



---

## **Wirksamkeit einer lernpsychologisch optimierten Lernumgebung auf die Veränderung von Schülervorstellungen über den Treibhauseffekt und die globale Erwärmung – eine Pilotstudie**

**Efficacy of a Constructivist Learning Environment on Secondary Students' Connections of the Greenhouse Effect and Global Warming—A Pilot Study**

**Sibylle Reinfried , Benno Rottermann, Urs Aeschbacher, Erich Huber**

### **Zitieren dieses Artikels:**

Reinfried, S., Rottermann, B., Aeschbacher, U., & Huber, E. (2010). Wirksamkeit einer lernpsychologisch optimierten Lernumgebung auf die Veränderung von Schülervorstellungen über den Treibhauseffekt und die globale Erwärmung – eine Pilotstudie. *Geographie und ihre Didaktik | Journal of Geography Education*, 38(4), S. 218-239. doi 10.18452/25541

### **Quote this article:**

Reinfried, S., Rottermann, B., Aeschbacher, U., & Huber, E. (2010). Wirksamkeit einer lernpsychologisch optimierten Lernumgebung auf die Veränderung von Schülervorstellungen über den Treibhauseffekt und die globale Erwärmung – eine Pilotstudie. *Geographie und ihre Didaktik | Journal of Geography Education*, 38(4), pp. 218-239. doi 10.18452/25541

## Wirksamkeit einer lernpsychologisch optimierten Lernumgebung auf die Veränderungen von Schülervorstellungen über den Treibhauseffekt und die globale Erwärmung – eine Pilotstudie

Sibylle Reinfried, Benno Rottermann, Urs Aeschbacher und Erich Huber

### *Efficacy of a constructivist learning environment on secondary students' conceptions of the greenhouse effect and global warming – a pilot study*

*This research project is based on the hypothesis that the understanding of complex concepts in physical geography and the geo sciences warped by popular mental models largely immune to change can be rectified through cognitive conflict strategy. So, for instance, holes in the atmosphere or layers of pollutant gases in the atmosphere are commonly blamed for the greenhouse effect. In order to test whether such lay perceptions can be altered by adequate teaching material, a constructivist learning environment was devised and optimized according to the findings of instructional psychology geared to causing a cognitive conflict and conceptual change. A longitudinal pilot survey using a pretest-posttest design with intervention and a delayed posttest two months later was employed to analyze the efficacy of the constructivist learning environment compared to conventional teaching materials. A total of 41 thirteen-years-old 8th grade students participated. The results of the statistical analysis show that the intervention lead to a significant increase in knowledge and a better understanding of the principle of the greenhouse effect in the experimental group in the posttest as well as in the delayed posttest. These results are of considerable significance because none of the attempted treatments published so far have succeeded in bringing about long-term conceptual change.*

**Keywords:** Mental models, conceptual change, cognitive conflict, greenhouse effect, global warming, constructivist learning environment.

### **Summary (BGI)**

To test the efficacy of a constructivist learning environment geared to causing a conceptual change of naïve personal theories of the greenhouse effect a longitudinal pilot survey using an experimental-control-group-design was employed. The intervention lead to a significant increase in knowledge and a better understanding of the principle of the greenhouse effect.

### **1 Einleitung**

Angesichts der realen Bedrohung unserer Erde durch die globale Erwärmung (IPCC 2001, 2007) muss es ein vorrangiges Bildungsziel sein, dass Jugendliche die Ursachen und Auswirkungen des anthropogen verstärkten Treibhauseffekts verstehen, um sich in Zukunft als aktive Bürger am Dialog

über Treibhausgas-reduzierende Maßnahmen beteiligen und so Verantwortung übernehmen zu können. Politisch partizipieren und Einfluss nehmen können sind normative Bildungsziele, welche die Grundlage für die Schlüsselkompetenz der gelebten Demokratie bilden (OECD 2005; DE HAAN ET AL. 2008). Die Umweltbildung verzeich-

net jedoch in Sachen Treibhauseffekt einen notorischen Misserfolg. Nach wie vor ist es in der Bevölkerung um diesbezügliches Wissen und Verständnis schlecht bestellt, obwohl der Treibhauseffekt seit Jahren ein Standardthema in Schule und Medien ist (AESCHBACHER 1992; BORD ET AL. 2000; DIECKMANN, FRANZEN 1995; DIECKMANN, MEYER 2007; ÖSTERLIND 2005). Es stellt sich die Frage, ob dieses Wissensdefizit ein Problem darstellt, wo doch seit drei Jahrzehnten empirische Studien bekanntlich nur geringe Zusammenhänge zwischen Umweltwissen und Umweltverhalten finden (KUCKARTZ 1998). Neure Befunde zum Problem Treibhauseffekt zeigen nun, dass Wissen und das korrekte Verstehen der Ursachen der globalen Erwärmung als die Schlüsseldeterminanten für die Verhaltensabsichten, die globale Erwärmung aktiv anzugehen, gesehen werden: In zwei Befragungen von je 1000 US-Bürgern erwies sich korrektes Wissen über die Ursachen des Treibhauseffekts als der stärkste Prediktor der Unterstützungsbereitschaft für staatliche Lenkungs- und Gesetzesmaßnahmen zur Senkung des CO<sub>2</sub>-Ausstosses (O'CONNOR ET AL. 1999; O'CONNOR ET AL. 2002). Umfangreiche Forschungen konnten zudem belegen, dass zwischen Verhaltensabsichten und tatsächlichem Verhalten eine hohe Korrelation besteht (AJZEN 2005). Um motiviert dafür zu sein, Maßnahmen zur Kontrolle der globalen Erwärmung zu unterstützen, genügt eine generelle Besorgnis oder Beunruhigung wegen der heutigen Umweltprobleme also nicht. Es ist vielmehr das Fachwissen, das Entscheidungsprozesse für nachhaltiges Handeln legitimiert. Wer wirksam auf die Warnungen aus der Wissenschaft vor den Folgen einer zunehmenden CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre reagieren will, muss einen Überblick über die Wirkungszusammenhänge des Treibhauseffektes und der globalen Erwärmung haben (KUNZ 1998; PREISENDÖRFER, FRANZEN 1996).

Dem Kompetenzerwerb beim Thema Treibhauseffekt stehen jedoch sehr beständige Alltagsvorstellungen, in diesem Beitrag auch, subjektive Theorien, Alltagstheorien oder ‚Fehlvorstellungen‘ genannt, entgegen. Untersuchungen über die subjektiven Theorien von Kindern und Erwachsenen über den Treibhauseffekt (AESCHBACHER 1992; BOYES, STANISSTREET 1993) ergaben, dass als Erklärung für die globale Erwärmung häufig Abgase oder das Ozonloch herangezogen werden. SCHULER (2005) hat in diesen Vorstellungen verschiedene mentale Modelle identifiziert. Besonders weit verbreitet sind das ‚Glashausmodell‘ und das ‚Ozonlochmodell‘ (AESCHBACHER ET AL. 2001; DIECKMANN, FRANZEN 1996; ANIL 2003; EISELE 2003; SCHULER 2005). Das Glashausmodell (bei SCHULER [2005] auch Luftverschmutzungsmodell genannt) ist ein mentales Modell, nach welchem Abgase zur Ausbildung einer Schicht in der Atmosphäre führen, weshalb die Atmosphäre keine Wärme mehr ins Weltall abstrahlen kann. 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. Die Forschung zeigt, dass diese Alltagsvorstellungen außerordentlich „belehrungsresistent“ sind und sich durch herkömmliche Instruktion kaum verändern lassen (AESCHBACHER ET AL. 2001).

Dass Alltagsvorstellungen eine zentrale Rolle beim Lernen spielen, ist heute in der Kognitionspsychologie unbestritten. In vielen Studien konnte gezeigt werden, dass die vorunterrichtlichen, inhaltlichen Vorstellungen in aller Regel mit den im Unterricht zu lernenden wissenschaftlichen Begriffen und Prinzipien nicht übereinstimmen (DUIT, TREAGUST 2003). Da die vorunterrichtlichen Vorstellungen das Interpretationsschema bereitstellen, mit dem Lernende alles, was im Unterricht gesagt und gezeigt

wird, deuten, bleiben Lernfortschritte oftmals teilweise oder gänzlich aus. Die Conceptual-Change-Forschung untersucht, wie Alltagsvorstellungen von Lernenden entstehen und wie sie verändert werden können. Conceptual Change (Konzeptveränderung) bedeutet nicht, dass die Vorstellungen im Denken der Lernenden einfach ersetzt werden können, sondern dass die subjektiven Theorien von Lernenden durch Unterricht zu reorganisieren und den wissenschaftlichen Vorstellungen anzugleichen sind. In engem Zusammenhang damit steht auch die Frage, wie komplexe Inhalte, Begriffe und Prozesse im Unterricht zu vermitteln sind, so dass langfristige Wirkungen erzielt werden. Die Vorstellungsforschung hat nachgewiesen, dass wissenschaftlich korrektes Wissen nicht einfach über Medien und informierenden Unterricht gelernt werden kann, sondern dass die bestehenden Alltagsvorstellungen zuerst identifiziert und dann in elaborierten Lernumgebungen restrukturiert werden müssen (DUIT, TREAGUST 2003; HARDY ET AL. 2006; siehe auch „das Modell der didaktischen Rekonstruktion“ von KATTMANN ET AL. 1998 und REINFRIED 2006). Differenzierte Alltagstheorien werden als wichtige Voraussetzung für die Kompetenz, komplexe Entwicklungen zu bewerten, gesehen (SCHULER 2002, 2005). Die subjektiven Theorien, deren Ausprägung vom Wissen abhängig ist (COLLINS, GENTNER 1987), entscheiden also, wie ernst ein Umweltproblem genommen wird und ob man sein Verhalten damit in Verbindung bringen kann oder nicht.

Die Conceptual-Change-Forschung sieht Lernen generell als Konzeptveränderung (DUIT 2008). Eine verbreitete Strategie, mit der eine Konzeptveränderung eingeleitet werden soll, ist die Erzeugung eines kognitiven Konflikts, eines Widerspruchs oder Bruchs zwischen der Schülervorstellung und der wissenschaftlichen Vorstellung (POSNER ET AL. 1982). Nach DUIT, TREAGUST

(1998) kann ein kognitiver Konflikt unter verschiedenen Szenarien induziert werden:

- Der Konflikt ergibt sich aus der Diskrepanz zwischen der Vorhersage des Lernenden zu einem Experiment und der anschließenden Beobachtung.
- Es ergeben sich Unterschiede zwischen der Lernervorstellung und der (wissenschaftlichen) Lehrervorstellung.
- Es existieren Unterschiede zwischen den Vorstellungen der Lernenden.
- Der Konflikt ergibt sich aus einer intra-individuellen Diskrepanz, d.h. es existieren Widersprüche zwischen den Vorstellungen eines Lerners.

Conceptual-Change-Theorien sehen Conceptual Change entweder als Anreicherung und einer damit verbundenen Entwicklung der Vorstellung im Sinne der Assimilation von Piaget (Conceptual Growth, Conceptual Development, kontinuierlicher Lernweg) oder als grundlegende Revision der Vorstellung, also im Sinne von Piaget als Akkommodation (diskontinuierlicher Lernweg) (TYSON ET AL. 1997, S. 389) oder als Conceptual Reconstruction im Sinne von Modifizierung, Bereicherung und Differenzierung der Vorstellung (KATTMANN 2005). Gemeinsamer Kern all dieser Ansätze ist die Auffassung des Conceptual Change als eines komplexen, zeitaufwändigen Prozesses, in welchem Lernende kohärentes und sinnstiftendes Wissen konstruieren (STAVY 1998; MAYER 2002).

## **2 Die Wirksamkeitsstudie GeoConcepts**

### **2.1 Zielsetzung, Forschungsfragen, Lernmaterial und Testinstrumente**

Über die Entstehung von Alltagsvorstellungen gibt es verschiedene Theorien (STARK 2003; TREAGUST, DUIT 2008). In der hier vorgestellten Studie GeoConcepts (= GEOSCIENCE CONCEPTS AND CONCEPTUAL CHANGE: Veränderungen von

Alltagsvorstellungen über den Treibhauseffekt und die globale Erwärmung) wird das Verständnis des Treibhauseffekts als ein Problem der sehr stabilen Rahmentheorien der Lernenden gesehen, die sich früh in der Kindheit bilden und tief in unserem Alltagsdenken verankert sind (VOSNIADOU, BREWER 1992). Dies lässt sich am Beispiel des Glashauses gut verdeutlichen: Aus dem Alltagswissen, „durch ein Loch (Ozonloch) kann etwas rein“ und „Sonnenstrahlen erzeugen Wärme“ wird für die Erklärung des Treibhauseffektes das Lochschema konstruiert. Durchsichtigkeit eines Gases bedeutet für den Laien automatisch auch Strahlendurchlässigkeit. Das Phänomen ‚Wärmestau am CO<sub>2</sub>‘ fehlt dagegen völlig in unserer Alltagserfahrung (AESCHBACHER, HUBER 1996). Das Lochschema und die fehlende Erfahrung der Wärmeabsorption von Gasen führen zur Konstruktion eines Synthesemodells, des Glashauses (siehe REINFRIED ET AL. 2008). Umlernen im Sinne des Conceptual Change kann beispielsweise dann geschehen, wenn neue Konzepte bei den Lernenden einen kognitiven Konflikt (eine *Unzufriedenheit*) induzieren, wenn sie also z. B. im Widerspruch zur bisherigen Vorstellung stehen und *plausibler, verständlicher und fruchtbarer* erscheinen (PIAGET 1976; POSNER ET AL. 1982). Beim Treibhauseffekt gilt es die folgenden physikalischen Einzelphänomene und ihr Zusammenwirken zu verstehen, und 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 langwellige Wärmestrahlung.
2. Die CO<sub>2</sub>-Moleküle absorbieren die Wärmestrahlung und geben sie selbst wieder

in alle Richtungen ab. Sie verlangsamen so den Prozess der Abstrahlung von Wärmeenergie in den Weltraum. Kurzwellige Sonnenstrahlung hingegen passiert die CO<sub>2</sub>-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 Erdoberfläche 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 Lernumgebung, die aus Arbeitsblätter und einem von der Firma DemoEx entwickelten ‚Modellexperiment‘ besteht (DEMOEX 2009), nach den Prinzipien des Modells der didaktischen Rekonstruktion entwickelt (REINFRIED ET AL. 2008), welche

- a. die genannten schematheoretischen Ursachenerklärungen des Treibhauseffekt-Prinzips berücksichtigt,
- b. die Bedingungen für einen Conceptual Change (nach POSNER ET AL. 1982), der die Reorganisation der Ausgangsvorstellungen ermöglicht, einschließt und
- c. Maßnahmen zur Text- und Bildoptimierung auf der Grundlage von kognitiven Prozessen des Text- und Bildverstehens einbezieht (KINTSCH 1998; MAYER 2001; PAIVIO 1986).

Die Wirksamkeit dieser Lernumgebung wurde im Hinblick auf eine Veränderung der fehlerhaften, subjektiven Theorien über den Treibhauseffekt in der Studie GeoConcepts überprüft, indem sie mit herkömmlichem Schulmaterial (Texte und Abbildungen aus Schulbüchern und einem klassischen Schulversuch) kontrastiert wurde. Die dem Untersuchungsdesign zugrunde liegende Hypothese lautete: Die konstruktivistische, lernpsychologisch optimierte Lernumge-

bung hat einen signifikant positiveren Einfluss auf das sachlich richtige Verständnis des Treibhauseffekts als eine Lernumgebung, die herkömmliches Unterrichtsmaterial verwendet. Untersucht wurden im Einzelnen folgende Forschungsfragen:

1. Wie groß sind der Lernerfolg und die Stabilität des angestrebten Konzeptwechsels unter den verschiedenen Bedingungen in der Experimentalgruppe mit lernpsychologisch optimiertem Unterrichtsmaterial und der Kontrollgruppe mit herkömmlichem Unterrichtsmaterial?
2. Wie unterscheiden sich die Vorstellungen der Experimental- und der Kontrollgruppe nach der Intervention?

Sowohl in der Experimental- wie auch in der Kontrollgruppe besteht die Unterrichtseinheit aus Arbeitsblättern und einem Versuch. Methodisch kommen Einzel- und Partnerarbeit, Hypothesenbildung, ein Demonstrationsversuch mit Beobachtungsauftrag sowie eine Klassendiskussion zum Einsatz. Die Arbeitsblätter sind für beide Gruppen gleich aufgebaut und enthalten für beide Gruppen dieselben Informationen (vgl. die Arbeitsblätter 1 für die Experimental- und Kontrollgruppe im Anhang 1 und 2). Für die Experimentalgruppe sind diese jedoch instruktionspsychologisch optimiert (vgl. REINFRIED ET AL. 2008), während sie für die Kontrollgruppe aus Abbildungen und Texten aus gängigen Schulbüchern für das 8. Schuljahr zusammengestellt sind. Diese Texte und Abbildungen der Kontrollgruppenarbeitsblätter wurden aus in der Deutschschweiz verbreiteten Schulbüchern für die Sekundarstufe I gewonnen (BACHOFNER ET AL. 2001, BATZLI ET AL. 2003, LITZ 2005) und mittels der Analyse von 52 zufällig ausgewählten allgemein erhältlichen aktuellen Geographieschulbüchern für die Sekundarstufe I und II, 4 Lehrbüchern und einem Lexikon,

alle aus dem deutschsprachigen Raum, und 37 deutschsprachigen Internetquellen (Stand Mai 2009) validiert. Sie repräsentieren den Status Quo der Wissensdarstellung in gängigem Schul- und Lehrmaterial, das Lehrerinnen und Lehrern für die Vorbereitung und den Unterricht zur Verfügung steht. Die Analyse ergab, dass sich die Autoren der Schul- und Lehrbücher und der Internetseiten der Alltagsvorstellungsproblematik in der Regel nicht bewusst sind, ja dass sie zum Teil sogar die gängigen Fehlvorstellungen in Texten und Abbildungen reproduzieren (z. B. DIETRICH, MEDEROW 2002, S. 57). Die meisten Graphiken und Texte beinhalten didaktisch reduziertes Fachwissen; die Vereinfachungen beziehen sich praktisch immer auf die Strahlungsumwandlung und die Wirkungsweise der Treibhausgase (vgl. AUER ET AL. 2005, S. 48), 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 schwer machen, das Wesentliche herauszuschälen (BATZLI ET AL. 2003, S. 128). Die in Schulbüchern publizierten Lernmaterialien (und oft auch schulrelevantes Material auf 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 – der Strahlungsumwandlung und der Absorptionswirkung des  $\text{CO}_2$  – wird wenig bis keine Beachtung geschenkt.

Auch die in beiden Gruppen verwendeten Versuche unterscheiden sich. Das in der Experimentalgruppe verwendete Modellexperiment, ein didaktisch aufbereiteter Versuch, zeigt die Absorption von Wärmestrahlung durch  $\text{CO}_2$  qualitativ und

erlebniswirksam und in einer instruktionspsychologisch optimierten Versuchsanordnung (AESCHBACHER, HUBER 1996), die das Ziel hat einen kognitiven Konflikt auszulösen. CO<sub>2</sub> wird in den Strahlengang zwischen einer Modellerde, die Wärmestrahlung abgibt, und einem Messgerät in einen durchsichtigen Behälter eingefüllt. Der Zeigerausschlag des Messgeräts zeigt, dass das unsichtbare Gas eine unsichtbare, von der ‚Modellerde‘ ausgehende Strahlung behindert (siehe Arbeitsblatt 2 für die Experimentalgruppe im Anhang 1). Der Schulversuch für die Kontrollgruppe zeigt dieselben Effekte quantitativ, nach den methodologischen Kriterien eines wissenschaftspropädeutischen Unterrichts (Versuch zur Absorption von Wärmestrahlung nach Tyndall; vgl. PARCHMANN ET AL. 1995; PARCHMANN, JANSEN 1996; siehe Arbeitsblatt 2 für die Kontrollgruppe im Anhang 2).

## 2.2 Stichprobe, Design und Messinstrument

Die hier vorgestellte Studie ist eine Pilotstudie, die einem größeren Forschungsprojekt vorausgeht. Die Probanden setzten sich aus zwei Gymnasialklassen (8. Schuljahr) aus einer großen Deutschschweizer Stadt, welche bis jetzt noch keinen Physik- und Chemieunterricht hatten, zusammen (n = 41; Sekundarstufe I; durchschnittliches Alter = 14 Jahre; 21 Mädchen, 20 Jungen). 36 Schülerinnen und Schüler waren zu allen drei Messzeitpunkten anwesend.

Um die Effekte der Lernumgebungen zu testen, wurde ein quasi-experimentelles Pretest-Posttest-Kontrollgruppen-Design mit einem verzögerten Nachtest nach acht Wochen gewählt (vgl. Tab. 1). Der Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler wurde vor und nach dem Treatment über den Punktestand, der sich aus den Wissensfragen eines speziell für die Studie entwickelten Fragebogens ergab, entsprechend der Korrektheit des Verständnisses des Treibhauseffekts, ermittelt. Der Fragebogen enthält 24 Wissensfragen, die zu den folgenden vier Subskalen ‚Strahlungsumwandlung‘, ‚Wissen über CO<sub>2</sub>‘, ‚Lochkonzept‘ und ‚Zusammenwirken mehrerer Faktoren‘, gruppiert wurden. Sie wurden mittels einer 5-Punkte Likert-Skala von ‚trifft nicht zu‘ bis ‚trifft völlig zu‘ bzw. einer 6. Antwortspalte ‚weiß nicht‘ beantwortet. Außerdem sollten die Schülerinnen und Schüler ihre Vorstellung vom Treibhauseffekt beschreiben und skizzieren. Die zum Messzeitpunkt t1 und t3 erstellten Zeichnungen und die dazugehörenden Beschreibungen wurden kategorisiert und kodiert. Das hierfür entwickelte Kodiersystem besteht aus acht Kategorien, 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 übereinstimmen-

Tab. 1: Die Versuchsanordnung

Probanden	Ausgangszustand (t1)	5-7 Tage nach dem Pretest: Treatment (ca. 90 Minuten Unterricht)	Direkt nach dem Treatment (t2)	8 Wochen nach dem Treatment (t3)
Experimentalgruppe	Pretest	lernpsychologisch optimierte Lernumgebung	Posttest	Follow-up-Test
Kontrollgruppe		Lernumgebung mit herkömmlichem Unterrichtsmaterial		

de 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: Geschlecht, Alter, Lebensjahre in der Schweiz, Bildungsnähe der Eltern, Involviertheit (sich Sorgen machen über die globale Erwärmung), Informiertheit und Interesse. Der Unterricht wurde in beiden Gruppen von Benno Rottermann durchgeführt und zu Kontrollzwecken mit Video aufgezeichnet. Die Klassen wurden der Experimental- oder Kontrollgruppe zugeordnet. Die mit den Fragebögen und der Kodierung erfassten Daten wurden mit SPSS (Version 14) ausgewertet.

**3 Ergebnisse**

**3.1 Reliabilitätsprüfung des Messinstruments**

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. Zur Überprüfung der Reliabilität des Fragebogens wurde die interne Konsistenz berechnet. Die Reliabilitätswerte der 24 Fragen im Fragebogen zu den Messzeitpunkten t2 und t3 ergeben ein Cronbach's a von .80 bzw. .85 und liegen damit deutlich höher als zum Messzeitpunkt t1 (Tab. 2). Die niedrigeren Werte im Pretest t1 können dadurch erklärt werden, dass die Schülerinnen und Schüler zu Beginn der Studie wenig vom Treibhauseffekt wussten, so dass sie manchmal gera-

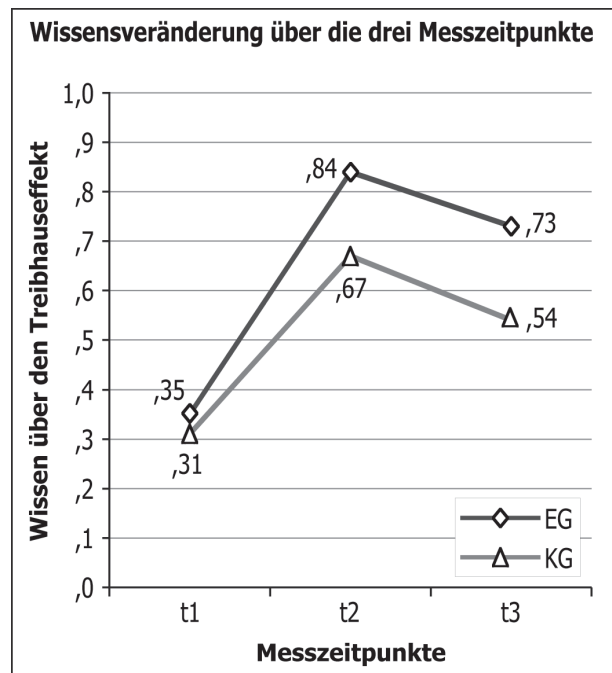
ten haben und zudem oftmals ‚weiß nicht‘ angekreuzt haben.

**Tab. 2: Reliabilitäten des Fragebogens zu den drei Messzeitpunkten**

Fragebogen / Zeitpunkt	Reliabilität des Wissenstests über alle Skalenbereiche
Pretest (t1)	.59
Posttest (t2)	.80
Follow-up-Test (t3)	.85

**3.2 Wissensveränderung über die Zeit**

Die Wissensveränderung über die drei Messzeitpunkte wurde varianzanalytisch (ANOVA) geprüft. Aus den Mittelwertsunterschieden zwischen der Experimental- und Kontrollgruppe geht hervor, dass zwischen Pretest (t1) und Posttest (t2) in beiden Gruppen ein signifikanter Wissenszuwachs stattgefunden hat. Sowohl die Schülerinnen und Schüler der Experimentalgruppe als auch der Kontrollgruppe wissen also im Posttest höchst signifikant mehr über den Treibhauseffekt als im Pretest (Tab. 3, Abb. 1). Da es im Pretest keine



**Abb. 1: Wissensveränderung der Experimentalgruppe (EG) und Kontrollgruppe (KG) über die Zeit.**



Tab. 3: Mittelwerte und Standardabweichungen (SD) für Experimentalgruppe EG und Kontrollgruppe KG sowie F-Werte und Eta-Quadrate der Varianzanalysen (G: Gruppenzugehörigkeit; Z lin: Zeit linear; Z quad: Zeit quadratisch; I lin: Interaktion Zeit mal Gruppe linear; I quad: Interaktion Zeit mal Gruppe quadratisch). Die Skala ‚Wissen Treibhauseffekt‘ beinhaltet alle Items der vier Subskalen.

Skalen	Mittelwerte (SD)		F <sub>G</sub> df	Eta <sup>2</sup>	F <sub>Z lin</sub> df	Eta <sup>2</sup>	F <sub>Z quad</sub> df	Eta <sup>2</sup>	F <sub>I lin</sub> df	Eta <sup>2</sup>	F <sub>I quad</sub> df	Eta <sup>2</sup>
	EG	KG										
<i>Hauptskala</i>												
Wissen Treibhauseffekt t1	.35 (.13)	.31 (.16)	10.0**	.23	69.6***	.67	127.0***	.79	3.9†	.10	1.0	.03
Wissen Treibhauseffekt t2	.84 (.08)	.67 (.18)	1, 34		1, 34		1, 34		1, 34		1, 34	
Wissen Treibhauseffekt t3	.73 (.23)	.54 (.19)										
<i>Subskalen</i>												
Lochkonzept t1	.26 (.12)	.27 (.19)	4.9*	.13	59.7***	.64	30.8***	.48	6.6*	.16	0.0	.00
Lochkonzept t2	.69 (.18)	.58 (.21)	1, 34		1, 34		1, 34		1, 34		1, 34	
Lochkonzept t3	.79 (.25)	.54 (.30)										
Wissen CO <sub>2</sub> t1	.27 (.21)	.25 (.19)	9.4**	.22	26.6***	.44	78.5***	.70	4.7*	.12	0.2	.01
Wissen CO <sub>2</sub> t2	.91 (.10)	.73 (.30)	1, 34		1, 34		1, 34		1, 34		1, 34	
Wissen CO <sub>2</sub> t3	.66 (.28)	.40 (.29)										
Strahlungsumwandlung t1	.24 (.21)	.22 (.22)	7.4*	.18	44.7***	.57	59.7***	.64	2.7	.07	1.9	.05
Strahlungsumwandlung t2	.84 (.15)	.62 (.29)	1, 34		1, 34		1, 34		1, 34		1, 34	
Strahlungsumwandlung t3	.67 (.27)	.48 (.24)										
Zusammenwirken t1	.64 (.21)	.50 (.23)	6.7*	.16	14.3**	.30	36.3***	.52	0.8	.02	1.0	.03
Zusammenwirken t2	.94 (.08)	.78 (.18)	1, 34		1, 34		1, 34		1, 34		1, 34	
Zusammenwirken t3	.78 (.26)	.74 (.22)										

†  $p < .1$ ; \*  $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$

**Tab. 4: Häufigkeitsverteilung der Schülerantworten zu den Fragen der vier Fragebogen-subskalen (EG = Experimentalgruppe, KG = Kontrollgruppe).**

Skalen/Konstrukte	EG in % (n=19)	KG in % (n=19)
	richtig	richtig
Lochkonzept t1	22	23
Lochkonzept t2	64	56
Lochkonzept t3	65	46
Wissen CO <sub>2</sub> t1	24	21
Wissen CO <sub>2</sub> t2	76	62
Wissen CO <sub>2</sub> t3	55	37
Strahlungsumwandlung t1	18	19
Strahlungsumwandlung t2	69	53
Strahlungsumwandlung t3	57	47
Zusammenwirken t1	55	43
Zusammenwirken t2	78	67
Zusammenwirken t3	60	60

signifikanten Unterschiede zwischen der Experimental- und Kontrollgruppe gibt, ist davon auszugehen, dass sich die Gruppen nicht nachweisbar in ihrem Vorwissen unterscheiden haben. Im t2 und t3 unterscheiden sich die Mittelwerte der Experimentalgruppe jedoch signifikant von denjenigen der Kontrollgruppe (Tab. 3) und die Varianzaufklärung der Gruppenzugehörigkeit erreicht eine mittlere Effektgröße. Die Experimentalgruppe weiß sowohl im t2 also auch im t3 signifikant mehr als die Kontrollgruppe.

Was den Wissenszuwachs der beiden Gruppen über die drei Messzeitpunkte anbelangt, so weist der Test der Zwischensubjekteffekte einen signifikanten Haupteffekt für die Gruppenzugehörigkeit aus. Beide Gruppen wissen zum Messzeitpunkt t2 signifikant mehr als zum Messzeitpunkt t1 und zum Messzeitpunkt t3 signifikant weniger als zum Messzeitpunkt t2. Die Experimentalgruppe weiß auch zum Messzeitpunkt t3 signifikant mehr als die Kontrollgruppe ( $F(1,34) = 10.0, p < .01, \eta^2 = 0.23$ ).

Betrachtet man den Wissenszuwachs in den vier Teilbereichen (Subskalen), so zeigen die Befunde für jede Subskala signifikante Haupteffekte (Gruppenzugehörigkeit und Zeit) sowie für das ‚Lochkonzept‘ und das ‚Wissen über CO<sub>2</sub>‘ signifikante Interaktionen (Zeit x Gruppenzugehörigkeit) von t1 zu t3 (Tab. 3). Die Experimentalgruppe weiß zudem bei allen vier Subskalen ‚Lochkonzept‘, ‚Wissen CO<sub>2</sub>‘, ‚Strahlungsumwandlung‘ und ‚Zusammenwirken mehrerer Faktoren‘ zu den Messzeitpunkten t2 und t3 signifikant mehr als die Kontrollgruppe. Die lineare Interaktion zwischen Zeit und Gruppenzugehörigkeit wird bei der Hauptskala ‚Wissen über Treibhaus-effekt‘ tendenziell und bei den Unterskalen ‚Lochkonzept‘ und ‚Wissen über CO<sub>2</sub>‘ signifikant. Das Konstrukt ‚Lochkonzept‘ konnte in der Experimentalgruppe stark verändert werden und dieser Lerneffekt bleibt bis zum verzögerten Nachtest relativ stabil. Das zeigt auch die Häufigkeitsverteilung der Antworten auf die Fragebogenfragen (Tab. 4): Zum Messzeitpunkt

**Tab. 5: Prozentuale Häufigkeiten ausgewählter Konstrukte, die in den Schülerzeichnungen zum Messzeitpunkt t3 gezeichnet wurden.**

Konstrukte in Schülerzeichnungen	EG (in %)		KG (in %)		Chi <sup>2</sup> <sub>Pearson</sub> F
	nicht vorh.	vorhanden	nicht vorh.	vorhanden	
Strahlenreflexion an der Erdoberfläche	75	25	37	43	5.77*
Strahlenreflexion an schichtartiger Obergrenze der Atmosphäre	85	15	42	58	7.80**
CO <sub>2</sub> bremst Wärmeabstrahlung	40	60	84	16	8.05**
Luftverschmutzung	90	10	58	42	5.27*

t2 beantworteten 64% der Probanden der Experimentalgruppe die Fragen zum Lochkonzept korrekt; acht Wochen nach dem Treatment waren es sogar 65%.

#### Auswertung der Zeichnungen

Die Auswertung der Zeichnungen und die dazugehörigen Beschreibungen, die im Vortest und verzögerten Nachtest angefertigt wurden, erfolgte mittels Kreuztabellen und Chi-Quadrat-Test nach Pearson. Sie ergab, dass die Schülerinnen und Schüler der Kontrollgruppe im verzögerten Nachtest signifikant häufiger eine Reflexion der einfallenden Sonnenstrahlung an der Erdoberfläche zeichneten (Tab. 5). Auch die Vorstellung, dass die Atmosphäre schichtartig

nach oben begrenzt sein muss und dass diese Grenze als Strahlenhindernis wirkt, ist zum Messzeitpunkt t3 in der Kontrollgruppe häufig. Beide Vorstellungen kommen in den Zeichnungen der Experimentalgruppe im t3 signifikant weniger vor. Die Experimentalgruppe ging hingegen in ihren Skizzen signifikant häufiger auf die Wirkung des CO<sub>2</sub> als ‚Strahlenfänger‘ der von der Erdoberfläche kommenden langwelligen Wärmestrahlung ein. Die Vorstellung, dass die allgemeine Luftverschmutzung (Feinstaub, Russ- und Abgasemissionen aus Fabriken und Fahrzeugen) den Treibhauseffekt verursacht, ist bei der Kontrollgruppe zum Messzeitpunkt t3 ebenfalls signifikant häufiger zeichnerisch dargestellt.

**Tab. 6: Einflussfaktoren zum Messzeitpunkt t2 und t3**

Kovariate	Posttest t2			Follow-up t3		
	F	df	Eta <sup>2</sup>	F	df	Eta <sup>2</sup>
Vorwissen (Pretest t1)	.67	1, 35	.04	.51	1, 33	.03
Gruppenzugehörigkeit	4.54*	1, 35	.21	11.44**	1, 33	.40
Geschlecht	.04	1, 35	.00	1.68	1, 33	.09
Alter	.04	1, 35	.00	1.90	1, 33	.10
Jahre in der Schweiz	.24	1, 35	.00	.94	1, 33	.05
Bildungsnähe der Eltern	1.01	3, 35	.15	1.14	3, 33	.17
Sorgen/Involviertheit	.67	4, 35	.11	3.02*	4, 33	.42
Informiertheit	.50	2, 35	.07	.93	2, 33	.10
Interesse	.25	3, 35	.04	.81	3, 33	.12
R <sup>2</sup>	.65			.75		
Korrigiertes R <sup>2</sup>	.31			.50		

\* p < .05, \*\* p < .01

### Überprüfung von Einflussfaktoren

Es ist davon auszugehen, dass nicht nur die Art der Lernumgebung (Arbeitsblätter, Modell) einen Einfluss auf den Wissenszuwachs und die Behaltensleistung hat, sondern noch viele andere, personen- und umgebungsbedingte Faktoren. In der Analyse mit acht Faktoren (ANCOVA) zeigte sich im Posttest nur die Gruppenzugehörigkeit als einzige der einbezogenen Kovariaten bei einem korrigierten  $R^2$ -Wert von .31 signifikant (Tab. 6). In der Follow-up-Befragung erklärt die Gruppenzugehörigkeit nach wie vor einen großen Teil der Varianz. Der korrigierte Regressionskoeffizient für den Follow-up-Test liegt bei  $R^2 = .50$  (Tab. 6).

### 4 Diskussion

Die Pilotstudie erbrachte folgende wichtige Ergebnisse:

1. Beide Gruppen zeigen nach der Intervention einen Wissenszuwachs. Im Vergleich zum Vortest (t1) ist der Lernzuwachs in beiden Gruppen 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 des Treatments in der Experimentalgruppe lässt sich über alle drei Messzeitpunkte nachweisen. Die Experimentalgruppe ist im Posttest (t2) und Follow-up-Test (t3) signifikant besser als die Kontrollgruppe. Sie weiß zum Zeitpunkt t3 noch so viel, wie die Kontrollgruppe zum Zeitpunkt t2, also direkt nach der Intervention, gewusst hat. Die Varianzanalyse für wiederholte Messungen wird hoch signifikant ( $F(1,34) = 10.0$ ,  $p < .01$ ) und zeigt mit  $\eta^2 = .23$  einen mittleren Effekt über die Dauer von zwei Monaten in der Experimentalgruppe.
3. Bedeutsam ist die relative Beständigkeit des Wissens darüber, dass das Lochkonzept falsch ist. Zum Messzeitpunkt t2 beantworteten die Probanden der Experimentalgruppe die Fragen zum Lochkonzept zu 64% korrekt; nach dem Treatment zu 65%. Der Unterschied zur Kontrollgruppe ist signifikant. Der Fragebogen-Teilbereich ‚Wissen CO<sub>2</sub>‘, der sich auf die Wirkung von CO<sub>2</sub> als Treibhausgas bezieht, hat sich in der Experimentalgruppe ebenfalls stark verändert, ist jedoch nicht so beständig über die Zeit. Im Posttest (t2) konnte die Experimentalgruppe 76% der Fragen zum Wissen über CO<sub>2</sub> richtig beantworten. Im Follow-up-Test (t3) waren es hingegen nur noch 55%.
4. Die Bedeutung des CO<sub>2</sub> als ‚Strahlenfänger‘ wird in den Schülerzeichnungen der Experimentalgruppe zum Ausdruck gebracht. In den Kontrollgruppenzeichnungen kommt dieses Konzept nicht vor. Die in den Schülerzeichnungen der Experimentalgruppe externalisierten Vorstellungen über den Treibhauseffekt zeigen im verzögerten Nachtest generell erweiterte Vorstellungen, d.h. mentale Modelle, die zwar noch Elemente der vorunterrichtlichen Alltagsvorstellungen enthalten, aber auch die neu gelernten, wissenschaftlichen Vorstellungen, während die Kontrollgruppe kaum Unterschiede zu ihren vorunterrichtlichen Vorstellungen erkennen lässt.
5. Unabhängige Faktoren, wie Geschlecht, Informiertheit über den Treibhauseffekt, Interesse, Bildungsnähe der Eltern oder die Dauer der in der Schweiz verbrachten Lebenszeit der Jugendlichen mit Migrationshintergrund haben keine Auswirkungen auf den Wissenszuwachs und die Behaltensleistung der Probanden.

Aus dem Lernzuwachs, der Behaltensleistung und den Zeichnungen der Experimentalgruppe kann auf einen teilweisen bis weitreichenden Vorstellungswandel geschlossen

werden. Die Konzeptveränderungen werden auf die konstruktivistische Lernumgebung zurückgeführt. Die Verständlichkeit der Arbeitsblätter und des Modellexperiments, das darauf abzielt, einen kognitiven Konflikt auszulösen, sowie die leichte Übertragbarkeit des im Experiment Beobachteten auf die Realität, haben in der Experimentalgruppe relativ stabile Lerneffekte bewirkt. Auch die Kontrollgruppe hat einen Lernzuwachs erfahren. Obwohl die in den Arbeitsblättern verwendeten Schulbuchtexte und -abbildungen inhaltlich richtig sind, helfen sie den Lernenden jedoch kaum, ein tieferes Verständnis für das Treibhauseffekt-Prinzip aufzubauen. Das Schulbuchmaterial setzt zu wenig am Vorwissen der Lernenden an, und erklärt das Treibhauseffekt-Prinzip zu wenig verständlich, so dass Fehlvorstellungen nicht dauerhaft verändert werden können. Die abstrakte physikalische Versuchsanordnung fordert von den Lernenden eine beträchtliche motivationale und kognitive Eigenleistung, um die aus dem Versuch gewonnene Erkenntnisse auf die Erdatmosphäre zu übertragen. Deshalb hat dieses Unterrichtsarrangement keinen ausgeprägten Conceptual Change, sondern nur einen partiellen, nicht so dauerhaften Wissenszuwachs bewirkt.

Die bis jetzt vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass von den beiden eingesetzten Interventionsmassnahmen die kognitiv strukturierte, lernpsychologisch optimierte Lernumgebung unabhängig vom Vorwissen der Lernenden einen eindeutigen Unterschied im Lernerfolg bewirkt, der zudem noch zeitlich relativ stabil ist. Ein deutlicher Conceptual Change fand in Bezug auf die Lochvorstellung, eine sehr beständige Fehlvorstellung, statt. Dieses Ergebnis ist von besonderer Bedeutung, weil bisher mit herkömmlichen Unterrichtsmaterialien, wie Texten und Bildern, kein bleibender Vorstellungswandel erzeugt werden konnte. Was die Bedeutung des CO<sub>2</sub>

als Treibhausgas angeht, so zeigt sich auch hier ein Lernfortschritt, der jedoch nicht so deutlich ausgeprägt ist, wie jener bezüglich des Lochkonzepts. Die dem Projekt Geo-Concepts zugrunde liegende Hypothese, dass die lernpsychologisch optimierte Lernumgebung einen signifikant positiveren Einfluss auf das sachlich richtige Verständnis des Treibhauseffekts hat, kann mittels der Pilotstudie dahingehend bestätigt werden, dass mit der Lernumgebung die Vorstellungen der Lernenden erweitert werden konnten. Diese erweiterten Vorstellungen bilden somit gute Vorläuferkonzepte für die Weiterentwicklung zu einer wissenschaftlicheren Sichtweise.

Die Resultate implizieren, dass eine anschauliche, verständliche, überzeugende, einfache und attraktive Lernumgebung eher geeignet ist, auf der Sekundarstufe I ein Fundament für das Verstehen komplexer, abstrakter umweltrelevanter Probleme zu legen, als dies mit einer physikalischen Versuchsanordnung möglich ist, die zwar exaktes Messen erlaubt, aber eine erhebliche Transferleistung auf das reale Problem, das sie beschreibt, verlangt. Das durch Conceptual Change rekonstruierte Wissen darüber, was den Klimawandel verursacht und was nicht, könnte ein erster Schritt dazu sein, Treibhausgas-reduzierende Maßnahmen zu unterstützen. Menschen, die sich vorstellen, dass ein Loch in der Atmosphäre oder die Luftverschmutzung die Gründe für die globale Erwärmung sind, wollen etwas gegen die Zerstörung der Ozonschicht tun, z.B. keine Spraydosen mehr verwenden (obwohl die Verwendung von langlebigen FCKW-Stoffen in der EU seit 1996 und in der Schweiz seit 2004 verboten ist), und gegen die Luftverschmutzung, d.h. gegen Rauch, Russ, Feinstaub und Geruchsstoffe, ankämpfen (siehe auch KEMPTON 1993). Ihr Verhalten als Konsumenten und Wähler bleibt somit im Hinblick auf das eigentli-

che Ziel, CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren, wirkungslos. Erst das Wissen und Verstehen der Strahlungsumwandlung und der Wirkung des Strahlenfängers CO<sub>2</sub> und das Wissen, dass der anthropogene Treibhauseffekt auf der Erhöhung des CO<sub>2</sub>-Gehaltes der Atmosphäre beruht, was durch die Verbrennung fossiler Energieträger - vor allem Kohle und Erdöl - verursacht wird, ermöglicht dem Individuum das Erkennen

von Wirkungszusammenhängen zwischen dem Treibhauseffekt und der globalen Erwärmung und hilft bei der Identifizierung CO<sub>2</sub>-reduzierender Maßnahmen. Das Erkennen und Verstehen dieser Zusammenhänge sind die Grundlagen, auf denen die Einsicht und Bereitschaft entwickelt werden können, die eigenen CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren bzw. politische Maßnahmen zur Reduktion von CO<sub>2</sub> zu unterstützen.

### Literatur:

- AESCHBACHER, U. (1992): Meinungen, Wissen und Verstehen von Lehrerstudierenden und -studenten in Sachen „Treibhauseffekt“. *Bildungsforschung und Bildungspraxis*, 14(2), S. 149-161.
- AESCHBACHER, U., HUBER, E. (1996): Der Treibhauseffekt - auch eine pädagogische Herausforderung. Entwicklung eines Demonstrationsexperiments als didaktische Forschung. *Beiträge zur Lehrerbildung*, 14(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. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie*, 33(4), S. 230-241.
- AJZEN, I. (2005): *Attitudes, Personality And Behavior*. Berkshire.
- ANIL, D. (2003): Dauerhafte Korrektur mentaler Fehlkonzeptionen am Beispiel des Treibhauseffekts. *Textverstehen und Textverständlichkeit*. Unveröffentlichte Lizentiatsarbeit Univ. Basel.
- AUER, H., DETSCH, B., HAUCK, A., LACLER, R., NEBEL, J., WEIGERT, C. (2005): *Durchblick. Geschichte/Sozialkunde/ Erdkunde. 7. Jahrgangsstufe - M*, Bayern, Hauptschule. Braunschweig.
- BACHOFNER, D., BATZLI, S., HOBI, P., REMPFER A. (2001): *Das Geobuch 1. Europa und die Welt*. Zug.
- BATZLI, S., GUTMANN, B., HOBI, P., REMPFER, A. (2003): *Das Geobuch 2. Eine Welt - voller Unterschiede*. Zug.
- 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, S. 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), S. 531-552.
- COLLINS A., GENTNER D. (1987): How people construct mental models. In: HOLLAND, D., QUINN, N. (Eds.): *Cultural models in language and thought*. Cambridge, S. 243-265
- 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*, 33. Heidelberg.
- DEMOEX (2009): *Produkte: Treibhauseffekt*. [www.demoex.ch/cms/index.ph](http://www.demoex.ch/cms/index.ph) (September 2009).
- DIECKMANN, A., FRANZEN, A. (1995): *Der Schweizer Umweltsurvey 1994: Codebook*, Universität Bern.
- DIECKMANN, A., FRANZEN, A. (1996): *Einsicht in ökologische Zusammenhänge und Umweltverhalten*. In KAUFMANN-HAYOZ, R., DI GIULIO, A. (Hrsg.): Um-

- weltproblem Mensch. Bern, S. 135-157.
- DIECKMANN, A., MEYER, R. (2007): Der Schweizer Umweltsurvey 2007. Klimawandel, ökologische Risiken und Umweltbewusstsein in der Schweizer Bevölkerung. ETH Studie, Zürich.
- DIETRICH, V., MEDEROW, G. (2002): Naturwissenschaften: Luft. Berlin.
- DUIT, R. (2008): Die Rolle von Schülervorstellungen im Unterricht. *geographie heute*, 265/266, S. 2-6.
- DUIT, R., TREAGUST, D.F. (1998): Learning in science – from behaviorism towards social constructivism and beyond. In: FRASER, B.J., TOBIN, K. G. (Eds.): *International Handbook of Science Education*. Dordrecht, Boston, London, S. 3-25.
- DUIT, R., TREAGUST, D.F. (2003). *Conceptual Change: A powerful framework for improving science teaching and learning*. *International Journal of Science Education*, 25, S. 671-688.
- EISELE, C. (2003): Dauerhafte Korrektur mentaler Fehlkonzeptionen am Beispiel des Treibhauseffekts. Analogie und Abbildung. Unveröffentlichte Lizentiatsarbeit Univ. Basel.
- HARDY, I., JONEN, A., MÖLLER, K., STERN, E. (2006): Effects of Instructional Support Within Constructivist Learning Environments For Elementary School Students' Understanding of „Floating and Sinking“. *Journal of Educational Psychology*, 98(2), S. 307-326.
- IPCC (2001): *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of the Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge and New York. Cambridge. URL: [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch) (September 2009).
- IPCC (2007): *Summary for Policymakers*. In: SOLOMON, S., QIN, D., MANNING, M., CHEN, Z., MARQUIS, M., AVERYT, K.B., TIGNOR, M., MILLER, H.L. (Eds.): *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, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- KATTMANN, U. (2005): Lernen mit anthropomorphen Vorstellungen? – Ergebnisse von Untersuchungen zur didaktischen Rekonstruktion in der Biologie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 11, S. 165-174
- KATTMANN, U., DUIT, R., GROPENGEßER, H., KOMOREK, M. (1997): Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion - Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3(3), S. 3-18.
- KEMPTON, W. (1993): Will Public Environmental Concern Lead to Action on Global Warming? *Annual Review of Energy and the Environment*, 18, S. 217-245.
- KINTSCH, W. (1998): *Comprehension, a paradigm for cognition*. Cambridge.
- KUCKARTZ, U. (1998): *Umweltbewusstsein und Umweltverhalten*. Berlin.
- KUNZ, P. (1998): Wahrnehmung von Naturgefahren und Naturrisiken. In: BADER, S., KUNZ, P. (Hrsg.): *Klimarisiken – Herausforderung für die Schweiz*. Zürich, S. 259-294.
- LITZ, M. (2005): *Urknall 7. Ausgabe für die Schweiz*. Zug.
- MAYER, R.E. (2001): *Multimedia Learning*. Cambridge University Press. Cambridge.
- MAYER, R.E. (2002): *Understanding Conceptual Change: A commentary*. In: LIMON, M., MASON, L. (Eds.): *Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practise*. Dordrecht, Boston, London, S. 101-111.
- O'CONNOR, R. E., BORD, R. J., FISHER, A. (1999): *Risk Perceptions, General Environmental Beliefs, and Willingness to*

- Adress Climate Change. Risk Analysis, 19(3), S. 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), S. 1-17.
- OECD (2005): Definition und Auswahl von Schlüsselkompetenzen. Zusammenfassung 2005. URL: [www.oecd.org/dataoecd/36/56/35693281.pdf](http://www.oecd.org/dataoecd/36/56/35693281.pdf) (Sep. 2009).
- ÖSTERLIND, K. (2005): Concept formation in environmental education: 14 year old's work on the intensified greenhouse effect and the depletion of the ozone layer. International Journal of Science Education, 27(8), S. 891-908.
- PARCHMANN, I., KAMINSKI, B., JANSEN W. (1995): Die Wärmeabsorption von Gasen. CHEMKON, 2 (1), S. 17-25.
- PARCHMANN, I., JANSEN, W. (1996): Der "Treibhauseffekt" als Folge der Wärmeabsorption von Gasen. CHEMKON, 3 (1), S. 6-11.
- PAIVIO, A. (1986): Mental representations. A dual coding approach. New York.
- PIAGET, J. (1976): Die Äquilibration der kognitiven Strukturen. Stuttgart.
- POSNER, G., STRIKE, K., HEWSON, P., GERTZOG, W. (1982): Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. Science Education, 66, S. 211-228.
- PREISENDÖRFER, P., FRANZEN, A. (1996): Der schöne Schein des Umweltbewusstseins: Zu den Ursachen und Konsequenzen von Umwelteinstellungen in der Bevölkerung. In: DIEKMANN, A., JÄGER, C.C. (Hrsg.). Umweltsoziologie. Sonderband der Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie, Opladen, S. 219-244.
- REINFRIED, S. (2006): Alltagsvorstellungen – und wie man sie verändern kann. Das Beispiel Grundwasser. geographie heute, 243/244, S. 38-43.
- 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. geographie heute, 265/266, S. 24-33.
- SCHULER, S. (2002): Subjektive Theorien über globale Umweltprobleme: Eine Zusammenstellung von Forschungsergebnissen zum Thema globaler Wandel. In: SEYBOLD, H., RIESS, W. (Hrsg.): Bildung für eine nachhaltige Entwicklung in der Grundschule – methodische und konzeptionelle Ansätze. Gmünder Hochschulreihe, 22, S. 145-158.
- SCHULER, S. (2005). Umweltwissen als subjektive Theorie: Eine Untersuchung von Schülervorstellungen zum globalen Klimawandel. In: SCHRENK, M., HOLL-GIESE, W. (Hrsg.): Bildung für eine nachhaltige Entwicklung - Ergebnisse empirischer Untersuchungen. Hamburg, S. 97-112.
- STARK, R. (2003): Conceptual Change: kognitiv oder situiert? Zeitschrift für Pädagogische Psychologie 17(2), S. 133-144.
- STAVY, R. (1998): Special Issue: Conceptual development in science education, International Journal of Science Education, 20(10), S. 1152-1154.
- TREAGUST, D.F., DUIT, R. (2008). Conceptual Change: a discussion of theoretical, methodological and practical challenges for science education. Cultural Studies of Science Education, 3, S. 279-328.
- TYSON, L.M., VENVILLE, G.J., HARRISON, A.G., TREAGUST, D.F. (1997): A multi-dimensional framework for interpreting Conceptual Change events in the classroom. Science Education, 81, S. 387-404.
- VOSNIADOU, S., BREWER, W. F. (1992): Mental models of the earth. Cognitive Psychology, 24, S. 535-585.



**Dank**

Wir danken Martin Müller (Geographielehrer) und der Kantonsschule Hohe Promenade in Zürich für ihre Bereitschaft, zwei Klassen für diese Studie zur Verfügung zu stellen.

Diese Studie wurde mit finanziellen Mitteln des Direktionsfonds der Pädagogischen Hochschule Zentralschweiz gefördert.

**Anhang**

Anhang 1: Arbeitsblätter der Experimentalgruppe

Anhang 2: Arbeitsblätter der Kontrollgruppe

**Autoren:****Prof. Dr. Sibylle Reinfried**

Pädagogische Hochschule Zentralschweiz Luzern

Email: sibylle.reinfried@phz.ch

**Benno Rottermann, lic. phil.**

Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW

Email: benno.rottermann@fhnw.ch

**Dr. Urs Aeschbacher**

Fa. DemoEx

E-Mail: aeschbacher.dx@sunrise.ch

**Dr. Erich Huber**

Fa. DemoEx

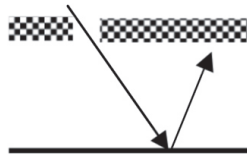
E-Mail: demoex.huber@bluewin.ch

Anhang 1: Arbeitsblätter der Experimentalgruppe

1) Wie der Treibhauseffekt funktioniert

1.)

Irgendwie kann also Strahlung zwar rein, aber dann nicht mehr raus. Vielleicht so?

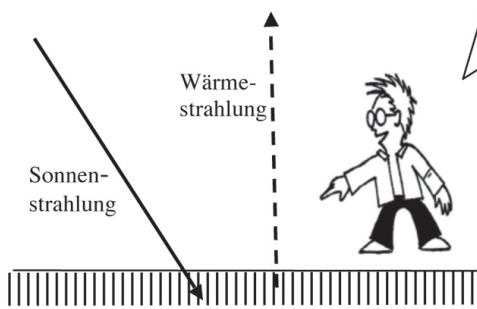


Viele stellen sich den Treibhauseffekt so vor: Sonnenstrahlung dringt durch ein „Loch in der Atmosphäre“ (z. B. das Ozonloch) ein, wird am Erdboden reflektiert und findet dann den „Ausgang“ nicht mehr. Aber Achtung: *Das ist falsch!*



2.)

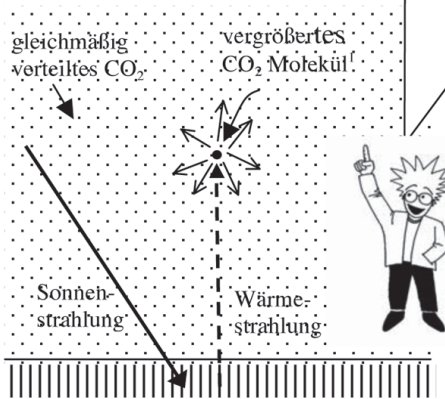
Nein, die Sonnenstrahlung wird nicht reflektiert, sondern umgewandelt!



Der Erdboden „schluckt“ die Sonnenstrahlung (= **Absorption**). Dadurch wird er erwärmt. Diese Wärme strahlt er dann wieder nach oben ab, nicht als unveränderte Sonnenstrahlung, wie bei einem Spiegel (Reflexion), sondern als Wärmestrahlung, mit viel größerer Wellenlänge. Der Erdboden absorbiert („schluckt“) also die Sonnenstrahlung und wandelt sie in Wärmestrahlung um.

3.)

Das CO<sub>2</sub> in der Luft ist „parteiisch“. Es lässt Sonnenstrahlung durch, aber die vom Boden ausgehende Wärmestrahlung nicht mehr!



<sup>1</sup>Molekül = Teilchen, das aus mehreren Atomen besteht.

Die Luft enthält das Gas Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), das in der Luft gleichmäßig verteilt ist. Im CO<sub>2</sub> findet „selektive Absorption“ statt. Das heißt: Das CO<sub>2</sub> lässt die sichtbare (**kurzwellige**) **Sonnenstrahlung** fast ungehindert durch, aber es absorbiert die (**langwellige**) **Wärmestrahlung** von der Erdoberfläche. Das CO<sub>2</sub> nimmt dadurch Energie auf und gibt diese als langwellige Wärmestrahlung wieder an die Luft ab. Dadurch wird die Atmosphäre wärmer. Das nennt man den **natürlichen Treibhauseffekt!**

4.)

Je mehr CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre gelangt, desto mehr Wärmestrahlung wird zurückgehalten – und desto wärmer wird es dadurch auf der Erde. Man spricht von globaler Erwärmung.



Die natürliche Menge an CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre ermöglicht das Leben auf der Erde, denn ohne CO<sub>2</sub> wäre es auf der Erde zu kalt (= natürlicher Treibhauseffekt). Wenn nun aber aus Heizungen, Verkehr, Industrie, Kohlekraftwerken etc. immer mehr vom Menschen verursachtes CO<sub>2</sub> hinzukommt, steigt die globale Temperatur, mit weitreichenden Folgen (= **durch Menschen verstärkter Treibhauseffekt**).

**Aufgaben:**

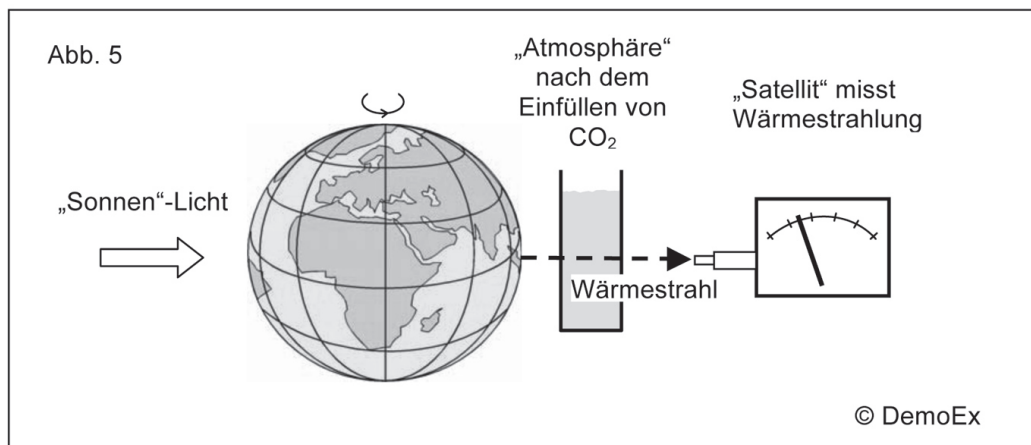
- a) Studiere die Abbildungen und Texte 1-4 ganz genau und markiere mit einem Farbstift, was für dich neu ist.
- b) Nimm dir anschließend ein leeres Blatt Papier und lege dieses Arbeitsblatt beiseite. Schreibe einen kurzen Text, in dem du in eigenen Worten erklärst, wie die Erdatmosphäre erwärmt wird, ohne in diesem Arbeitsblatt nachzusehen. Fertige dazu auch eine Zeichnung/Skizze an.
- c) Tausche nun deine Erklärung mit einer Mitschülerin oder einem Mitschüler aus. Korrigiert gemeinsam eure Erklärungen mit Hilfe dieses Arbeitsblattes.

## 2 Der Treibhauseffekt im Experiment

Das Modellexperiment wird von deiner Lehrerin / deinem Lehrer vorgeführt. Beobachtet genau, was bei der Demonstration passiert.

Arbeitet danach zu zweit weiter:

1. Schaut euch die Versuchsanordnung auf dem Lehrerpult und die Abbildung 5 an und stellt sicher, dass ihr verstanden habt, was die einzelnen Teile bedeuten sollen.



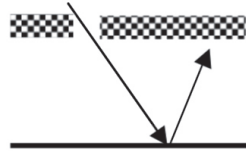
2. Beantwortet die folgenden Fragen schriftlich.
  - a.) Was habt ihr bei der Durchführung des Versuchs beobachtet?
  - b.) Sucht Erklärungen für die beobachteten Phänomene.
  - c.) Welche Ähnlichkeiten hat der Versuch mit dem natürlichen Treibhauseffekt?
  - d.) Welche Unterschiede zwischen dem Treibhauseffekt im Versuch und der „Lochvorstellung“ in Arbeitsblatt 1 konntet ihr beobachten?
  - e.) „Dieser Versuch ist ein Modell der wirklichen Verhältnisse in der Erdatmosphäre“. Nehmt Stellung zu dieser Aussage und zeigt auf, wo das Modell seine Grenzen hat.
  - f.) Wie wären die Lebensbedingungen auf der Erde, wenn ihre Lufthülle kein  $\text{CO}_2$  enthalten würde?
  - g.) Durch die Verbrennung von Holz, Erdöl, Erdgas und Kohle wird  $\text{CO}_2$  freigesetzt. Was passiert, wenn immer mehr  $\text{CO}_2$  in die Atmosphäre gelangt?
  - h.) Vor ca. 100 Millionen Jahren, als es noch keine Menschen gab, war die Erde völlig eisfrei. Auch an den Polen, gab es keine Gletscher. Wie erklärt ihr euch das?

Anhang 2: Arbeitsblätter der Kontrollgruppe

**1** Wie der Treibhauseffekt funktioniert

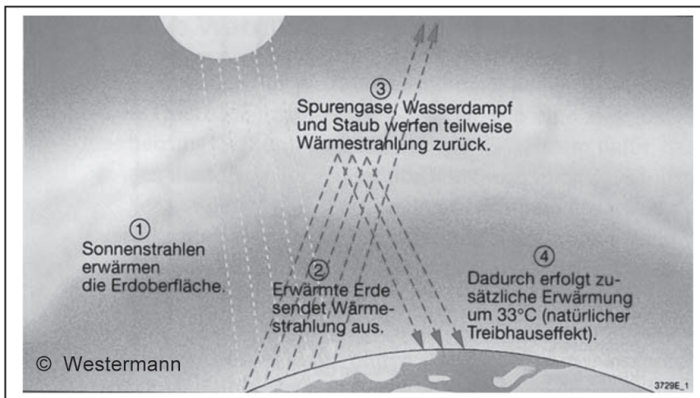
1.)

Irgendwie kann also Strahlung zwar rein, aber dann nicht mehr raus. Vielleicht so?



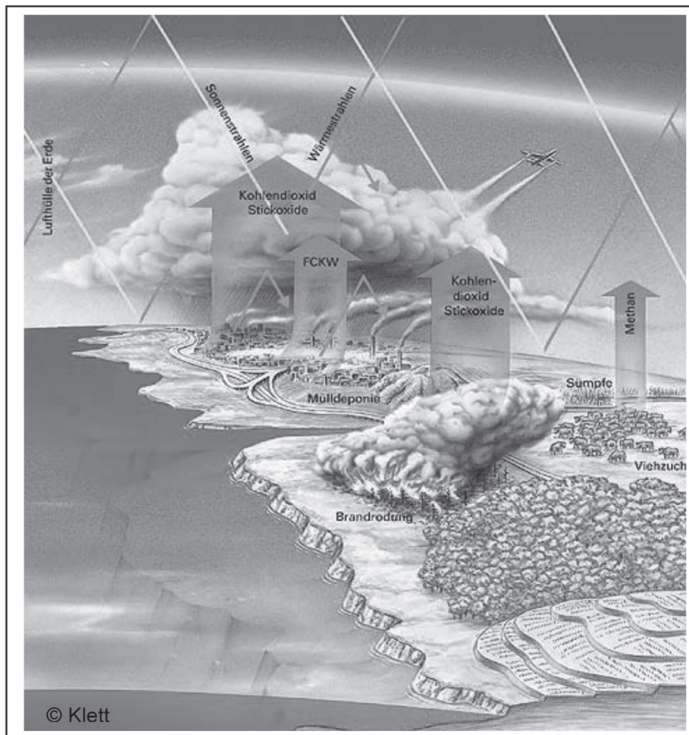
Viele stellen sich den Treibhauseffekt so vor: Sonnenstrahlung dringt durch ein „Loch in der Atmosphäre“ (z. B. das Ozonloch) ein, wird am Erdboden reflektiert und findet dann den „Ausgang“ nicht mehr. Aber Achtung: *Das ist falsch!*

2.)



Die Lufthülle lässt **kurzwelliges Sonnenlicht** hinein und **langwellige Wärmestrahlung** nur teilweise wieder hinaus. Die Sonnenstrahlen können die Atmosphäre fast ungehindert durchdringen und die Erde erwärmen (1). Die von der Erde abgestrahlte Wärme (2) kann jedoch nicht wieder ungehindert in den Weltraum entweichen. Sie wird von Spurengasen in der Atmosphäre, wie zum Beispiel vom Gas Kohlendioxid CO<sub>2</sub> zurückgehalten (3). Dadurch erwärmt sich die Erde zusätzlich um etwas 33 Grad Celsius (4). Das nennt man den **natürlichen Treibhauseffekt**.

3.)



Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) ist ein natürlicher Bestandteil der Luft. Es entsteht aber auch durch Verbrennungsvorgänge: Feuer, Motoren, Heizung und Atmung erhöhen den CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Luft und verstärken den natürlichen Treibhauseffekt. Weil CO<sub>2</sub> die Wärmestrahlung wieder auf die Erde zurückwirft, wird es weltweit wärmer und das Klima verändert sich.

4.)

Je mehr CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre gelangt, desto mehr Wärmestrahlung wird zurückgehalten – und desto wärmer wird es dadurch auf der Erde. Man spricht von globaler Erwärmung.



Die natürliche Menge an CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre ermöglicht das Leben auf der Erde, denn ohne CO<sub>2</sub> wäre es auf der Erde zu kalt (= natürlicher Treibhauseffekt). Wenn nun aber aus Heizungen, Verkehr, Industrie, Kohlekraftwerken etc. immer mehr vom Menschen verursachtes CO<sub>2</sub> hinzukommt, steigt die globale Temperatur, mit weitreichenden Folgen (= **durch Menschen verstärkter Treibhauseffekt**).

**Aufgaben:**

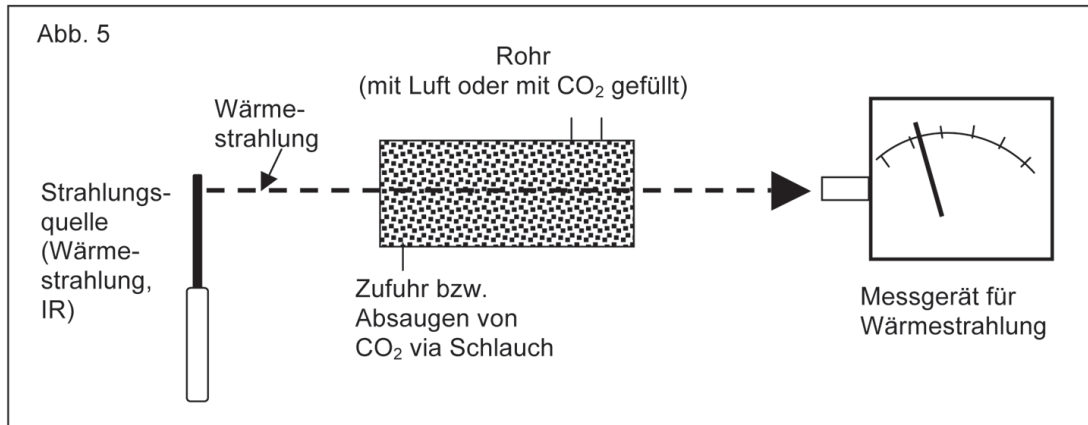
- a) Studiere die Abbildungen und Texte 1-4 ganz genau und markiere mit einem Farbstift, was für dich neu ist.
- b) Nimm dir anschließend ein leeres Blatt Papier und lege dieses Arbeitsblatt beiseite. Schreibe einen kurzen Text, in dem du in eigenen Worten erklärst, wie die Erdatmosphäre erwärmt wird, ohne in diesem Arbeitsblatt nachzusehen. Fertige dazu auch eine Zeichnung/Skizze an.
- c) Tausche nun deine Erklärung mit einer Mitschülerin oder einem Mitschüler aus. Korrigiert gemeinsam eure Erklärungen mit Hilfe dieses Arbeitsblattes.

## 2 Der Treibhauseffekt im Experiment

Der Unterrichtsversuch wird von deiner Lehrerin / deinem Lehrer vorgeführt.  
Beobachtet genau, was bei der Demonstration passiert.

Arbeitet danach zu zweit weiter:

1. Schaut euch die Versuchsanordnung auf dem Lehrerpult und die Abbildung 5 an und stellt sicher, dass ihr verstanden habt, was die einzelnen Teile bedeuten sollen.



2. Beantwortet die folgenden Fragen schriftlich.

- Was habt ihr bei der Durchführung des Versuchs beobachtet?
- Sucht Erklärungen für die beobachteten Phänomene.
- Welche Ähnlichkeiten hat der Versuch mit dem natürlichen Treibhauseffekt?
- Welche Unterschiede zwischen dem Treibhauseffekt im Versuch und der „Lochvorstellung“ in Arbeitsblatt 1 konntet ihr beobachten?
  - „Dieser Versuch ist ein Modell der wirklichen Verhältnisse in der Erdatmosphäre“. Nehmt Stellung zu dieser Aussage und zeigt auf, wo das Modell seine Grenzen hat.
  - Wie wären die Lebensbedingen auf der Erde, wenn ihre Lufthülle kein CO<sub>2</sub> enthalten würde?
  - Durch die Verbrennung von Holz, Erdöl, Erdgas und Kohle wird CO<sub>2</sub> freigesetzt. Was passiert, wenn immer mehr CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre gelangt?
  - Vor ca. 100 Millionen Jahren, als es noch keine Menschen gab, war die Erde völlig eisfrei. Auch an den Polen, gab es keine Gletscher. Wie erklärt ihr euch das?

Copyright Vermerke:

Copyright der Abbildung in Lernschritt 2: Bildungshaus Schulbuchverlage (2005): Durchblick 7-M, Geschichte/Sozialkunde/Erkunde, Hauptschule Bayern, S. 49. Westermann.  
Reproduziert mit Bewilligung des Verlags vom 16.9.09

Copyright der Abbildung in Lernschritt 3: Sabine Seidel (2003): Infoblatt Treibhauseffekt, Geographie Infothek, Klett Verlag. <http://www.klett.de>. Reproduziert mit Bewilligung des Verlags vom 23.9.09