleistung in der EG2 kann als das Ergebnis eines Erinnerungseffekts, der auf die Intervention zurückzuführen ist, gedeutet werden: In den Schülerarbeitsblättern wird nämlich in der ersten Abbildung das Lochkonzept in einer Skizze dargestellt und als häufige, aber falsche Alltagsvorstellung thematisiert (Reinfried et al., 2010). Diese Abbildung wurde wahrscheinlich erinnert, während die Antworten im Wissenstest zeigen, dass die physikalischen Abläufe, die dem Treibhauseffekt-Prinzip zu Grunde liegen von der EG2 nicht verstanden worden sind, dass es also nicht zu einer Wissenserweiterung oder -umstrukturierung gekommen ist. In der EG1 konnten die Vorstellungen der Lernenden mit der lernpsychologisch optimierten Lernumgebung hingegen konzeptionell rekonstruiert werden. Diese erweiterten Vorstellungen bilden denn auch eine gute Basis für die Weiterentwicklung zu einer wissenschaftlicheren Sichtweise.

Die Resultate implizieren, dass eine anschauliche, verständliche und überzeugende Lernumgebung, die instruktionspsychologische Kriterien berücksichtigt, sich besser als herkömmliches Unterrichtsmaterial dazu eignet, auf der Sekundarstufe I ein Fundament für das Verstehen komplexer, abstrakter umweltrelevanter Probleme zu legen. Sieht man Wissen als indirekte Variable des Umweltverhaltens (Fietkau & Kessel, 1981), so stellt das konzeptionell veränderte Wissen darüber, was die Klimaveränderung verursacht und was nicht, einen ersten Schritt zur Schaffung von Bereitschaft zu Umwelthandeln im weitesten Sinn dar. Auch wenn das Verstehen wissenschaftlicher Sachverhalte nicht unmittelbar zu Handlungsentscheidungen führt (Bell, 2003; Gräsel, 1999), muss der Unterricht in der obligatorischen Schulzeit dafür besorgt sein, allen Lernenden das nötige Wissen zu vermitteln, um eine solide Grundlage, auf der angemessene ökologische Verhaltensabsichten überhaupt erst ins Auge gefasst werden können, zu schaffen. Dies gilt umso mehr, wenn es um Umweltphänomene geht, die nicht durch Erfahrung wahrnehmbar sind. Wissen – insbesondere über umweltrelevante Zusammenhänge – ist einer der Faktoren für die Vorhersage der *Akzeptanz* von Umweltschutzmassnahmen (Lude, 2001). Menschen, die sich vorstellen, dass ein Loch in der Atmosphäre oder die Luftverschmutzung Gründe für die globale Erwärmung sind und etwas dagegen tun wollen, verwenden z.B. keine Spraydosen mehr – obwohl die Verwendung von langlebigen FCKW in der EU seit 1996 und in der Schweiz seit 2004 verboten

ist – und setzen sich gegen Rauch, Russ, Feinstaub und Geruchsstoffe zur Wehr (siehe auch Kempton, 1993). Ihr Verhalten als Konsumenten und Wähler bleibt somit im Hinblick auf das eigentliche Ziel, CO₂-Emissionen zu reduzieren und dadurch einen Beitrag zur Verminderung der globalen Erwärmung zu leisten, wirkungslos. Für das Handlungsfeld «Bildung für nachhaltige Entwicklung» heisst dies, dass in Bezug auf die globale Erwärmung erst das korrekte Verständnis zentraler Kausalzusammenhänge zur Bildung von Gestaltungskompetenz, also zu zukunftsorientiertem Denken und Handeln und zur Fähigkeit, an Entscheidungsprozessen partizipieren zu können (De Haan, 2007), führen kann.

Dank

Das Forschungsprojekt GeoConcepts wurde vom Direktionsfonds der Pädagogischen Hochschule Zentralschweiz finanziert. Wir danken den Lehrpersonen Barbara Joss, Christine Müller, Jürg Bieri, Hannes Ledergerber, Hanspeter Kälin, Martin Müller, Ralph Späni, Hans Walther und Wolfgang Zürcher für die Möglichkeit diese Studie in ihren Klassen durchzuführen. Jan Hiller (Referendar für das Lehramt auf der Sekundarstufe I, Abteilung Geographie an der Pädagogischen Hochschule Ludwigsburg) danken wir für seine Unterstützung beim Zusammentragen der für Deutschland relevanten Schulbücher für die Haupt- und Realschule.

Anmerkungen:

- 1 Die Schlüsselkompetenzen der OECD bilden den Referenzrahmen für das Konzept der Gestaltungskompetenz, welches durch Bildung für nachhaltige Entwicklung erworben werden soll (vgl. De Haan, 2007; OECD, 2005).
- 2 GeoConcepts ist die Abkürzung für das Forschungsprojekt «Geoscience Concepts and Conceptual Change: Veränderungen von Alltagsvorstellungen über den Treibhauseffekt und die globale Erwärmung».
- 3 Der Ausländeranteil in der Schweiz beträgt heute 21%, im Kanton Luzern 15.8% (Bundesamt für Statistik, 2009). Der Anteil der Schülerinnen und Schüler mit Migrationshintergrund auf der Sekundarstufe I beträgt im Kanton Luzern 16.7%; in der Studie GeoConcepts betrug der Anteil Jugendlicher ohne Schweizer Nationalität 16.9%.
- 4 Die Sichtung der Aufzeichnungen ergab keine auf die Instruktion oder das Verhalten der Schülerinnen und Schüler zurückzuführende Verzerrungen.
- 5 Die Arbeitsunterlagen für beide Gruppen können hier aus Platzgründen nicht abgedruckt werden und werden an anderer Stelle ausführlich beschrieben (Reinfried et al., 2010).

Literatur:

- Aebli, H. (1983). *Zwölf Grundformen des Lehrens*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Aeschbacher, U. (1992). Meinungen, Wissen und Verstehen von Lehrerstudierenden und –studenten in Sachen «Treibhauseffekt». *Bildungsforschung und Bildungspraxis*, 14 (2), 149-161.
- Aeschbacher, U. (2009). Eine Lanze für das Erklären. *Beiträge zur Lehrerbildung*, 27 (3), 431-437.
- Aeschbacher, U., Calò, C. & Wehrli, R. (2001). „Die Ursache des Treibhauseffektes ist ein Loch in der Atmosphäre“: Naives Denken wider besseres Wissen. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie*, 33 (4), 230-241.
- Aeschbacher, U. & Huber, E. (1996). Der Treibhauseffekt – auch eine pädagogische Heraus-

- forderung. Entwicklung eines Demonstrationsexperiments als didaktische Forschung. *Beiträge zur Lehrerbildung*, 14 (2), 180-190.
- Anil, D. (2003). *Dauerhafte Korrektur mentaler Fehlkonzeptionen am Beispiel des Treibhauseffekts. Textverstehen und Textverständlichkeit*. Unveröffentlichte Lizentiatsarbeit, Universität Basel.
- Auer, H., Detsch, B., Hauck, A., Lacler, R., Nebel, J. & Weigert, C. (2005). *Durchblick. Geschichte/Sozialkunde/Erdkunde. 7. Jahrgangsstufe – M, Bayern, Hauptschule*. Braunschweig: Westermann.
- Ausubel, D. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Batzli, S., Gutmann, B., Hobi, P. & Rempfler, A. (2003). *Das Geobuch 2. Eine Welt – voller Unterschiede*. Zug: Klett und Balmer.
- Bell, R. L. (2003). Exploring the role of nature of science understandings in decision-making. In D. Zeidler (Ed.), *The role of moral reasoning on socioscientific issues and discourse in science education* (pp. 63-79). London: Kluwer.
- Bord, J. R., O'Connor, R. E. & Fisher, A. (2000): In what sense does the public need to understand global climate change? *Public Understanding of Science*, 9, 205-218.
- Boyes, E. & Stanisstreet, M. (1993). The „greenhouse effect“: Children's perception of causes, consequences, and cures. *International Journal of Science Education*, 15 (5), 531-552.
- Brucker, A. & Filser, K. (Hrsg.). (2005). *Begegnungen 7*. Ausgabe B. München: Oldenbourg.
- Bundesamt für Statistik. (2009): *Statistik Schweiz*. Zugriff am 20.09.2009 unter <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/01.html>
- Collins, A. & Gentner, D. (1987). How people construct mental models. In D. Holland & N. Quinn (Ed.), *Cultural models in language and thought* (pp. 243-265). Cambridge University Press.
- De Haan, G. (Hrsg.). (2007). *Orientierungshilfe Bildung für nachhaltige Entwicklung in der Sekundarstufe I. Begründungen, Kompetenzen, Lernangebote. Programm Transfer 21*. Berlin: Freie Universität.
- De Haan, G., Kamp, G., Lerch, A., Martignon, L., Müller-Christ, G. & Nutzinger, H. G. (2008). *Nachhaltigkeit und Gerechtigkeit. Ethics of science and technology assessment* (Bd. 33). Heidelberg: Springer.
- DemoEx. (2010). *Produkte. Treibhauseffekt*. Zugriff am 20.04.2010 unter <http://www.demoex.ch/cms/index.php>
- Dieckmann, A. & Franzen, A. (1995). *Der Schweizer Umweltsurvey 1994. Codebook*. Universität Bern.
- Dieckmann, A. & Meyer, R. (2007). *Der Schweizer Umweltsurvey 2007. Klimawandel, ökologische Risiken und Umweltbewusstsein in der Schweizer Bevölkerung*. Zürich: ETH.
- Dietrich, V. & Mederow, G. (2002). *Naturwissenschaften: Luft*. Berlin: Cornelsen.
- DiSessa, A. (1982). Unlearning Aristotelian physics: A study of knowledge-based learning. *Cognitive Science*, 6, 37-75.
- Duit, R. (2009). *Bibliography STCSE – Students' and Teachers' Conceptions and Science Education*. Zugriff am 16.08.2009 unter www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html
- Duit, R. & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25, 671–688.
- Eck, G. (2005). *TERRA 7 Geschichte Sozialkunde Erdkunde*. Ausgabe für Hauptschulen in Bayern. Gotha: Klett.
- Edelmann, W. (2000). *Lernpsychologie*. Weinheim: Beltz.
- Eisele, C. (2003). *Dauerhafte Korrektur mentaler Fehlkonzeptionen am Beispiel des Treibhauseffekts. Analogie und Abbildung*. Unveröffentlichte Lizentiatsarbeit, Universität Basel.
- Fietkau, H.-J. & Kessel, H. (Hrsg.). (1981). Umweltlernen: Veränderungsmöglichkeiten des Umweltbewusstseins. Modelle – Erfahrungen. Zit. in J. Schahn & T. Griesinger (Hrsg.). (1993), *Die Kluft zwischen Einstellungen und Verhalten beim individuellen Umweltschutz. Psychologie für den Umweltschutz* (S. 29-49). Weinheim: Beltz.

- Glenberg, A. M. & Robertson, D. A. (1999). Indexical understanding of instructions. *Discourse Processes*, 28, 1-26.
- Goldstone, R. & Sakamoto, Y. (2003). The transfer of scientific principles using concrete and idealized simulations. *Journal of Learning Sciences*, 14, 69-110.
- Gräsel, C. (1999). Die Rolle des Wissens beim Umwelthandeln – oder: Warum Umweltwissen träge ist. *Unterrichtswissenschaft*, 27, 196-212.
- Hansen, P. J. K. (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? *International Journal of Science Education*, 32 (3), 397-419.
- IPCC. (2007). Summary for policymakers. In S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, Z. M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor & H. L. Miller (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 University Press.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). Mental models. Cambridge University Press.
- Kempton, W. (1993). Will public environmental concern lead to action on global warming? *Annual Review of Energy and the Environment*, 18, 217-245.
- Kintsch, W. (1998). *Comprehension, a paradigm for cognition*. Cambridge University Press.
- Kunz, P. (1998). Wahrnehmung von Naturgefahren und Naturrisiken. In S. Bader & P. Kunz (Hrsg.), *Klimarisiken – Herausforderung für die Schweiz* (S. 259-294). Zürich: VdF.
- Litz, M. (Hrsg.). (2005). Urknall 7. Ausgabe für die Schweiz. Klett und Balmer: Zug.
- Lude, A. (2001): Naturerfahrung und Naturschutzbewusstsein. Eine empirische Studie. *Forschungen zur Fachdidaktik* (Bd. 2). Innsbruck: Studienverlag.
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning*. Cambridge University Press.
- Nersessian, N. (2008). Mental modeling in conceptual change. In S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of research on conceptual change* (pp. 391-416). New York: Routledge.
- O'Connor, R. E., Bord, R. J. & Fisher, A. (1999). Risk perceptions, general environmental beliefs, and willingness to address climate change. *Risk Analysis*, 19 (3), 461-471.
- O'Connor, R. E., Bord, R. J., Yarnal, B. & Wiefek, N. (2002). Who wants to reduce greenhouse gas emissions? *Social Science Quarterly*, 83 (1), 1-17.
- OECD. (2005). *Definition und Auswahl von Schlüsselkompetenzen. Zusammenfassung 2005*. Zugriff am 30.03.2010 auf <http://www.oecd.org/dataoecd/36/56/35693281.pdf>
- Parchmann, I. & Jansen, W. (1996). Der "Treibhauseffekt" als Folge der Wärmeabsorption von Gasen. *CHEMKON*, 3 (1), 6-11.
- Parchmann, I., Kaminski, B. & Jansen, W. (1995). Die Wärmeabsorption von Gasen. *CHEMKON*, 2 (1), 17-25.
- Pavio, A. (1986). *Mental representations. A dual coding approach*. New York: Oxford University Press.
- Posner, G., Strike, K., Hewson, P. & Gertzog, W. (1982). Conceptual change and science teaching. *European Journal of Science Education*, 4 (3), 231-240.
- Preisendorfer, P. & Franzen, A. (1996). Der schöne Schein des Umweltbewusstseins: Zu den Ursachen und Konsequenzen von Umwelteinstellungen in der Bevölkerung. In A. Diekmann & C. C. Jäger (Hrsg.), *Umweltsoziologie* (S. 219-244). Sonderband der Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Preuss, S. (1991). *Umweltkatastrophe Mensch. Über unsere Grenzen und Möglichkeiten, ökologisch bewusst zu handeln*. Asanger: Heidelberg.
- Rapp, D. N. & Kurby C. A. (2008). The «ins» and «outs» of learning: Internal representations and external visualizations. In J. K. Gilbert, M. Reiner & M. Nakhlel (Ed.), *Visualization: Theory and practice in science education* (pp. 29-51). New York: Springer.
- Reinfried, S., Rottermann, B., Aeschbacher, U. & Huber, E. (in Druck). Wirksamkeit einer lernpsychologisch optimierten Lernumgebung auf die Veränderungen von Schülervorstellungen über den Treibhauseffekt und die globale Erwärmung – eine Pilotstudie. *Geographie und ihre Didaktik* 4.

- Reinfried, S., Rottermann, B., Aeschbacher, U. & Huber, E. (2010). Den Treibhauseffekt zeigen und erklären. In S. Reinfried (Hrsg.), *Schülervorstellungen und geographisches Lernen. Aktuelle Conceptual-Change-Forschung und Stand der theoretischen Diskussion* (S. 124-153). Logos: Berlin.
- 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. *geographie heute*, 265/266, 24-33.
- Rheinberg, F., Vollmeyer, R. & Burns, B. D. (2001). FAM: Ein Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation in Lern- und Leistungssituationen (Langversion, 2001). *Diagnostica*, 2, 57-66.
- Schuler, S. (2002). Subjektive Theorien über globale Umweltprobleme: Eine Zusammenstellung von Forschungsergebnissen zum Thema globaler Wandel. In H. Seybold & W. Riess (Hrsg.), *Bildung für eine nachhaltige Entwicklung in der Grundschule – Methodische und konzeptionelle Ansätze* (S. 145-158). Gmünder Hochschulreihe Bd. 22. Schwäbisch Gmünd: Pädagogische Hochschule.
- Schuler, S. (2005). Umweltwissen als subjektive Theorie: Eine Untersuchung von Schülervorstellungen zum globalen Klimawandel. In M. Schrenk & W. Holl-Giese (Hrsg.), *Bildung für eine nachhaltige Entwicklung – Ergebnisse empirischer Untersuchungen* (S. 97-112). Hamburg: Kovac.
- Uttal, D. H. & O’Doherty, K. (2008). Comprehending and learning from «visualizations»: A developmental perspective. In J. K. Gilbert, M. Reiner & M. Nakhlel (Ed.), *Visualization: Theory and practice in science education* (pp. 53-72). New York: Springer.
- Vosniadou, S. (Ed.). (2008), *International handbook of research on conceptual change*. New York: Routledge.

Schlagnote: Treibhauseffekt, Alltagsvorstellungen, Conceptual Change, instruktionspsychologisch optimierte Lernumgebung

Changer les représentations naïves relatives à l’effet de serre et au réchauffement climatique – Une condition pour l’éducation au développement durable

Résumé

La compréhension correcte des causes principales du réchauffement climatique est à encourager afin de soutenir des mesures politiques capables de réduire les émissions de gaz à effet de serre, en particulier du CO₂. Cependant, les représentations naïves relatives à l’effet de serre et au réchauffement climatique sont très répandues et difficiles à changer. La création d’un dispositif d’apprentissage optimal consacré à l’effet de serre et fondé sur les acquis de la psychologie cognitive a été élaboré afin d’induire un changement conceptuel, à savoir une modification des conceptions erronées des élèves. L’efficacité de ce dispositif a été testée au moyen d’une étude empirique incluant une démarche de pré-test/post-test/groupes de contrôle, suivie deux mois plus tard d’un *Follow-up-Test*. L’étude a été menée auprès de 289 élèves de 8^e année. Les résultats démontrent une amélioration significative des connaissances des apprenants et de leur compréhension du phénomène de l’effet de serre et de ses causes naturelles et anthropiques.

Mots clés: Effet de serre, représentations naïves, changement conceptuel, dispositif d'apprentissage cognitif

Cambiare le concezioni spontanee al riguardo dell'effetto serra e del riscaldamento globale - una condizione preliminare per l'educazione allo sviluppo sostenibile

Riassunto

La corretta comprensione dell'effetto serra è un'importante condizione per procedere a delle scelte politiche atte a favorire la riduzione del gas CO₂ dovuto a tale effetto. Rappresentazioni erranee dell'effetto serra e del riscaldamento globale sono tuttavia molto diffuse e difficili da scardinare. Al fine di ottenere una modifica durevole di queste rappresentazioni spontanee è stato creato un ambiente di apprendimento fondato su basi psicologiche. L'effetto di tale dispositivo di apprendimento è stato sottoposto ad una valutazione empirica su 289 allievi dell'ottavo anno di scuola. Il design prevedeva un pre-post-test con gruppo di controllo e un follow-up test due mesi dopo l'intervento. L'analisi dei risultati mostra una crescita significativa delle conoscenze e una migliore comprensione delle cause naturali e umane dell'effetto serra.

Parole chiave: effetto serra, rappresentazioni spontanee, conceptual change

Changing students' alternative conceptions about the greenhouse effect and global warming – a prerequisite for education for sustainable development

Abstract

The correct understanding of the greenhouse effect is an important prerequisite for the ability to support political measures to reduce the greenhouse gas CO₂. However, alternative conceptions about the greenhouse effect and the resulting global warming are widespread and extremely difficult to change. Thus, a learning environment based on the findings of instructional psychology geared to the implementation of a long-term conceptual change of students' alternative conceptions was developed. A longitudinal survey was applied utilising a pretest-posttest design with intervention and a delayed posttest after two months, including 289 students in grade eight. The statistical analysis shows that the learning environment caused a significant and relatively persistent increase in knowledge and a better understanding of the natural and anthropogenic greenhouse effect phenomenon.

Key words: Greenhouse effect, alternative conceptions, conceptual change, learning environment based on instructional psychology

