

Der Treibhauseffekt – Folge eines Lochs in der Atmosphäre?

Wie sich Schüler ihre Vorstellungen bewusst machen und sie verändern können

„Der Treibhauseffekt kommt vom Ozonloch, durch das die Strahlen in die Atmosphäre reinkommen und an der Erdoberfläche gespiegelt werden, und nicht mehr herauskönnen. Dann werden sie an der Unterseite der Ozonschicht gespiegelt, so dass es immer wärmer wird“ (Frank, 19 Jahre).

Fachwissenschaftliche Analyse

Wie kaum ein anderes geowissenschaftliches Thema beherrscht gegenwärtig der Treibhauseffekt im Zusammenhang mit der globalen Erwärmung und dem globalen Klimawandel die Medien. Wer verstehen möchte, wie jede/r Einzelne zum globalen Klimawandel beiträgt, benötigt eine klare Vorstellung über das Konzept des Treibhauseffekts. Der Begriff beruht auf der Vorstellung, dass die Atmosphäre in Bezug auf ihr Wärmespeicherverhalten analog zu einem Treibhaus (auch Glashaus oder Gewächshaus) funktioniert. Analogien wie diese spielen eine große Rolle bei der Konstruktion von Wissen, sei es für die Entwicklung von wissenschaftlichem Wissen oder für das Verständnis von Sachverhalten des Alltags, mit denen man nicht ver-

traut ist. Leider führen sie jedoch oftmals zu wissenschaftlich nicht haltbaren Vorstellungen. Wenn ein wissenschaftliches Konzept, wie das des Treibhauseffekts, komplex, sehr abstrakt und zudem sinnlich nicht erfahrbar ist, halten sich subjektive Theorien darüber besonders hartnäckig.

Das wissenschaftliche Konzept des Treibhauseffekts

Der Begriff Treibhauseffekt steht für die Erwärmung der Erde durch die Interaktion bestimmter Gase in der Atmosphäre (so genannter Treibhausgase) mit der elektromagnetischen Strahlung der Sonne. Bei der Treibhaus-Analogie wird dieser Effekt damit verglichen, dass auch hinter Glasscheiben die Temperaturen ansteigen, solange die Sonne darauf scheint. Die At-

mosphäre hat demnach dieselbe Wirkung wie die Glasscheiben eines Gewächshauses: sie hält Wärme zurück, die versucht, ins Weltall zu entweichen. Diese Erklärung stellt aber eine drastische Vereinfachung der Wirkung der Treibhausgase in der Atmosphäre dar, denn die Prozesse im Gewächshaus und in der Atmosphäre sind in ihrem physikalischen Ablauf sehr verschieden.

Die Treibhaus-Analogie geht auf das 19. Jahrhundert zurück. Um 1820 war der Mathematiker und Physiker Joseph Fourier erstmals aufgrund von Berechnungen zu der Überzeugung gelangt, dass die Erdatmosphäre Wärmestrahlung speichert. Er verglich die Erde und ihre Lufthülle mit einem Gefäß mit Glasdeckel. Zu diesem Zeitpunkt war allgemein gut bekannt, dass sich das Innere eines solchen Gefäßes erwärmt, wenn es von der Sonne bestrahlt wird und die Wärme nicht entweichen kann. Die physikalischen Vorgänge, die der unmittelbaren Beobachtung nicht zugänglich waren, wurden mittels Alltagserfahrungen erklärt. Fortan bezeichnete man die Wärmespeicherung der Atmosphäre als Treibhauseffekt.

Heute wissen wir, dass diese Analogie nur teilweise zutrifft. Zwar hat das Glas eines Glashauses ebenso wie die Treibhausgase in der Atmosphäre die Eigenschaft, durchlässig für sichtbares Licht zu sein und Wärmestrahlung im infraroten Spektralbereich zu absorbieren. Die Erwärmung in einem Glashaus beruht aber überwiegend auf einem anderen Effekt: die Glashülle unterbindet nämlich die Konvektion. Die Luft wird hauptsächlich durch den direkten Kontakt mit dem von der Sonne erhitzten Boden des Glashauses erwärmt. In der freien Atmosphäre würde sie konvektiv aufsteigen, im Glashaus wird sie durch die Glashülle zurückgehalten, was

Zielgruppe	ab Klasse 9
Arbeitsblatt 1/5	die eigenen Vorstellungen über den Treibhauseffekt vor und nach der Unterrichtseinheit erheben und überprüfen; S. 29
Arbeitsblatt 2	auf der Basis von Zeichnungen einen Erklärungstext zum Treibhauseffekt schreiben, eine eigene Grafik anfertigen und diese abgleichen; S. 30–31
Arbeitsblatt 3	ein Modellexperiment zum Treibhauseffekt anschauen und bewerten, wie gut der Versuch die natürlichen Verhältnisse wiedergibt; S. 32
Arbeitsblatt 4	Ähnlichkeiten und Unterschiede zwischen der Erwärmung im Treibhaus und der Erwärmung in der Atmosphäre herausarbeiten; S. 33
Materialausgabe	Film eines Experiments zur Wirkung von CO ₂ in der Atmosphäre (s. CD-ROM)

zu einer raschen Erwärmung der Luft im Innern führt.

Es dauerte bis Mitte des 20. Jahrhunderts bis Wissenschaftler richtig verstanden hatten, wie der atmosphärische Treibhauseffekt funktioniert. Grob vereinfacht könnte man ihn so erklären: Sichtbares Sonnenlicht durchdringt die Luft leicht und erwärmt die Erdoberfläche. Die Erdoberfläche strahlt unsichtbare Wärmestrahlung ab. Ein Teil davon wird von CO_2 und anderen Treibhausgasen in der Atmosphäre absorbiert. Dadurch wird ein Teil der Wärmeenergie an die Luft übertragen und nur ein kleiner Teil entweicht ins Weltall. Die Luft wird so nicht nur erwärmt, sondern strahlt zudem einen Teil der aufgenommenen Wärmeenergie zurück zur Erdoberfläche, wodurch letztere zusätzlich erwärmt wird.

Alltagsvorstellungen von Lernenden

Wie erklären sich Schüler die globale Erwärmung? Welche Vorstellungen haben sie von den Prozessen, die sich beim (anthropogenen) Treibhauseffekt in der Atmosphäre abspielen? Man könnte annehmen, dass die namensgebende Analogie mit einem

Gewächshaus der erste Anhaltspunkt für eine Erklärung ist. Tatsächlich greifen viele Schüler, und auch Erwachsene, auf ein ganz anderes Erklärungsmuster zurück – sie verstehen das Ozonloch als Ursache für den Treibhauseffekt und die globale Erwärmung. Die Alltagsvorstellungen von Jugendlichen zu den atmosphärischen Prozessen beim (anthropogenen) Treibhauseffekt können nach aktuellen Erkenntnissen zu zwei grundsätzlich verschiedenen mentalen Modellen gebündelt werden – dem Glashaus-Modell und dem Ozonloch-Modell (Schuler 2005).

Das Glashaus-Modell

Beim Glashaus-Modell (Abb. 1, S. 26) handelt es sich um eine wissenschaftsnahe Alltagsvorstellung zur Erklärung des Treibhauseffekts. Dieses mentale Modell ist durch zwei Merkmale gekennzeichnet: (1) Die Schüler gehen davon aus, dass die Sonnenstrahlung ungehindert durch die Atmosphäre zum Erdboden gelangt, dass die zurückgestrahlte Strahlung die Atmosphäre aber nicht mehr verlassen kann, wodurch es zur globalen Erwärmung kommt. (2) Sie machen Treibhausgase dafür verantwortlich, dass die zurückgestrahlte Strahlung

daran gehindert wird, die Atmosphäre wieder zu verlassen. Häufig gehen sie dabei explizit auf die Analogie mit einem Glashaus bzw. Treibhaus ein.

Die meisten Schüler verfügen über ein „vereinfachtes Glashausmodell“. Sie haben dabei keine Vorstellung von den Absorptionsprozessen am Erdboden und in der Atmosphäre. Sie verwenden stattdessen das Konzept der Reflexion und gehen von einer Art „Spiegelmodell“ aus, bei dem die Strahlung zwischen dem Erdboden und einer Treibhausgasschicht hin- und herreflektiert wird. Die Erwärmung wird dabei über eine „Anhäufung der Sonnenstrahlung“ erklärt, die letztlich wie in einem Käfig zwischen Erdoberfläche und Gasschicht „gefangen“ ist. Die Schüler unterscheiden nicht zwischen verschiedenen Strahlungsarten (Sonnenstrahlung/Wärmestrahlung) und können somit auch nicht erklären, weshalb die Strahlung in die Atmosphäre eindringen, sie aber nicht mehr verlassen kann.

Nur wenige Schüler verfügen über ein „differenziertes Glashaus-Modell“ und unterscheiden verschiedene Strahlungsarten. Dabei verwenden sie die Bezeichnung „kurz- und langwellige Strahlung“, haben aber oft Probleme, diese korrekt zuzuord-

Weil ein Loch in der Atmosphäre ist, erwärmt sich die Erde – eine gängige Fehlvorstellung zu Klimawandel und Treibhauseffekt.

Foto: pip/Photocase.com



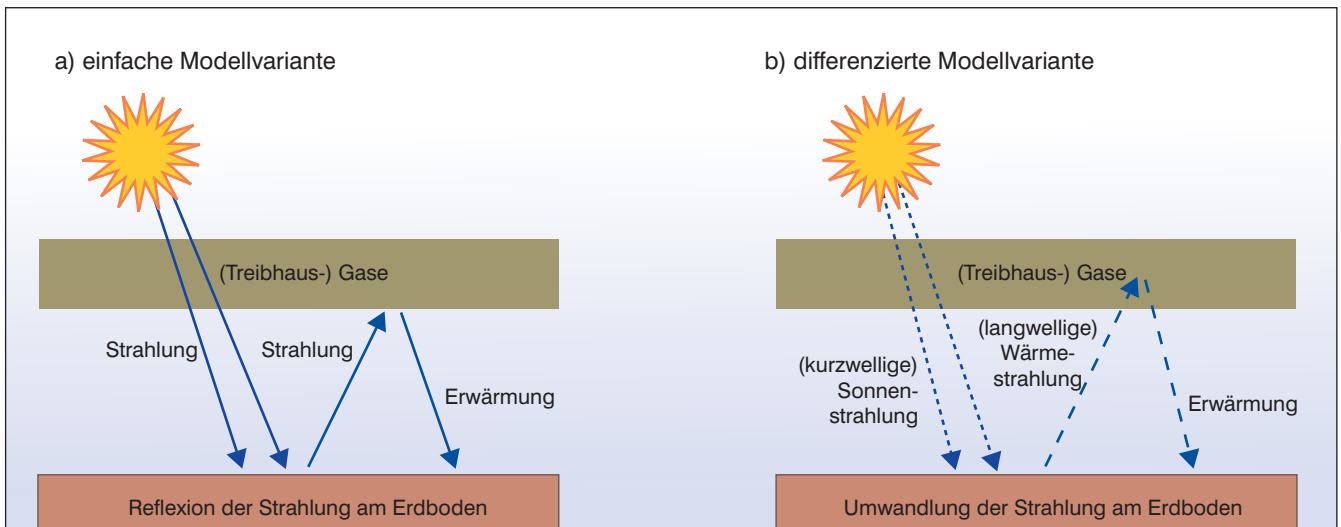


Abb. 1: Alltagsvorstellung Glashauses-Modell – idealtypische Darstellung in zwei Modellvarianten

nen. Beide Modelle weichen zudem insofern von der wissenschaftlichen Sichtweise ab, als sich die Schüler die Treibhausgase nicht als gleichmäßig in der Atmosphäre verteilt, sondern als eine Schicht in der oberen Atmosphäre vorstellen, ganz so, wie es auch in vielen Lehrbuchdarstellungen zu sehen ist und wie es auch die Glasschicht in der Glashauses-Analogie nahelegt.

Das Ozonloch-Modell

Wie bereits erwähnt, erklären viele Schüler den anthropogenen Treibhauseffekt mit der Zerstörung der Ozonschicht. Welche innere Logik steckt hinter dieser Vorstellung? Das zugehörige mentale Modell (Abb. 2. S. 27) lässt sich wie folgt beschreiben: Aggressive Schadstoffe (z. B. CO_2 , Abgase oder FCKW-Emissionen) steigen in der Atmosphäre auf und greifen dort die Ozonschicht an, die Menschen und andere Lebewesen vor gefährlicher Strahlung schützt. Durch das so entstehende Ozonloch kann mehr und stärkere Sonnenstrahlung bzw. UV-Strahlung zur Erde gelangen. Dadurch kommt es zur globalen Erwärmung, denn mehr oder stärkere Strahlung bedeutet mehr Wärme.¹

Im Kern des Ozonloch-Modells finden sich zwei Vorstellungen, die beide fachlich nicht korrekt sind. Zum einen wird allen Treibhausgasen bzw. Emissionen (CO_2 , Abgasen etc.) die Eigenschaft zugeschrieben, chemisch aggressiv zu sein und somit die Ozonschicht zu zerstören. Die zweite Alltagsvorstellung war bereits beim vereinfachten Glashausesmodell anzu-

treffen: „Mehr“ bzw. „stärkere“ Strahlung wird als Ursache der globalen Erwärmung angesehen.

Interessanterweise gibt es auch Schüler, die über ein erweitertes Ozonloch-Modell verfügen. Sie gehen davon aus, dass die Strahlung am Erdboden reflektiert wird, danach auf die intakte, undurchlässige Ozonschicht trifft, an der sie erneut reflektiert wird und so in der Atmosphäre gefangen bleibt. Offenbar wird hier der Strahlenverlauf in der Atmosphäre, wie er aus Abbildungen zum Treibhauseffekt bekannt ist, in das Ozonloch-Modell integriert. Es entsteht ein Synthesemodell aus den beiden Phänomenen Ozonloch und Treibhauseffekt.

Erklärungsansätze und didaktische Konsequenzen

Weshalb ist das Ozonloch-Modell als Erklärung für den Treibhauseffekt so weit verbreitet? Auf der Basis von Conceptual-Change-Theorien (vgl. Basisartikel von Reinfried in diesem Heft) lassen sich zwei Erklärungsansätze ableiten.

(1) Es gibt Parallelitäten zwischen Treibhauseffekt und Ozonloch auf der Ebene der **Begriffssysteme** und der **grafischen Visualisierungen**. Beide Phänomene betreffen Veränderungen der Erdatmosphäre, die mit der einfallenden Sonnenstrahlung zu tun haben, und auf „schädliche“ Emissionen aus Industrie und Haushalten zurückgeführt werden. Die gängigen Visualisierungen enthalten in beiden Fällen eine **hüllen- oder**

schichtförmige Atmosphäre, Sonnenstrahlen und Emissionen. Diese Parallelitäten führen dazu, dass sich die mentalen Repräsentationen dieses Wissens im Gedächtnis überschneiden oder gar nicht erst getrennt werden. Bei der Wissensanwendung werden plausibel erscheinende Zusammenhänge neu konstruiert und zu einer eigenen Alltagstheorie in der Form eines Synthesemodells verbunden (vgl. Schnotz und Bannert 1999). Da auch der anthropogene Treibhauseffekt als Schädigung bzw. Zerstörung der Atmosphäre aufgefasst wird, ist der Rückgriff auf das alltagsnahe Loch-Schema zur Erklärung der Zerstörung sehr naheliegend. Für die Unterrichtspraxis folgt daraus die Konsequenz, die beiden Phänomene Treibhauseffekt und Ozonloch klar zu trennen, ihre Unterschiede hervorzuheben und v. a. das Ozonlochmodell als Fehlvorstellung zu thematisieren.

(2) Ein zweiter Aspekt ist die hohe Anschaulichkeit des Ozonloch-Modells. Sie beruht wesentlich darauf, dass die Erklärung hier auf leicht verständliche Analogien und Phänomene zurückgeht, die uns bereits seit der Kindheit vertraut sind und eine hohe Alltagsrelevanz besitzen: Wir haben eine Vorstellung von Löchern in einer Schutzschicht (z. B. in einem Zelt), wissen, dass aggressive chemische Substanzen solche Löcher verursachen können und haben schon selbst erfahren, dass eine stärkere Sonnenbestrahlung zu einer stärkeren Erwärmung oder sogar zu Verbrennungen der Haut führen kann. Demgegenüber haben viele Schüler deutlich mehr

Schwierigkeiten, den Treibhauseffekt über die Absorption durch Treibhausgase zu erklären. Diese Phänomene entziehen sich unserer Alltagserfahrung und gehören zu einem relativ abstrakten, wissenschaftlichen Wissen. Darüber hinaus besitzt die namensgebende Treibhaus-Analogie nur einen begrenzten Erklärungswert. Der Alltagsbezug dieser Analogie beschränkt sich auf die Wirkung des Phänomens (die Erwärmung) und auf die Erklärung, dass Strahlung „gefangen wird“. Was sich in der Glasschicht/Atmosphäre aber genau abspielt, wird durch die Analogie nicht geklärt. Für die Unterrichtspraxis folgt daraus, dass die Absorptionsprozesse am Erdboden und in der Atmosphäre sowie die Strahlungsumwandlung verständlich gemacht werden müssen, z. B. durch tragfähige Analogien, geeignete Visualisierungen und evtl. durch experimentelle Erfahrungen.

Wozu so differenziertes Fachwissen im Geographieunterricht?

Mancher Leser mag sich nun die Frage stellen, weshalb man im Geographieunterricht, der sich vor allem mit den Ursachen und Folgen des anthropogenen Treibhauseffekts beschäftigt, einen so großen Wert auf fachlich korrekte Vorstellungen legen sollte. Nun, die Analyse der Alltagstheorien über den Treibhauseffekt und die globale Erwärmung zeigt zum einen, dass aus dem Ozonlochmodell häufig abgeleitet wird, dass ein verstärkter Treibhauseffekt auch eine Zunahme der Hautkrebsrate zur Folge

hat, wovon sich einige Schüler persönlich bedroht fühlen. Manche stellen sich auch vor, dass die starke UV-Strahlung generell das Leben auf der Erde zerstören könnte. Auf der Ursachenseite machen einige Schüler die aggressiven Schadstoffe der Luftverschmutzung für die Zerstörung der Ozonschicht verantwortlich und glauben, dass Katalysatoren und andere Filteranlagen wirksame Gegenmaßnahmen seien (Schuler 2005). Wenn klare Vorstellungen über die Eigenschaften des CO₂ und seine Rolle in der Atmosphäre fehlen, wird es schwierig, persönliche Entscheidungen zu Gunsten einer nachhaltigen Entwicklung zu treffen. Neben intellektuellen und moralischen Zielen ist differenziertes Fachwissen aber auch unabdingbar, um sich in unserer hochtechnologischen Gesellschaft zurechtzufinden und umwelt- und sozialverträgliche Neuerungen zu unterstützen, die helfen, unsere heutigen Klimafragen zu lösen.

Didaktische Strukturierung des Unterrichts

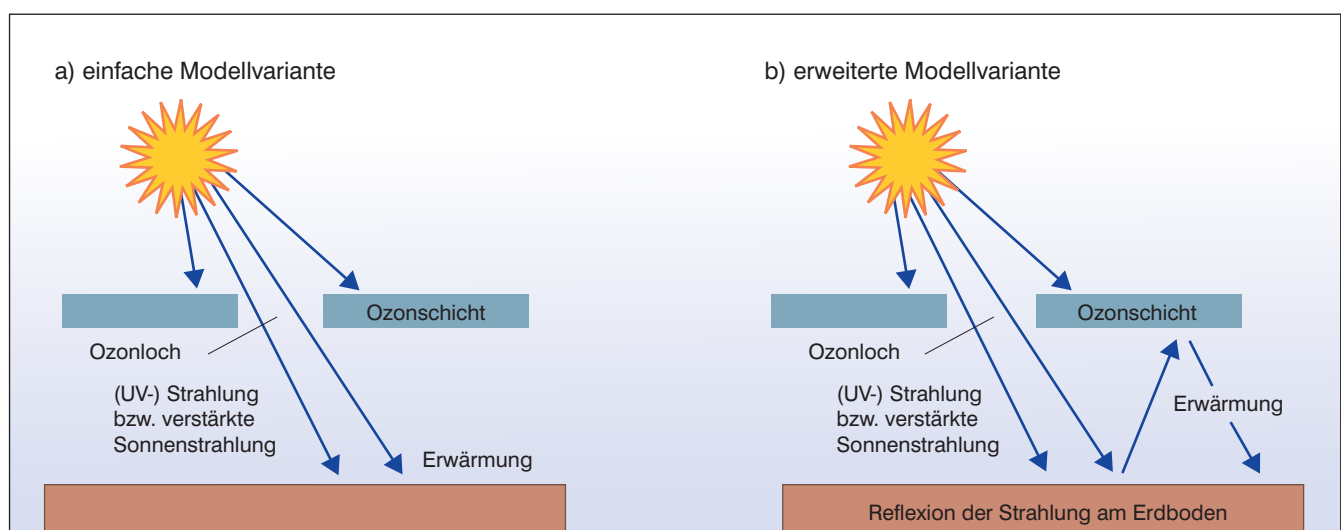
Spezielles Lernmaterial für spezielle Lernschwierigkeiten

Die didaktische Gestaltung der hier vorgestellten Materialien soll die speziellen Lernschwierigkeiten bezüglich des Treibhauseffekt-Prinzips überwinden helfen. Die für Laien plausible Vorstellung, ein „Loch in der Atmosphäre“ sei für den Treibhauseffekt verantwortlich, erwies sich in groß angelegten Lernexperimenten als äußerst „belehrungsresistent“ (vgl. z. B. Aeschba-

cher u. a., 2001). Es geht hier also um einen grundlegenden Konzeptwechsel: ein Umlernen gegen den „Widerstand“ einer für den Laien anschaulichen und plausiblen Vorstellung, die wissenschaftlich jedoch so nicht haltbar ist. Dafür ist die explizite Konfrontation mit dieser Vorstellung zwar notwendig, aber nicht hinreichend. Das neue Konzept darf für den Lernenden nämlich nicht weniger plausibel sein als das alte. Genau das ist aber beim Treibhauseffekt der Fall, solange die folgenden physikalischen Fakten nicht richtig zur Kenntnis genommen werden, und zwar sowohl als Einzelphänomene als auch in ihrem Zusammenwirken:

- ▶ 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 längerwellige Wärmestrahlung.
- ▶ Die CO₂-Moleküle (wie auch die der anderen Treibhausgase in der Atmosphäre) absorbieren die von der Erdoberfläche nach oben gerichtete Wärmestrahlung und strahlen sie selbst wieder in alle Richtungen ab. Sie „bremsen“ so die Abstrahlung von Wärmeenergie in den Weltraum, während sie die Strahlung im sichtbaren Spektralbereich nicht absorbieren, diese also ungehindert herein lassen.

Wer von einer simplen Reflexion des Lichts an der Erdoberfläche ausgeht, kann sich nicht erklären, warum „ein-und-dasselbe“



Entwurf: S. Schuler

Abb. 2: Alltagsvorstellung Ozonloch-Modell – idealtypische Darstellung in zwei Modellvarianten

CO₂ „ein-und-dasselbe“ Licht zwar hinein-, aber nicht wieder hinauslassen sollte.

Das hier vorgestellte Unterrichtsmaterial kann ab dem 9. Schuljahr eingesetzt werden. Da die Lernenden in dieser Stufe im allgemeinen nur über physikalische Grundkenntnisse verfügen, wurde auf den Schichtaufbau der Atmosphäre und der Troposphäre zugunsten der Prozesse der Strahlungsabsorption und –emission verzichtet. Deshalb wurde auch durchgehend der Begriff Atmosphäre verwendet, obwohl sich die Vorgänge nur in der Troposphäre abspielen.

Kompetenzbereiche und Ziele

Fachwissen

Die Schülerinnen und Schüler

- ▶ wissen, dass Sonnenstrahlung von der Erdoberfläche absorbiert und in Wärmestrahlung umgewandelt wird,
- ▶ wissen, dass der Treibhauseffekt auf der Eigenschaft von Treibhausgasen wie CO₂ beruht, die Wärmestrahlung der Erde zu absorbieren, die einfallende Sonnenstrahlung dagegen ungehindert passieren zu lassen,
- ▶ wissen, dass es zur globalen Erwärmung kommt, wenn CO₂-Emissionen des Menschen den natürlichen Treibhauseffekt verstärken,
- ▶ werden sich bewusst, dass die Erdatmosphäre kein Treibhaus im Sinne eines Gewächshauses ist, dass es jedoch Ähnlichkeiten und Unterschiede zu einem Treibhaus gibt.

Erkenntnisgewinnung/Methoden

- ▶ können auf der Basis der Ergebnisse eines Modellexperiments ihre bisherigen Erklärungen revidieren,
- ▶ können die genannten Prozesse mit einfachen Skizzen grafisch darstellen.

Methodische Überlegungen

Zu Beginn der Unterrichtseinheit überprüfen die Schülerinnen und Schüler zunächst ihr Wissen zum Thema Treibhauseffekt anhand eines kleinen Tests (**Arbeitsblatt 1/5**). Danach legen sie das Arbeitsblatt zur Seite und nehmen es erst zum Schluss der Einheit wieder vor. Da die Schülerantworten

auf die Testfragen den Ausgangspunkt der Lernschritte bilden, kommentiert die Lehrkraft die Schülerantworten nicht. Anschließend bearbeiten die Schüler die Aufgaben auf **Arbeitsblatt 2**. Dabei werden sie zunächst mit der Fehlvorstellung „Treibhauseffekt durch Ozonloch“ konfrontiert, bevor sie sich mit dem wissenschaftlich richtigen Konzept auseinandersetzen. Die für das Verständnis entscheidenden physikalischen Wissens Elemente (Strahlungsumwandlung und CO₂-Wirkung) werden in zwei Darstellungen schrittweise eingeführt. Die beiden Skizzen leiten die Schüler gewissermaßen zu einem Gedankenexperiment an, durch das das Prinzip des Treibhauseffekts bildlich realisiert wird. Anschließend erklären die Schüler den Treibhauseffekt mit ihren eigenen Worten und fertigen eine Zeichnung des Phänomens an. Zur Vertiefung tauschen sie sich mit ihrem Nachbarn aus und vergleichen die Ergebnisse. Um ihr neu gewonnenes Verständnis des Treibhauseffekts zu überprüfen und der naturwissenschaftlichen Theorie weiter anzunähern, folgen die Schüler im dritten Schritt einem Modellexperiment (s. **Arbeitsblatt 3** und **Film mit Beschreibung auf der CD-ROM in der Materialausgabe**; für genauere Angaben zum Experiment siehe auch www.demoex.ch). Das Experiment führt die physikalischen Tatsachen Strahlungsumwandlung und CO₂-Wirkung in derselben Reihenfolge wie in den Skizzen vor Augen, jetzt allerdings für alle direkt überprüfbar. Die Aufgaben auf **Arbeitsblatt 3** dienen dann der Sicherung der Beobachtungen sowie einer erneuten Erklärung des Effekts. Mithilfe von **Arbeitsblatt 4** wird das am Modell Gelernte vertieft. Im Zuge eines Vergleichs zwischen der globalen Erwärmung der Atmosphäre und der Erwärmung von Luft in einem Glastreibhaus arbeiten die Schülerinnen und Schüler das Treibhauseffektprinzip sowie die Chancen und Grenzen der Analogie noch einmal heraus.

Abschließend nehmen die Schüler den eingangs bearbeiteten Test wieder vor, der sie erneut mit den gängigen Fehlvorstellungen konfrontiert. Bei der nachfolgenden Besprechung des Tests können sie überprüfen, ob und inwieweit ihr neu konstruiertes Wissen noch Abweichungen von fachlich korrekten Vorstellungen aufweist. Die Testkonstruktion verdeutlicht den Schülern zudem ihren Lernzuwachs. Die Kompetenz-

erfahrung, die sie schon bei der Bearbeitung der **Arbeitsblätter 3 und 4** gemacht haben, wird durch den Abschlusstest noch einmal verstärkt.

Literatur

- Aeschbacher, U., Calo, C. u. R. Wehrli (2001): „Die Ursache des Treibhauseffekts ist ein Loch in der Atmosphäre“: Naives Denken wider besseres Wissen. Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie, 33(4), S. 230–241.
- 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 (www.ipcc.ch; 27. 10. 08).
- Schnotz, W. und M. Bannert (1999): Einflüsse der Visualisierungsform auf die Konstruktivität mentaler Modelle beim Text- und Bildverstehen. In: Zeitschrift für Experimentelle Psychologie, 46, H. 3, S. 217–236.
- Schuler, S. (2005): Umweltwissen als Subjektive Theorie. Eine Untersuchung von Schülervorstellungen zum globalen Klimawandel. In: Schrenk, M. und W. Holl-Giese (Hrsg.): Bildung für eine nachhaltige Entwicklung – Ergebnisse empirischer Untersuchungen. Hamburg, S. 97–112.

¹ Zwar gelangt durch die Abnahme des stratosphärischen Ozons tatsächlich mehr UVB-Strahlung zum Erdboden, zugleich findet in der Stratosphäre aber auch weniger Strahlungsabsorption statt, sodass es dort zu einer Abkühlung kommt. Dieser Effekt dominiert, sodass das Ozonloch insgesamt eine Verringerung des Treibhauseffektes bewirkt (IPCC 2001).

Autoren

Sibylle Reinfried ist Professorin für Geographie und ihre Didaktik an der Pädagogischen Hochschule Zentralschweiz in Luzern, Institut für Lehren und Lernen; Prof. Dr. Sibylle Reinfried, Flühgasse 33, CH-8008 Zürich, E-Mail: sibylle.reinfried@phz.ch

Stephan Schuler ist Akademischer Rat für Geographie und ihre Didaktik an der Pädagogischen Hochschule Ludwigsburg. Stephan Schuler, PH Ludwigsburg, Abt. Geographie, Reuteallee 46, 71634 Ludwigsburg, E-Mail: schuler@ph-ludwigsburg.de

Urs Aeschbacher war Lehrbeauftragter für Pädagogische Psychologie an verschiedenen Schweizer Universitäten und arbeitet als Lehrmittelenwickler bei der Firma DemoEx GmbH. Dr. Urs Aeschbacher, Via Lavazzari 2, CH-6600 Locarno, E-Mail: aeschbacher.dx@freesurf.ch

Erich Huber ist Lehrer für Mathematik und Physik an der Kantonsschule Seetal in Baldegg sowie Lehrbeauftragter an der Pädagogischen Hochschule Zentralschweiz. Zusammen mit Urs Aeschbacher ist er Geschäftsführer der Firma DemoEx GmbH. Dr. Erich Huber, Sonnhaldenstr. 26, CH-6030 Ebikon, E-Mail: demoex.huber@bluewin.ch

Stimmt oder Stimmt nicht?

1. Welche der Aussagen sind richtig und welche falsch? Kreuze an. Drehe anschließend das Blatt um und lege es weg.
2. Mache den Test am Ende der Stunde noch einmal. Tausche anschließend deinen Test mit deinem Nachbarn aus. Überprüfe, welche Lösungen richtig sind und welche nicht; jede richtige Lösung ergibt einen Punkt. Fragt im Zweifelsfall euren Lehrer/eure Lehrerin.

Aussagen	zu Beginn der Stunde		am Schluss der Stunde		richtige Antwort	
	Stimmt	Stimmt nicht	Stimmt	Stimmt nicht	Stimmt	Stimmt nicht
1. Alle einfallende Sonnenstrahlung wird an der Erdoberfläche wie an einem Spiegel reflektiert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Das CO ₂ hält Wärme in der Atmosphäre zurück. Je mehr CO ₂ in der Luft ist, desto wärmer wird es.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Beim Glastreibhaus wird die Wärmestrahlung im Glas absorbiert, in der Atmosphäre geschieht dies im Gas CO ₂ .	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Der Grund für die globale Erwärmung ist ein Loch in der Atmosphäre, durch das die Sonnenstrahlen hereinkommen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Wegen des Ozonloches kommen mehr Sonnenstrahlen in die Atmosphäre. Deshalb wird es wärmer.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Einfallende Sonnenstrahlung wird von der Erdoberfläche absorbiert und als Wärmestrahlung wieder abgestrahlt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Wegen der Luftverschmutzung bildet sich eine Art Deckel aus Treibhausgasen oben in der Atmosphäre, der die Wärmestrahlung nicht mehr hinauslässt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. CO ₂ lässt Sonnenstrahlung ungehindert durch, absorbiert aber Wärmestrahlung, die vom Boden kommt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Punktzahl

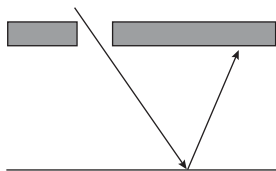
/ 8 P.

/ 8 P.

Der globale Treibhauseffekt als Strahlungsfalle

1.

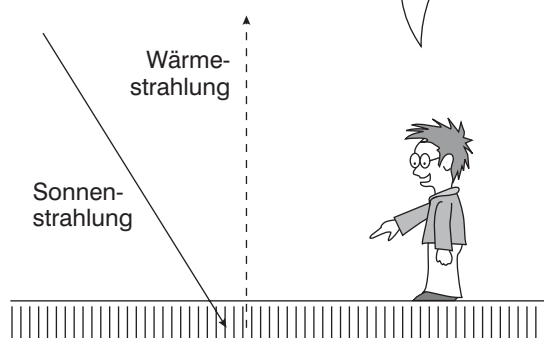
Strahlungsfalle?
Irgendwie kann also Sonnenstrahlung zwar rein,
aber dann nicht mehr raus.
Vielleicht so?



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!

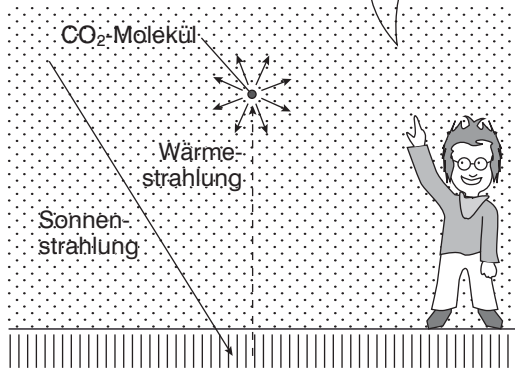


Der Erdboden „schluckt“ die Sonnenstrahlung (= **Absorption**). Dadurch wird er erwärmt. Diese Wärme strahlt er dann wieder nach oben ab, nicht als unveränderte Sonnenstrahlung wie bei einem Spiegel (Reflexion), sondern als Wärmestrahlung, mit viel größerer Wellenlänge. Der Erdboden absorbiert („schluckt“)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

Der globale Treibhauseffekt als Strahlungsfalle

3.

Das CO₂ in der Luft ist „parteiisch“. Es lässt Sonnenstrahlung durch, aber die vom Boden ausgehende Wärmestrahlung nicht mehr!



Die Luft enthält das Gas Kohlendioxid (CO₂). Im CO₂ findet „selektive Absorption“ statt: Das CO₂ lässt die sichtbare (**kurzwellige**) **Sonnenstrahlung** praktisch ungehindert durch, aber es absorbiert die (**langwellige**) **Wärmestrahlung** von der Erdoberfläche. Dadurch nimmt das CO₂ Energie auf und die Atmosphäre wird wärmer. Das nennt man den Treibhauseffekt!

4.

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



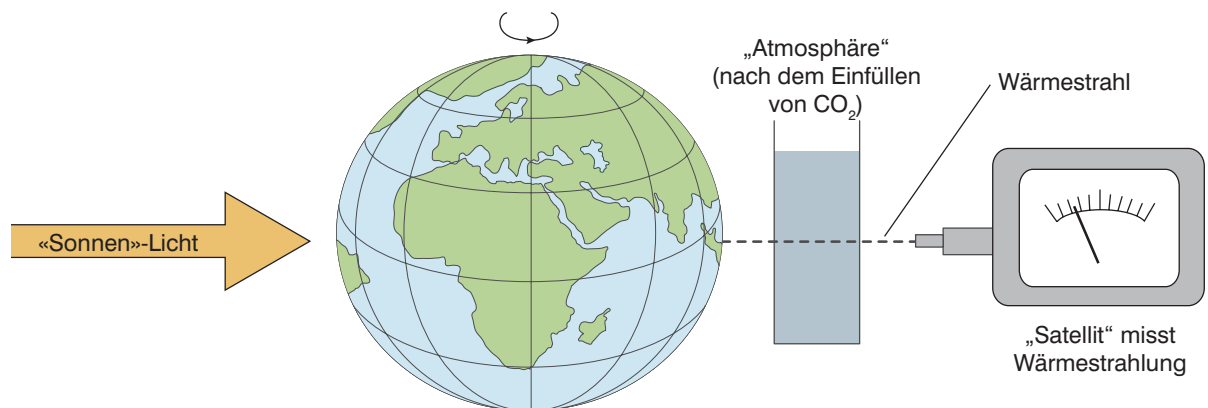
Die natürliche Menge an CO₂ in der Atmosphäre ermöglicht das Leben auf der Erde, denn ohne CO₂ wäre es auf der Erde zu kalt (= natürlicher Treibhauseffekt). Wenn nun aber aus Heizungen, Industrieanlagen, Kohlekraftwerken und durch den Verkehr immer mehr vom Menschen freigesetztes CO₂ hinzukommt, steigt die globale Temperatur, mit weitreichenden Folgen (= durch den Menschen verstärkter Treibhauseffekt).

Aufgaben

1. Sieh dir die Abbildungen und Texte 1–4 genau an und markiere mit einem Farbstift, was für dich neu ist.
2. Lege die Zeichnungen beiseite. Nimm dir stattdessen ein leeres Blatt Papier und schreibe einen kurzen Text, in dem du in eigenen Worten die „Strahlungsfalle“ Treibhauseffekt erklärst. Fertige auch eine eigene Zeichnung zu deinem Text an.
3. Tausche deine Erklärung mit einem Mitschüler aus. Korrigiert gemeinsam eure Erklärungen mit Hilfe dieses Arbeitsblattes.

Der Treibhauseffekt im Modellexperiment

1. Beobachtet das Modellexperiment. Notiert anschließend eure Beobachtungen.
2. Schaut euch die Versuchsanordnung und die Abbildung unten an und klärt noch einmal genau, welche Funktion die einzelnen Bestandteile haben. Arbeitet zu zweit.



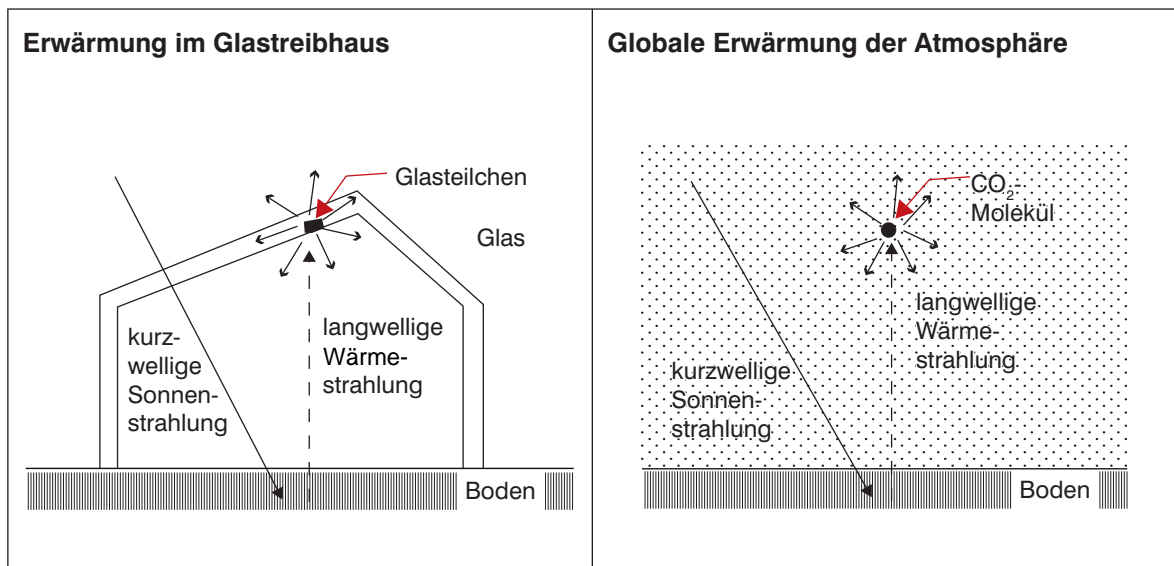
Quelle (2x): www.demoex.ch

3. Bearbeitet die folgenden Aufgaben schriftlich.

- a. Sucht Erklärungen für die von euch während der Versuchsdurchführung beobachteten Phänomene.
- b. Erläutert, welche Ähnlichkeiten der Versuch mit dem natürlichen Treibhauseffekt hat.
- c. Erklärt, inwiefern der Versuch von der „Lochvorstellung“ aus Abbildung 1 (Arbeitsblatt 1) abweicht.
- d. „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.

Ist die Erwärmung der Atmosphäre gleich der Erwärmung im Treibhaus?

Tatsächlich gibt es Ähnlichkeiten zwischen der Erwärmung der Luft in einem Treibhaus und in der Atmosphäre. Gleichzeitig gibt es aber auch Unterschiede.



Welche Ähnlichkeiten gibt es zwischen der Erwärmung im Glastreibhaus und der Erwärmung der Atmosphäre? Liste mindestens vier Aspekte auf.

- ▶ Die ungehindert eindringende Sonnenstrahlung wird vom Boden absorbiert und erwärmt ihn.
- ▶ Der erwärmte Boden strahlt langwellige Wärmestrahlung nach oben ab.
- ▶ Die langwellige Wärmestrahlung wird von einer Substanz (Glas bzw. CO₂) geschluckt (absorbiert) und in Wärme umgewandelt.
- ▶ Diese Substanz strahlt die Wärmestrahlung in alle Raumrichtungen wieder ab, auch zurück zum Boden.
- ▶ Zusätzlich wird die Luft durch den Kontakt mit dem so erwärmten Boden wie durch eine Heizfläche erwärmt.

Welche Unterschiede gibt es zwischen der Erwärmung im Glastreibhaus und der Erwärmung der Atmosphäre? Liste zwei Unterschiede auf.

Erwärmung im Glastreibhaus

1. Die Absorption der Wärmestrahlung findet im Glasdach statt.
2. Die erwärmte Luft kann nicht aus dem Glastreibhaus entweichen oder weggeweht werden. Im Glastreibhaus wird es wärmer als draußen.

Erwärmung der Atmosphäre

1. Die Absorption der Wärmestrahlung findet überall in der Atmosphäre am CO₂ statt.
2. Die erwärmte Luft steigt auf und verteilt sich ungehindert in der Atmosphäre in alle Richtungen.