

Aeschbacher, Urs; Huber, Erich

Der Treibhauseffekt - auch eine pädagogische Herausforderung.

Entwicklung eines Demonstrationsexperimentes als didaktische Forschung

Beiträge zur Lehrerbildung 14 (1996) 2, S. 180-190



Quellenangabe/ Reference:

Aeschbacher, Urs; Huber, Erich: Der Treibhauseffekt - auch eine pädagogische Herausforderung. Entwicklung eines Demonstrationsexperimentes als didaktische Forschung - In: Beiträge zur Lehrerbildung 14 (1996) 2, S. 180-190 - URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-133289 - DOI: 10.25656/01:13328

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-133289>

<https://doi.org/10.25656/01:13328>

in Kooperation mit / in cooperation with:

Zeitschrift zu Theorie und Praxis der Aus- und
Weiterbildung von Lehrerinnen und Lehrern

BEITRÄGE ZUR LEHRERINNEN-
UND LEHRERBILDUNG

Organ der Schweizerischen Gesellschaft für
Lehrerinnen- und Lehrerbildung (SGL)

ISSN 2296-9632

<http://www.bzl-online.ch>

Nutzungsbedingungen

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen. Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document.
This document is solely intended for your personal, non-commercial use. Use of this document does not include any transfer of property rights and it is conditional to the following limitations: All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

Kontakt / Contact:

peDOCS
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation
Informationszentrum (IZ) Bildung
E-Mail: pedocs@dipf.de
Internet: www.pedocs.de

Digitalisiert

Mitglied der


Leibniz-Gemeinschaft

Der Treibhauseffekt - auch eine pädagogische Herausforderung

Entwicklung eines Demonstrationsexperimentes als didaktische Forschung

Urs Aeschbacher und Erich Huber

Ein Psychologe und ein Physiker berichten über ihren interdisziplinären Versuch, den Treibhauseffekt didaktisch "vom Himmel herunter zu holen" und im Zimmermassstab erfahrbar zu machen. Ein Phänomen wie dieses, das mit gewöhnlichen Mitteln weder erfahrbar noch verstehbar ist und dem Alltagswissen und -verstehen sogar widerspricht, muss mit speziellen Mitteln in den Lernhorizont gebracht werden. Solche Mittel zu entwickeln, kann sich - wie im vorliegenden Fall - zu einem didaktischen Forschungsprojekt ausweiten, an welchem grundsätzliche Probleme sichtbar werden.

Das Ziel war, ein Demonstrationsexperiment zur Physik des Treibhauseffektes zu entwickeln, das nicht nur als Schulversuch, sondern auch als interaktives Exponat in einer Ausstellung taugt. Damit rückte das Kriterium des Erlebniswertes ins Zentrum. Das Experiment musste eindrücklich und überzeugend ausfallen und es musste - durch Einfachheit und Attraktivität von Versuchsaufbau, -ablauf, -handhabung und -effekt - zum aktiven Ausprobieren einladen. Das hiess: In einen physikalischen Versuch möglichst viel Didaktik "einbauen". Dies wiederum rief einen Hin und Her zwischen Physik und Psychologie/Pädagogik/Didaktik, einem beiderseitigen Erkunden und auch empirischen Austesten des Machbaren unter gegenseitiger Anregung und Einschränkung, kurz einem für beide Autoren neuen interdisziplinären Optimierungsprozess. Was dabei entstand, unterscheidet sich von typischen Physik-Schülerversuchen vor allem durch seinen kontrastierenden Bezug auf Alltagswissen, und das wirft auch (fach-) didaktische Fragen von allgemeinerem Interesse auf.

1. CO₂ absorbiert Wärmestrahlung? Die Botschaft hör' ich wohl...

CO₂-Gas absorbiert Wärmestrahlung. Wir alle haben das schon mehrfach in Bild und Wort vernommen. Dieses physikalische Phänomen hat nämlich in den letzten Jahren eine ausserordentlich hohe Medienbeachtung gefunden, und zwar mit Blick auf den sogenannten Treibhauseffekt: Die Unmengen von Kohlendioxid, die bei der Verbrennung fossiler Energieträger in die Atmosphäre entweichen, absorbieren bzw. "schlucken" die von der Erde abgegebene Wärmestrahlung und verschärfen so laufend einen globalen "Wärmestau". (Zur wissenschaftlichen Wahrscheinlichkeits- und Gefährlichkeitseinschätzung der von da her zu befürchtenden globalen Klimaveränderungen siehe z.B. BUWAL, 1994; Gassmann, 1994.)

Aber trotz der häufigen und alarmierenden Medienberichte zählt das für den Treibhauseffekt zentrale Phänomen - eben dass CO₂-Gas Wärmestrahlung stoppt - nachweislich nicht zum geläufigen Wissen der erwachsenen Bevölkerung (Diekmann & Franzen, 1995), und zwar nicht einmal in der Gruppe der Studierenden (Aeschbacher, 1992). Wir sind zwar praktisch alle über das Phänomen "informiert", aber wir nehmen es nicht wirklich zur Kenntnis. Offensichtlich bestehen hier besonders hohe Lernhürden.

Mit grosser Wahrscheinlichkeit ist emotionale Abwehr im Spiel (Aeschbacher & Stöckli, 1995). Aber nicht nur die inneren, auch die äusseren Voraussetzungen des Lernens sind schlecht. Das Phänomen "Wärmestau am CO₂" ist nämlich - wie so viele unsere Lebensbedingungen bedrohende Veränderungen in der Umwelt - für uns nicht unmittelbar sinnlich wahrnehmbar (vgl. Preuss, 1991). Es fehlt in unserer Alltagserfahrung völlig. Unserem Alltagsbewusstsein gilt aber nur das als gewiss, was sinnlich und lebenspraktisch erfahrbar ist (Forneck, 1982). Informationen, die bloss sprachlich-symbolisch vermittelt werden und keinerlei persönliche Erfahrungsbasis haben, gehen nicht "unter die Haut". Sie werden schnell vergessen oder dann nur als äusserlich angelerntes (Schein-)Wissen behalten, welches kaum Einfluss auf unser Erleben, Denken und Handeln gewinnt (vgl. Wagenschein, 1968; Rumpf, 1988).

Das Kernphänomen des Treibhauseffektes ist uns aber nicht nur in dem Sinne unvertraut, dass wir es in der Alltagserfahrung nicht antreffen. Es läuft unserer Intuition bzw. unserer einschlägigen "Alltagstheorie" (vgl. Forneck, 1982) sogar geradewegs zuwider. Diese ist nämlich von unserer alltäglichen Erfahrung mit Luft und (sichtbarem) Licht geprägt, wo Durchsichtigkeit des Gases ganz selbstverständlich auch Strahlendurchlässigkeit bedeutet. Dass nun das durchsichtige CO₂-Gas ein Strahlenhindernis sei, also gewissermassen (im Spektralbereich der langwelligen Wärmestrahlung) Schatten werfe, wird vor diesem Wissenshintergrund "intuitiv" als unsinnige und unglaubwürdige Behauptung empfunden. Sie ist im Sinne von Piaget (1992) nicht assimilierbar - jedenfalls nicht ohne eine Akkommodation des naiven, zu wenig differenzierten Assimilationsschemas.

2. Ein Demonstrationsexperiment vermittelt Erfahrungswissen

Nach der obigen Analyse ist es notwendig, das fragliche Phänomen allererst der Bevölkerung erfahrbar zu machen. Als Schritt zu diesem umweltpädagogischen bzw. erwachsenenbildnerischen Ziel hin haben die beiden Autoren ein Demonstrationsexperiment für den Einsatz in Ausstellungen entwickelt (vgl. Bericht und Diskussion in Huber & Aeschbacher, 1995).

Die geplante Einsatzart stellt besondere Anforderungen an ein solches Experiment, die aber u.E. auch dessen schulischem Einsatz keineswegs abträglich sind. Es muss "attraktiv" sein in dem Sinne, dass es die Aufmerksamkeit eines gemischten Publikums fesseln kann. Dieser Anforderung kommt das vorgeschlagene Experiment (Abbildung 1) nahe, wie sich anlässlich verschiedener Vorführungen bestätigt hat. Dass beim Eingiessen des CO₂ in den zwischen Modellerde und Strahlungsmessgerät plazierten durchsichtigen Behälter (CO₂ kann wie Flüssigkeit aus einem Krug eingegossen werden, da es schwerer ist als Luft) der ausserhalb des Behälters angebrachte Zeiger sofort nach unten ausschlägt, wirkt verblüffend und mutet manche wie ein - die Neugier weckender - Zaubertrick an: Ein unsichtbares Gas behindert "offensichtlich" eine unsichtbare, von der Modellerde ausgehende Strahlung!

Ausserdem muss die Aussage des Experimentes kurz, evident, gut fassbar und überzeugend sein, sie soll ja auch für Laien ohne Umschweife und eindeutig aus dem Gezeigten ablesbar sein. CO₂-Input und Zeigerausschlag folgen so schnell (innerhalb einer halben Sekunde) aufeinander, dass ihre Abfolge unmittelbar als eine solche von Ursache und Wirkung empfunden wird (vgl. Michotte, 1946). Aber auch für einen zweiten, prüfenderen Blick und für das reflektierende Denken ist aufgrund der Einfachheit und Übersichtlichkeit des Experimentalaufbaus und -ablaufs der kausale Zusammenhang zwingend: Sobald CO₂ in den Strahlengang zwischen Modellerde und Messgerät gelangt, kommt die Strahlung nicht mehr voll durch. Weitere bestätigende

Beobachtungen sind auch von Laien ohne weiteres durch eigenes Probieren zu machen. So können Zweifler sich leicht vergewissern, dass tatsächlich eine Strahlung im Spiel ist: Hält man z.B., ohne das eine oder das andere zu berühren, eine Hand zwischen erwärmte (und damit Wärmestrahlen aussendende) Modellerde und Messgerät, so schlägt der Zeiger des Letzteren ebenfalls sofort nach unten aus. Dass sich nach dem "Ausleeren" eines CO₂-gefüllten Kruges über dem Behälter tatsächlich CO₂ in letzterem befindet, lässt sich mithilfe von brennenden Zündhölzern zeigen, die beim Eintauchen in den Behälter verlöschen. Überdies ist der Effekt ebenso eindrücklich umkehrbar: Entfernt man das CO₂ (z.B. durch Absaugen mittels eines Staubsaugers) zügig aus dem Behälter, so kehrt der Zeiger sofort in seine Maximalposition zurück und bestätigt damit, dass in der Tat das CO₂ das Strahlenhindernis war. Das Experiment kann anschließend ohne Zeitverzug und beliebig oft wiederholt werden, und zwar dank der Einfachheit der Anlage und der Manipulationen ohne weiteres auch von Laien.

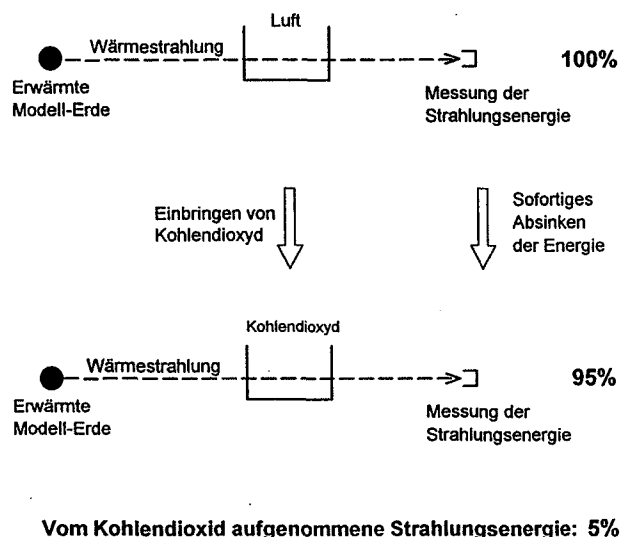


Abbildung 1: Demonstrationsexperiment zum Treibhauseffekt (Version I)

Eine kleine elektrisch erwärmte Kupferkugel (=Modell-Erde) strahlt Wärme ab. Ein empfindliches Messgerät registriert denjenigen Anteil der Wärmeabstrahlung, der ein durchsichtiges, Luft enthaltendes (die Erdatmosphäre darstellendes) Gefäß durchquert (=100%). Wird nun in das oben offene Gefäß CO₂ eingefüllt, so zeigt der mit dem Messgerät verbundene Zeiger sofort einen ca. 5%igen Verlust an transmittierter Wärme an. Das CO₂-Gas stellt also für die Wärmestrahlung ein Hindernis dar.

Alle genannten Merkmale des Experimentes steigern gemäß assoziativer und kognitiver Lerntheorie auch seine Lernwirkung. Der zeitliche Abstand zwischen auslösendem Ereignis und Folgeereignis ist von derjenigen extremen Kürze, die sich in vielen Konditionierungsexperimenten als optimal für die assoziative Verknüpfung herausgestellt hat (vgl. Bower & Hilgard, 1983, S.87). Beide Ereignisse (die Drehbewegung des Eingießens und dann diejenige des Zeigers) sind im psychologischen Sinne ele-

mentar und tragen bereits aus dem Alltag die Bedeutung des "mehr" im ersten und des "weniger" im zweiten Falle, sodass beim Verfolgen des Experimentes sich ohne viel Interpretations- und Kodierungsarbeit - d.h. bereits auf der für das Erfahrungslernen wichtigen Ebene elementarer Assoziationen - die wichtige Gedächtnisverknüpfung bilden kann: Ein Mehr an CO₂ führt zu einem Weniger an Abstrahlung. Aber die beschriebene Verblüffung über den erwartungswidrigen Effekt weckt nicht nur Neugier und Interesse: Der kognitive Konflikt, dessen Ausdruck sie ist, fördert auch das begrifflich-strukturell vertiefte Lernen im Sinne einer Akkommodation des naiven Wissensschemas, wonach ein unsichtbares Gas kein Hindernis für Strahlen bildet (vgl. die von Piaget inspirierten Didaktiken von Aebli, 1983 (1961), Joeger, 1980, Landwehr, 1994). Diese entscheidende Akkommodation wird durch direkte Konfrontation mit der sinnlichen Gegenevidenz gleichsam erzwungen. (Dass gerade dieses im physikalischen Schulunterricht häufig nicht geschieht, sodass neben oberflächlich angelegtem Wissen die naiven und inadäquaten Vorbeurteilungen weiter bestehen und das Denken beeinflussen, zeigen z.B. die Untersuchungen von Szekely, 1950, von Gardner, 1993, und von Maloney & Siegler, 1993).

3. Alternativen der didaktischen Zubereitung und der Intentionen

Den Schreibenden ist erst nachträglich bekannt geworden, dass verschiedenenorts verwandte Versuche entwickelt worden sind, und zwar durch Fachdidaktiker/innen der Naturwissenschaften (Heise, 1984; Bartsch u.a., 1994; Parchmann u.a., 1995). Diese Arbeiten nehmen Bezug auf das historische Absorptionsexperiment von Tyndall aus dem Jahre 1860 und berichten von verschiedenen Möglichkeiten, dieses mit schulischen Mitteln im Unterricht der Sekundarstufe zu wiederholen (vgl. auch die wissenschaftsgeschichtlichen Hinweise von Bachofen & Frischknecht, 1995). Ihre experimentelle Grundanordnung ist also dieselbe wie beim in Abschnitt 2 vorgestellten Experiment, nämlich die einer sogenannten Transmissionsmessung: In den Weg einer Wärmestrahlung zwischen Strahlungsquelle und einem Strahlungsmessgerät werden Gase eingebracht, sodass durch Vergleichsmessungen festgestellt werden kann, wieviel Strahlungsenergie durch das jeweilige Gas hindurch transmittiert wird.

Interessant sind nun Unterschiede der didaktischen Zubereitung bzw. Zuspitzung der Grundanordnung. In dieser Hinsicht heben sich nämlich die genannten, untereinander recht ähnlichen Schulversuche als Gruppe vom oben vorgestellten, primär für auserschulische Zwecke entwickelten Demonstrationsexperiment ab. Es bietet sich geradezu an, Unterschiede der Zubereitung zu Unterschieden der pädagogischen Intention (Heimann, 1965) in Beziehung zu setzen, und durch diesen nachträglichen Vergleich den Blick für die Relevanz bestimmter Merkmale des experimentellen Vorgehens weiter zu schärfen. Für diesen Vergleich soll der Vorschlag von Parchmann u.a. (1995) als exemplarisch für die schulischen Umsetzungen des Absorptions-Grundexperimentes herausgegriffen und der oben dargestellten auf Ausstellungs-Demonstrationen zugeschnittenen Umsetzung gegenübergestellt werden.

Wie in Tyndalls historischem Versuchsaufbau besteht bei Parchmann u.a. der Gasbehälter aus einem waagrecht gehaltenen Metallrohr, durch welches die Wärmestrahlung hindurchgeschickt wird (vgl. Abb. 2). Sobald das Gas durch eine Seitenöffnung ins Rohr eingefüllt ist, wird vor dem einen Rohrende ein Bunsenbrenner entzündet. Dessen Wärmestrahlung, für welche die den Rohreingang verschliessende dünne Polyethylen-Folie praktisch durchlässig ist, durchquert nun auf ihrem ganzen Weg durch das Rohr das darin enthaltene Gas. Am anderen Ende des Rohres wird mittels eines Thermoelementes gemessen, wieviel Strahlungsenergie noch ankommt. Vom Anzün-

den des Bunsenbrenners an dauert es ungefähr zwei Minuten, bis der für das jeweilige Gas maximale Messwert (Zeigerausschlag) erreicht ist und als gültiger Transmissionswert abgelesen werden kann. Interessiert nun der Vergleich zwischen den beiden Gasen Luft und CO₂, so braucht es zwei solche Messdurchgänge hintereinander - einen mit Luftfüllung und einen mit CO₂-Füllung im Rohr - und den Vergleich der beiden maximalen Messwerte.

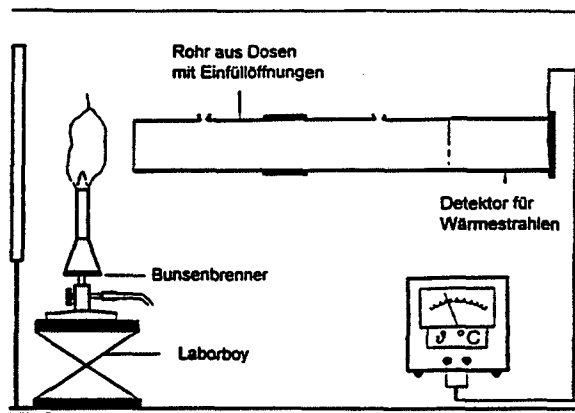


Abbildung 2: Schulversuch von Parchmann u.a. (1995) zur Absorption von Wärmestrahlung in CO₂.

Eine Bunsenbrennerflamme strahlt Wärme ab. Ein empfindliches Messgerät registriert, wieviel Wärmestrahlung durch ein zunächst mit Luft, dann mit CO₂ gefülltes Rohr hindurch gelangt. Diese beiden Messwerte werden in zwei getrennten Versuchsdurchgängen erhoben und ergeben sich jeweils als Asymptote der nach dem Anzünden des Bunsenbrenners langsam ansteigenden Messkurve. Der Versuchsaufbau ist demjenigen des Demonstrationsexperimentes von Abbildung 1 vergleichbar, der Versuchsablauf jedoch nicht.

Der Schulversuch geht also in seinem Genauigkeitsanspruch über das Demonstrationsexperiment hinaus, welches bloss qualitativ nachweist, dass CO₂ für Wärmestrahlung ein Hindernis darstellt. Im Schulversuch soll der Strahlungswiderstand des CO₂ (im Vergleich zu demjenigen der Luft und anderer Gase) genauer gemessen werden. Dass diese genauere quantitative Feststellung des Strahlungswiderstandes die qualitative Feststellung von dessen Vorhandensein ohne weiteres impliziert, gilt allerdings nur logisch, nicht aber psychologisch. Das grundsätzliche Dass des Strahlungswiderstandes könnte hinter dem gesteigerten, dem Wieviel geltenden experimentellen Aufwand verdeckt werden. Zumindest für das unmittelbare Wahrnehmen und Erleben tritt es im Schulversuch - verglichen mit dem Demonstrationsexperiment - zurück. Es wird nicht mehr durch einen Soforteffekt und in die Augen springenden Kontrast dargestellt, sondern muss vom Betrachter selber erschlossen werden, nämlich durch

den Vergleich von zwei zeitlich durch Minuten und viele Zwischenmanipulationen voneinander getrennten Zeigerhöchstständen. Dazu braucht es erheblich mehr motivationale und kognitive Eigenleistung und eine die Zwischenzeit überbrückende Datenspeicherung.

Die "dramaturgischen" Unterschiede sind interessant. Absorptions-Einakter steht gewissermassen gegen Absorptions-Zweiakter, wobei der Kürze des Demonstrationsexperimentes eine grössere Kompaktheit der "Handlung" entspricht. Ein punktuell Ereignis (das Eingiessen des CO₂ erfolgt im wahrsten Wortsinne im Handumdrehen) wird sofort von einem zweiten punktuellen Ereignis (schlagartiger Zeigerrückgang) gefolgt. Beim Schulversuch hingegen besteht das Folgeereignis - je einmal pro Akt - in einem langsamen Zeigeranstieg, dessen undramatischer Höhepunkt jeweils mit dem allmählichen Zeigerstillstand erreicht wird. Die Handlung des Demonstrationsexperimentes ist zudem einfacher in dem Sinne, als sich auch die Effekt-Ursache der Wahrnehmung unmittelbar aufdrängt: Das CO₂ nimmt auch im dramatischen Ablauf die Rolle des Effektauslösers ein. Man könnte sagen, die Erzählstruktur bzw. die narrative Oberflächenstruktur des Demonstrationsexperimentes sei mit der Tiefenstruktur der Botschaft "CO₂ behindert Wärmestrahlung" praktisch identisch, während beim Schulversuch verschiedene Transformationen zwischen diesen beiden Ebenen liegen. Gestaltpsychologisch wäre von eigentlichen Umstrukturierungen zu sprechen, die vom Betrachter des Schulversuchs zwecks richtiger Einordnung der auslösenden und der ausgelösten Ereignisse geleistet werden müssen.

Der Schulversuch stellt das Absorptionsphänomen in den Dienst der Physik. An diesem Exempel soll (auch oder vor allem?) exaktes Experimentieren beigebracht werden. Das Demonstrationsexperiment dagegen stellt umgekehrt die Physik in den Dienst des Phänomens. Hier wird die Tugend exakten Experimentierens dem Erleben untergeordnet - oder, wenn man will, geopfert. Die obige Analyse hat verdeutlicht, dass die beiden Ziele hier in der Tat nicht gleichzeitig zu erreichen sind (wohl aber hintereinander, wenn nämlich im Unterricht beide Versuche eingesetzt würden!). Was bei der erstgenannten (im Physikunterricht vorherrschenden) Akzentsetzung verloren geht, nämlich den direkten Erlebnisimpakt, hat Rumpf (z.B. 1988) in diversen Publikationen phänomenologisch umschrieben. Zu jenen Beschreibungen "ex negativo" bildet die hier gegebene Beschreibung des Demonstrationsexperimentes u.E. ein Echo "ex positivo". An diesem Beispiel zeigt sich eine Verwandtschaft zwischen phänomenologischer und kognitiver Bestimmung wesentlicher Lernvoraussetzungen. Der vergleichsweise starke Erlebnisimpakt des Demonstrationsexperimentes hängt ja, wie in den Abschnitten 1 und 2 ausgeführt, mit der Überraschung angesichts eines erwartungswidrigen Ereignisses zusammen. Das didaktische Lob der Erlebnisintensität läuft hier demjenigen des kognitiven Konfliktes als des Auslösers schemaverändernden Lernens (vgl. Landwehr) parallel.

4. Verbesserung des Experimentes auf der Transferdimension

Das in Abbildung 1 vorgestellte Experiment zeigt also die "Behinderung" von Wärmestrahlung durch CO₂ relativ erlebniswirksam. Was es aber ungenügend zeigt, ist der Ort oder die Rolle dieser Behinderung im Zusammenhang des Treibhauseffektes. Anlässlich verschiedener Vorfürungen des Experimentes kehrte die Frage wieder: Wie passt das jetzt auf den globalen Treibhauseffekt? Zwei Erschwernisse für diese Übertragung sind offensichtlich, und sie haben denn auch zu entsprechenden Reaktionen und Rückfragen geführt: Die verzerrte Geometrie und das Fehlen der Sonneneinstrahlung als Wärmequelle. Als Quelle der Wärmeabstrahlung findet im Experiment

eine mit aufgemalten Kontinentalumrissen als "Erde" kenntlich gemachte kleine Kupferkugel Verwendung, deren wärmetechnisch bedingte Kleinheit (Durchmesser: 5 cm) zur Dicke der Modellatmosphäre, d.h. zur Länge des Gasbehälters (24 cm) in einem krassen Missverhältnis steht. Ausserdem ist der durchsichtige Gasbehälter auch von seiner rechtwinkligen Form her nur schwer als der Ausschnitt der Erdatmosphäre kenntlich, den er darstellen soll. Der Transfer verlangt somit vom Beobachter eine beträchtliche Abstraktionsleistung.

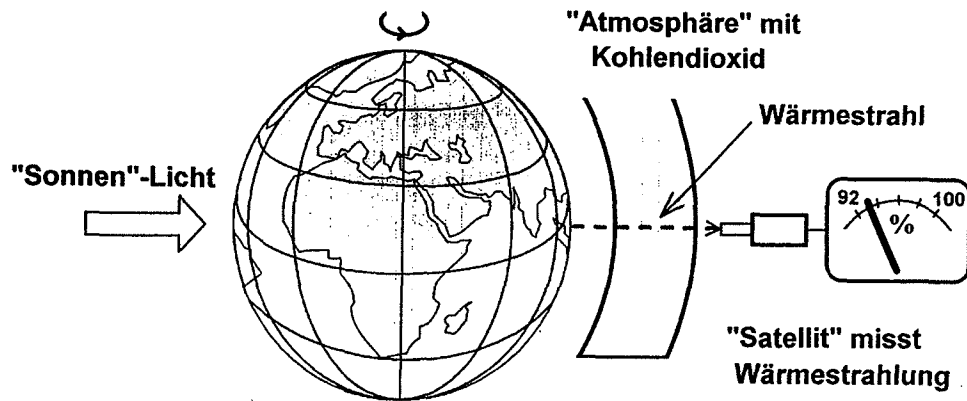


Abbildung 3: Version II des Demonstrationsexperimentes

Wie bei Version I (Abb. 1) kann CO_2 von oben in den durchsichtigen Behälter zwischen Modellerde und Strahlungsmessgerät eingegossen werden, und wiederum zeigt der sofortige Rückgang des Zeigers am Messgerät an, dass das CO_2 für die Wärmestrahlung ein Hindernis darstellt. Im Vergleich zu Version I ist hier die Modellerde (ein um seine Achse rotierender Globus) besser als solche zu erkennen. Für die Modellatmosphäre gilt dank ihrer konzentrischen Krümmung und des etwas besseren Grössenverhältnisses Analoges. Das Messgerät stellt einen Mess-Satelliten auf der "Nachtseite" der Erde dar, während diese auf ihrer "Tagseite" durch intensive Lichtbestrahlung erwärmt wird. Das Licht der Halogenlampen, welche die Sonne darstellen, ist aus wärmetechnischen Gründen auf den Äquator des rotierenden Globus gebündelt und erwärmt hauptsächlich einen rings um den Äquator verlaufenden Kupferring.

Diesem Übertragungsproblem wurde in einer zweiten Version des Demonstrationsexperimentes Rechnung getragen, welche in Abbildung 3 schematisch dargestellt ist¹. Die Modellerde - jetzt auf den ersten Blick als solche kenntlich - besteht in dieser Version aus einem handelsüblichen Globus (Durchmesser: 25,5 cm) mit aufgedruckter farbiger Weltkarte, der vermittels eines Elektromotörchens um seine Polarachse rotiert. Obwohl im Verhältnis immer noch viel zu breit, ist der Gasbehälter dank seiner konzentrischen Krümmung besser als zur Erde gehöriger Atmosphärenausschnitt kennt-

¹ Die Verfasser danken Beat Amrein, Thomas Berger, Erol Bilecen, Hans-Peter Engel, Philipp Hördegen, Barbara Kereszturi, Axel Kersten, Michael Küng, Steffen Mohr, Natalie Oberholzer, Michael Pfisterer, Jan Steinitz, Edith Totschnig und Philipp Weber für ihre Mithilfe bei der Konzipierung und Fertigung des Experimentes im Rahmen eines MGU-Lehrprojektes der Universität Basel.

lich. Eine weitere Annäherung des Modells an die Realität besteht darin, dass die Modellerde nicht mehr elektrisch, sondern gut sichtbar durch intensive Lichtbestrahlung erwärmt wird. Die ("Sonnen"-) Lichtbestrahlung ins Modell einzubeziehen, stellt eine wichtige Übertragungshilfe dar. Allerdings sind hier der Annäherung an die realen Verhältnisse enge Grenzen gesetzt. So braucht es bereits zwei Kunstgriffe, um die Modellerde tatsächlich durch Lichtbestrahlung allein so stark erwärmen zu können, dass sie wieder genügend Wärme abstrahlt: Zum einen werden Halogenlampen verwendet, die einen höheren Anteil an Wärmestrahlung aufweisen als das Sonnenlicht, und zum anderen wird durch diese Strahlung nicht der ganze Globus erwärmt, sondern nur ein um den Äquator laufender Metallring. Das sichtbarste Realitätsdefizit des Modells liegt in der (wörtlich zu nehmenden) Einseitigkeit der Atmosphäre. Inretwegen unterbleibt die Modellierung eines für den globalen Treibhauseffekt entscheidenden Sachverhaltes: Die Sonneneinstrahlung durchquert ja in Wirklichkeit ebenfalls die CO_2 -erfüllte Atmosphäre, wird aber dort - anders als die Wärmeabstrahlung - nicht absorbiert. Diese Selektivität der Absorption (CO_2 absorbiert nur im Spektralbereich der langwelligen Wärmestrahlung, nicht in demjenigen des sichtbaren Lichts) bleibt wegen der Einseitigkeit der Atmosphäre ausgespart. Damit unterbleibt leider die Konfrontation mit einem zweiten falschen Denkschema, das im Zusammenhang mit dem Treibhauseffekt verbreitet ist, nämlich mit der Vorstellung, dass die globale Erwärmung auf ein "Loch in der Atmosphäre" zurückzuführen sei (vgl. Diekmann & Franzen, 1995). (Würde CO_2 in einen den Äquator rings umschliessenden Gasbehälter eingegossen, würde der Zeiger zwar ebenfalls sinken. Aber die Eindeutigkeit des Zusammenhanges mit einer Behinderung der Abstrahlung wäre verloren: Es könnte ja auch bereits das einstrahlende Licht behindert worden sein - eine Alternativdeutung, welche dem Laien intuitiv näher läge, vgl. Aeschbacher, 1992 und 1996.)

5. Empirische Evaluation der beiden Demonstrationsexperimente in Schulklassen

Abschliessend berichten wir über die Beurteilung der Experimente durch zwei Gymnasialklassen², die beide im Unterricht zuvor weder den Treibhauseffekt im Allgemeinen, noch die Absorption von Strahlung in Gasen im Speziellen behandelt hatten. Der einen Klasse (N=17; Durchschnittsalter ca. 17 Jahre) wurde vom Zweitautor das Demonstrationsexperiment I (vgl. Abb. 1), der anderen (N=23; Durchschnittsalter ca. 18 Jahre) das Demonstrationsexperiment II (vgl. Abb. 3) vorgeführt. Beide Klassen füllten anschliessend nachfolgenden Fragebogen aus.

Bei der offenen Frage 1 hatten die Schüler/innen sowohl die Kriterien als auch die Formulierungen ihrer Urteile selber zu wählen. Unter den Antworten stechen die häufigen Hinweise auf "Verständlichkeit" (Exp. I: 7 mal erwähnt; Exp. II: 11 mal erwähnt) und "Anschaulichkeit" (Exp. I: 2; Exp. II: 8) hervor. Oft wurde auch in ähnlichem Sinne angemerkt, die Experimente seien "einleuchtend" (I: 2; II: 5) und/oder sie hätten einen klaren Bezug auf die reale Situation (I: 2; II: 7). Insgesamt kamen in acht der siebzehn Rückmeldungen auf Exp. I und in fünfzehn der dreundzwanzig Rückmeldungen auf Exp. II Formulierungen aus einer oder aus mehreren der genannten Kategorien vor. Ferner war in den Antworten auf Frage 1 auch häufig davon die Rede, die Experimente seien "eindrücklich", "effektiv" o.ä. gewesen (Exp. I: 6 mal; Exp. II: 8 mal).

² Die Verfasser danken Herrn Wolfgang Mann, Aarau, dem Physiklehrer der beiden Klassen, für die freundliche Zusammenarbeit bei dieser Evaluation.

Fragebogen

- 1) Welchen Eindruck hat der experimentelle Effekt auf Sie gemacht? (es geht bei dieser Frage nicht um objektive Physik, sondern um Ihr subjektives Erleben, auf den konkreten Versuchsablauf bezogen)
- 2) Gab es für Sie während des Experimentes Unklarheiten? Wenn ja, welche?
- 3a) Was finden Sie am Experiment positiv?
- 3b) Was finden Sie am Experiment negativ?

Die folgenden Items waren auf einer Skala zu beurteilen, die von 0 ("stimmt überhaupt nicht; bin gar nicht verstanden" über 5 ("weder noch; neutral; weiss nicht; unentschieden") bis 10 ("stimmt 100-prozentig; bin voll einverstanden!") reichte:

- 4a) Das Experiment ist interessant.
- 4b) Das Experiment ist eindrücklich.
- 4c) Die Anlage des Experimentes ist gut verständlich.
- 4d) Der Ablauf des Experimentes ist gut verständlich.
- 4e) Es ist gut verständlich, was das Experiment mit dem tatsächlichen globalen Treibhauseffekt zu tun hat.
- 4f) Dass mit dem Eingiessen des CO₂-Gases der Zeiger zurückging, war irgendwie verblüffend, obwohl es angekündigt war.
- 4g) Das Experiment zeigt überzeugend, dass Wärmestrahlung in CO₂-Gas irgendwie behindert wird, d.h. teilweise aufgehalten wird.
- 4h) Das Experiment macht plausibel, dass die Wärmeabstrahlung der Erdoberfläche weniger leicht ins Weltall entweichen kann, wenn die Atmosphäre von CO₂ erfüllt ist, d.h. dass eine CO₂-erfüllte Atmosphäre für die Erde wie ein "wärmender Pullover" wirkt.

Beispiele:

- a) "Es hat mir imponiert, dass der Zeiger wirklich weniger anzeigte, als das CO₂ in der "Atmosphäre" war." (Exp. I)
- b) "Mich hat die Unsichtbarkeit des CO₂ und sein "Strahlenabhalteeffekt" trotz Unsichtbarkeit beeindruckt." (Exp. I)
- c) "Es ist verblüffend, dass ein Gas für Wärme nahezu undurchlässig ist, während das beim Karton als fester Materie eher vorstellbar ist." (Exp. I)
- d) "Es machte grossen Eindruck auf mich, als ich praktisch mitverfolgen konnte, dass CO₂ dieselbe Wirkung hat wie eine Kartonscheibe." (Exp. II)
- e) "Erstaunlich, wie sich CO₂ auswirkt. Dies wird in den Berichten (Zeitungen) nicht so klar." (Exp. II)
- f) "toll,, sehr eindrücklich, einfacher Versuch mit grosser Wirkung." (Exp. II)
- g) "Überraschend einfaches Experiment,, tolle Wirkung!" (Exp. II)

Bei den spontanen Urteilen auf Frage 1 äusserten sich nur ein Schüler bei Exp. I und drei bei Exp. II nicht in der einen oder anderen erwähnten Weise positiv. Sie bemerkten z.B., das Experiment sei "kurz" und zeige nur die Absorption von Wärmestrahlung; eine der kritischen Äusserungen lautete lapidar: "Alles bekannt - nichts Neues!"

Eine relativ direkte Beurteilung des Lernerfolges auf den beiden hier hauptsächlich interessierenden Dimensionen erlauben die Items 4g (Überzeugung bezüglich der zentralen Tatsache der Absorption) sowie 4e (Übertragbarkeit bzw. Transfer auf die globale Situation). Abbildung 4 zeigt, dass beide Experimente auf der ersten der beiden genannten Dimensionen sehr gut abschneiden, während auf der Transferdimension nur das zweite Experiment sehr hohe Werte erreicht. Der Anstieg bei Item 4e ist signifikant (U-Test; $p = .0000$) und weist darauf hin, dass die angestrebte Verbesserung gelungen ist (es kann allerdings nicht ausgeschlossen werden, dass das um ein Jahr höhere Durchschnittsalter der zweiten Klasse eine Rolle spielt).

Item 4h, das sich ebenfalls auf das Erfassen des "Ortes" der Absorption im Zusammenhang der globalen Erwärmung bezieht und entsprechend mit Item 4e korreliert ($r_s = 0.66$; $p = 0.0005$), fand bei Experiment II ebenfalls ausgeprägte Zustimmung ($M = 9,0$ mit $\sigma = 1,6$). Die Differenz zum Experiment I ($M = 7,6$ mit $\sigma = 3,0$) erreicht hier allerdings nicht statistische Signifikanz.

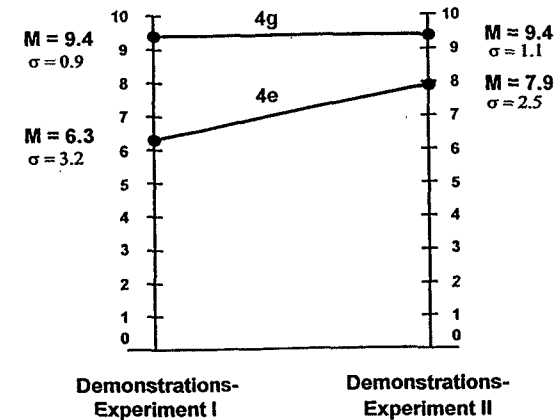


Abbildung 4: Zur empirischen Evaluation des Demonstrationsexperimentes

Die ursprüngliche Version I wurde von 17 Gymnasiasten/innen, und die weiterentwickelte Version II von 23 Gymnasiasten/innen beurteilt. Die Abbildung zeigt den gemittelten Grad der Zustimmung zu Item 4g ("Das Experiment zeigt überzeugend, dass Wärmestrahlung in CO₂-Gas irgendwie behindert wird, d.h. teilweise aufgehalten wird.") und zu Item 4e ("Es ist gut verständlich, was das Experiment mit dem tatsächlichen globalen Treibhauseffekt zu tun hat."), wobei die Antwortskala von 0 (gar nicht einverstanden) bis 10 (sehr einverstanden) reichte. Die zentrale Tatsache, dass Wärmestrahlung durch CO₂ behindert wird, zeigen beide Versionen des Demonstrationsexperimentes sehr überzeugend. Was diese Behinderung mit dem Treibhauseffekt zu tun hat, wurde hingegen nur bei Version II genügend deutlich.

Sehr hohe Werte erreichten beide Experimente auf den Verständlichkeitskalen, und zwar sowohl hinsichtlich Versuchsaufbau (Item 4c: Mittelwert $M = 9,1$ mit $\sigma = 1,2$ bei Exp. I; $M = 8,8$ mit $\sigma = 1,4$ bei Exp. II) als auch hinsichtlich Versuchsablauf (Item 4d: $M = 9,5$ mit $\sigma = 0,6$ bei Exp. I; $M = 9,5$ mit $\sigma = 0,8$ bei Exp. II). Die gute Verständlichkeit hatte sich ja auch bereits bei der offenen Frage 1 als hervorstechendes Merkmal beider Experimente erwiesen. Beide Experimente werden auch insgesamt als ziemlich "interessant" (Item 4a: $M = 7,5$ mit $\sigma = 2,0$ bei Exp. I; $M = 8,0$ mit $\sigma = 1,9$ bei Exp. II) und "eindrücklich" (Item 4b: $M = 6,6$ mit $\sigma = 2,7$ bei Exp. I; $M = 7,5$ mit $\sigma = 2,3$ bei Exp. II) beurteilt. Hingegen hielt sich die "Verblüffung" ob der Behinderung von Wärmestrahlung durch CO₂ (Item 4f) in Grenzen und tendierte bei Experiment II ($M = 4,6$ mit $\sigma = 3,2$) sogar niedriger als bei Experiment I ($M = 6,4$ mit $\sigma = 4,0$), wobei die Differenz nicht statistische Signifikanz erreichte. Die relativ grossen Streuungen hängen damit zusammen, dass es bei beiden Experimenten Häufungen an beiden Enden der "Verblüffungs"-Skala gab, d.h. in beiden Klassen standen sich eine metakognitiv sehr sensible ("tolle Wirkung!") und eine metakognitiv sehr unsensible Fraktion ("Nichts Neues - ich wusste es ja!") gegenüber.

Die mit den Fragen 2 und 3b provozierten Hinweise auf Irritationen bzw. auf Schwachpunkte betrafen in der Mehrzahl die Einseitigkeit der Atmosphäre (1 Erwähnung bei Exp. I, 7 bei Exp. II), einen Punkt, der leider nicht verbessert werden kann (vgl. Abschnitt 4). Die anderen mehrfach auftretenden Kritikpunkte betrafen das mit der "Erd"-Rotation zusammenhängende Schwanken des Zeigers schon vor dem CO₂-Eingiessen in Exp. II, den Bezug des CO₂ aus einer Druckflasche (statt von einem Verbrennungsmotor), den fehlenden Nachweis einer absorptionsbedingten Temperaturzunahme im CO₂ und schliesslich die Beschränkung auf CO₂ als einziges Treibhausgas. (Diesen Kritiken versuchen die Verfasser im Zuge einer weiteren Verbesse-

rung des Experimentes Rechnung zu tragen.) Daneben wurden in den Antworten auf Frage 2 verschiedene Probleme zur Physik des Treibhauseffektes aufgeworfen, die über das Experiment hinausgehen, aber interessante Anknüpfungspunkte für ein auf die Demonstration folgendes Unterrichtsgespräch bieten. Bleibt schliesslich anzumerken, dass die berichtete Evaluation in einer wichtigen Hinsicht unvollständig war: Das interaktive Potential der Experimente wurde nicht untersucht. Es ist zu erwarten, dass das selbsttätige Durchführen, Wiederholen und Erkunden der Experimente durch das "Publikum" die Lernerfahrung in Richtung einer tastenden Vergewisserung, einer im positiven Sinne "zögerlichen Auseinandersetzung" mit eigenen Händen (RUMPF, 1988, S.173-174) vertiefen kann.

Literatur:

- Aebli, H. (1983). *Zwölf Grundformen des Lehrens*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Aeschbacher, U. (1992). Meinungen, Wissen und Verstehen von Lehrerstudentinnen und -studenten in Sachen "Treibhauseffekt". *Bildungsforschung und Bildungspraxis*, 14 (2), 149-161.
- Aeschbacher, U. (1996). *Denk- und Gedächtnisschwierigkeiten bezüglich des Treibhauseffektes*. Forschungsbericht Nr.65 des Institutes für Psychologie, Universität Basel.
- Aeschbacher, U. & Stöcklin, M. (1995). *Problemwahrnehmung und Angstabwehr bezüglich Ozonloch und Treibhauseffekt*. Forschungsbericht Nr.64 des Institutes für Psychologie, Universität Basel.
- Bachofen, R. & Frischknecht, K. (1995). Nachweis der Wärmeabsorption von Gasen als Ursache für den Treibhauseffekt. Anregungen von John Tyndall (1860) zur Behandlung des Treibhauseffektes auf der Gymnasialstufe. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 48, 350ff.
- Bartsch, J., Effertz, F.H. & Lukner, C. (1994). Absorption und Transmission atmosphärischer Gase. Eine Versuchssequenz zum Treibhauseffekt. *PdN-Ph*, 43, 23-26.
- Bower, G.H. & Hilgard, E.R. (1983). *Theorien des Lernens, Bd.1*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- BUWAL (Hrsg.). (1994). *Die globale Erwärmung und die Schweiz: Grundlagen einer nationalen Strategie*. Bern: EDMZ.
- Diekmann, A. & Franzen, A. (1995). *Ergebnisse aus dem Schweizer Umweltsurvey*. Institut für Soziologie, Universität Bern.
- Forneck, H.-J. (1982). *Alltagsbewusstsein und Erwachsenenbildung*. Frankfurt: Campus.
- Gardner, H. (1993). *Der ungeschulte Kopf*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Gassmann, F. (1994). *Was ist los mit dem Treibhaus Erde*. Zürich: vdf.
- Heise, H. (1984). Das CO₂-Problem und der "Glashauseffekt" aus physikalischer Sicht. *MNU*, 37, 347-354.
- Heimann, P. (1965). Didaktik 1965. In P. Heimann, G. Otto & W. Schulz (Hrsg), *Unterricht - Analyse und Planung*. Hannover.
- Huber, E. & Aeschbacher, U. (1995). Die Problematik von Demonstrationsexperimenten zum Treibhauseffekt: Analyse und Lösungen. *MNU*, 48/7, 415-421.
- Joerger, K. (1980). *Lernanreize*. Königstein: Scriptor.
- Landwehr, N. (1994). *Neue Wege der Wissensvermittlung*. Aarau: Sauerländer.
- Maloney, D.P. & Siegler, R.S. (1993). Conceptual competition in physics learning. *International Journal of Science Education*, 15 (3) 283-295.
- Michotte, A. (1946). *La perception de la causalité*. Paris: Vrin.
- Parchmann, I., Kaminski, B. & Jansen, W. (1995). Die Wärmeabsorption von Gasen - Voraussetzung für den Treibhauseffekt. *ChemKon*, 2, 17-25.
- Piaget, J. (1992). *Psychologie der Intelligenz*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Preuss, S. (1991). *Umweltkatastrophe Mensch*. Heidelberg: Asanger.
- Rumpf, H. (1988). *Die übergangene Sinnlichkeit*. Weinheim: Juventa.
- Szekely, L. (1950). Knowledge and Thinking. *Acta Psychologica*, VII, 1-24.
- Wagenschein, M. (1968). *Verstehen lehren*. Weinheim: Beltz.