

Veröffentlichung
von
Dr. rer. nat. Christian Wittlich

Den Klimawandel begreifbar machen!

Eine Unterrichtsreihe zu verschiedenen klimawirksamen Treibhausgasen mit experimentellem Schwerpunkt in einem Leistungskurs der Jahrgangsstufe 12.



Ein interdisziplinärer Zugang zur Chemie der Atmosphäre

Diese Ausarbeitung wurde im Januar 2011 dem Studienseminar Speyer als 2. Staatsexamensarbeit vorgelegt. Heute soll sie als Handreichung für Lehrkräfte der Geographie, Chemie, Physik und Biologie dienlich sein, um Schülerinnen und Schülern den Klimawandel in einigen Facetten begreifbar(er) zu machen.

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG	1
2. FACHWISSENSCHAFTLICHE ANALYSE	2
3. ANALYSE DER UNTERRICHTSVORAUSSETZUNGEN	6
3.1. BEMERKUNGEN ZUM KURS	6
3.1.1. <i>Eigene Tätigkeit</i>	6
3.1.2. <i>Bild der Lerngruppe</i>	6
3.1.3. <i>Stand des Kurses</i>	7
3.2. ORGANISATORISCHE VORAUSSETZUNGEN	8
4. PLANUNG DER UNTERRICHTSREIHE	10
4.1. BEDEUTUNG DES THEMAS	10
4.2. EINORDNUNG IN DEN LEHRPLAN UND DIE BILDUNGSSTANDARDS	11
4.3. BEGRÜNDUNG DER DIDAKTISCHEN ENTSCHEIDUNGEN	14
4.3.1. <i>Auswahl der Unterrichtsinhalte und Ziele der Unterrichtsreihe</i>	14
4.3.2. <i>Auswahl der Treibhausgase</i>	23
4.4. BEGRÜNDUNG DER METHODISCHEN ENTSCHEIDUNGEN	24
4.4.1. <i>Umgesetzte Methodenkonzepte</i>	24
4.4.2. <i>Auswahl der Medien</i>	28
4.4.3. <i>Auswahl der Sozialformen</i>	30
4.5. AUSWAHL DER EXPERIMENTE & UMSETZUNG DES EXPERIMENTELLEN SCHWERPUNKTS	30
4.6. LERNZIELE DER UNTERRICHTSREIHE	39
5. LERNZIELE UND GEPLANTER VERLAUF DER UNTERRICHTSSTUNDEN	42
6. DURCHFÜHRUNG UND KURZREFLEXION DER UNTERRICHTSSTUNDEN	48
6.1. ERSTE STUNDE: ATMOSPHÄRENAUFBAU UND CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG	48
6.2. ZWEITE & DRITTE STUNDE: STATIONENARBEIT ZUM NATÜRLICHEN TREIBHAUSEFFEKT	49
6.3. VIERTE STUNDE: WECHSELWIRKUNG ATMOSPHÄRE/HYDROSPHÄRE	53
6.3.1. <i>Lernziele</i>	53
6.3.2. <i>Didaktische und methodische Analyse der Stunde</i>	54
6.3.3. <i>Geplanter Verlauf</i>	57
6.3.4. <i>Durchführung und Kurzreflexion</i>	58
6.4. VORBEREITUNG AUF MAX PLANCK INSTITUT (MPI)	59
6.5. EXKURSION ZUM MPI FÜR CHEMIE (ABTEILUNG ATMOSPHÄREN-CHEMIE)	60
6.6. FÜNFTE STUNDE: ANTHROPOGENER TREIBHAUSEFFEKT	61

6.7. SECHSTE & SIEBTE STUNDE: TROPOSPHÄRISCHES & STRATOSPHÄRISCHES OZON	63
6.8. ABSCHLUSSBESPRECHUNG UND AUSBLICK	63
7. GESAMTREFLEXION	65
7.1. EVALUATION DER SCHÜLERLEISTUNGEN	65
7.1.1. Klausuraufgaben	65
7.1.2. Epochalnoten	65
7.1.3. Wissensfragen aus der Online-Befragung	66
7.2. REFLEXION DER GEHALTENEN UNTERRICHTSREIHE	67
8. LITERATURVERZEICHNIS	73
9. ANHANG	82
9.1. UNTERRICHTSMATERIAL	83
9.1.1. Erste Stunde: Atmosphärenaufbau & chemische Zusammensetzung	83
9.1.2. Zweite & Dritte Stunde: Stationenarbeit zum natürlichen Treibhauseffekt	91
9.1.3. Vierte Stunde: Wechselwirkung Atmosphäre/Hydrosphäre	113
9.1.4. Vorbereitung auf Max Planck Institut (MPI)	114
9.1.5. Exkursion zum MPI	119
9.1.6. Fünfte Stunde: Anthropogener Treibhauseffekt	132
9.1.7. Sechste & Siebte Stunde: Ozon	138
9.2. KLAUSUREN	146
9.3. ERGEBNISSE DER ONLINEBEFRAGUNG	154

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

CD-ANHANG

„Alles in allem bin ich durchaus geneigt, die Welt so zu mögen, wie ich sie vorfinde, und meinem eigenen Urteil darüber zu misstrauen, wie ich sie verbessern könnte. Ich erkenne so viel Weisheit in dem, was ich über ihre Schöpfung und Führung weiß, dass ich befürchte, dass in dem, was ich nicht weiß ebenso viel Weisheit liegt.“

Benjamin Franklin

1. Einleitung

Begriffe wie „saurer Regen“, „Waldsterben“, „Sommerozonsmog“, „Treibhauseffekt“ und „Ozonloch“ waren in den neunziger Jahren allgegenwärtig¹. Heute ist es die „Klimaerwärmung“ und ein damit einhergehender „Klimawandel“, der die öffentliche und politische Debatte bestimmt und Umweltschutz hauptsächlich auf Klimaschutz reduziert. Die Omnipräsenz des Themas in den öffentlichen Medien ist dabei von zweierlei Qualität zu betrachten: Positiv lässt sich vermerken, dass wissenschaftlich komplexe Inhalte mehr oder weniger gut aufbereitet in die Öffentlichkeit getragen und diskutiert werden. Oft werden dabei jedoch Einzelphänomene, wie zum Beispiel ein prognostizierter Untergang der Malediven, durch einen erwärmungsbedingten Anstieg des Meeresspiegels, in einer Art und Weise dargestellt, die nicht nur beängstigend sondern wissenschaftlich unkorrekt ist. Im Rahmen verschiedener Gespräche mit Schülern, Kollegen, Freunden und Verwandten über das komplexe und interdisziplinär arbeitende Feld der „Atmosphärenchemie“ ließ sich dementsprechend eine sehr unterschiedliche Tiefe des Wissens und Denkens feststellen. Dabei ist es oft erschreckend zu bemerken, dass häufig diejenigen mit dem lückenhaftesten Wissen über kausale atmosphärische Zusammenhänge und vor allem deren Auswirkungen auf die Biosphäre, zu unlogischen Rückschlüssen kommen und dabei äußerst selbstsicher an ihrer Meinung über eine global gemessene Erderwärmung, oder besser deren Nichtstattfinden, festhalten. Nachvollziehbar wird diese Meinungsvielfalt, trotz messbarer und sichtbarer Klimaveränderungen, vor allem durch die Komplexität des Themas sowie wissenschaftliche Gegenpositionen sogenannter „Klimakritiker“. Als Erdkunde- und Chemielehrer sah ich im Vorfeld der hier vorliegenden Unterrichtsreihe ein großes Potential, fächerübergreifend die Chemie der Atmosphäre anhand ausgesuchter Treibhausgase zu thematisieren. Der spiralcurricular angelegte Lehrplan für Erdkunde positioniert dabei Themen wie „Treibhauseffekt“, „Nachhaltigkeit“, oder „Ozon“ bereits für die Mittelstufe, was auf ein gewisses Grundwissen bei den Schülerinnen hoffen ließ. Im Unterricht selbst werden dann häufig Fehlvorstellungen sichtbar, sodass manche Schüler bis in die Jahrgangsstufe 13 das stratosphärische Ozonloch für die Erderwärmung verantwortlich machen². Die vorliegende Unterrichtsreihe versucht gerade solche Fehlvorstellungen bewusst zu machen. Des Weiteren sollen die Schülerinnen über einen lebenswelt-

¹ Crutzen, P.J. & Graedel, T.E. (1994).

² Siehe eigene Schülerbefragung (Anhang, S.155) und Reinfried, S., Schuler, S., Aeschbacher, U., Huber, E. (2008), 24-33. & Niebert, K. (2009).

lichen und stark experimentellen Zugang zum Thema motiviert werden. Dabei möchte ich versuchen den Schülerinnen auch meine persönliche Faszination über eine brisante, globale und hochaktuelle Thematik näher zu bringen.

2. Fachwissenschaftliche Analyse

Die Temperatur der Erdoberfläche wird überwiegend durch die Intensität der einfallenden Sonnenstrahlung bestimmt. Dabei wird der größte Teil der einfallenden Strahlung auf der Erde in Wärme umgewandelt und als terrestrische Strahlung (Infrarotstrahlung) von der Erde abgegeben. Ungefähr ein Drittel der einfallenden Strahlung wird dabei in Form von sichtbarem Licht ($\lambda \sim 400\text{-}800\text{nm}$) in das Weltall zurückgestrahlt. Diesen Anteil zwischen einfallendem und reflektiertem Licht nennt man auch „Albedo der Erde“³. Mathematisch lässt sich dieses Verhältnis über die Strahlungsgleichgewichtstemperatur der Erde formulieren, die -18°C beträgt. Die tatsächliche mittlere Temperatur der Erdoberfläche beträgt aber 15°C . Die Differenz von 33°C nennt man auch den natürlichen Treibhauseffekt⁴. Er wird durch das Vorhandensein der Atmosphäre und den darin befindlichen klimawirksamen Treibhausgasen verursacht. Die Atmosphäre selbst ist einige hundert Kilometer dick und besteht aus mehreren Sphären. Für das Klima der Erde ist vor allem die Troposphäre (0-10km) relevant. Sie enthält 80% der Gase und fast den gesamten Wasserdampf der Atmosphäre⁵.

Die von der Erdoberfläche zurückgestrahlte Infrarotstrahlung wechselwirkt dabei mit den Treibhausgasen, indem der größte Teil dieser Wärmestrahlung von Wasserdampf (62,4% Anteil am natürlichen Treibhauseffekt), Kohlendioxid (21,8%), troposphärischem Ozon (7,3%), Distickstoffoxid (4,3%) und Methan (2,4%) absorbiert, als Wärmeenergie in der Atmosphäre gespeichert und von dort zu gewissen Anteilen an die Erdoberfläche in Form der ‚atmosphärischen Gegenstrahlung‘ zurückgestrahlt wird. So kommt es zu einem Wärmestau und durch diesen zu einer messbaren Erhöhung der mittleren Temperatur der Erdoberfläche. Der Anteil der Spurengase am Treibhauseffekt hängt dabei nicht nur von ihrer Konzentration ab, sondern auch von ihrer spezifischen Fähigkeit Infrarotstrahlung zu absorbieren. So dient ein definierter Relativwert des ‚relativen Treibhauspotentials‘ dazu, eine Aussage darüber zu treffen, wie treibhauswirksam ein Spurengas über einen bestimmten Zeitraum im Vergleich zur selben Masse an Kohlendioxid ist. Besitzt zum Beispiel

³ Strahler, A. & Strahler, A. N. (2009⁴), S. 82.

⁴ Riedel, E. (2002⁵), S. 630.

⁵ Crutzen, P. J. & Graedel, T. E. (1994), S. 49ff.

Kohlendioxid ein relatives Treibhauspotential von 1, wurde für Methan ein relatives Treibhauspotential von 23 und für CFKW-11 von 4600 bestimmt, sodass letztere von ihrem Potential klimawirksame Auswirkungen zu verursachen weitaus bedenklicher als Kohlendioxid sind. Allerdings kommen sie in viel geringeren Konzentrationen bei gleichzeitig geringeren Verweilzeiten vor⁶.

Neben der Strahlungsintensität der Sonne hat also vor allem die Zusammensetzung der Erdatmosphäre einen wesentlichen Einfluss auf das Klima. „Seit mehreren hunderttausend Jahren ist die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre weitgehend konstant geblieben, nur die Konzentration von CO₂ schwankte zwischen 200 und 300ppm“⁷. Mit dem Beginn der industriellen Revolution kam es zu einem vorher nicht gekannten Anstieg klimarelevanter Spurengase, allen voran Kohlendioxid (367ppm)⁸. Die Hauptursachen dieses Anstieges sind die Verbrennung fossiler Brennstoffe bei gleichzeitig verstärktem Abholzen der Regenwälder. Auch die Konzentration des Treibhausgases Methan hat enorm zugenommen. Die Fachliteratur spricht hier von einem „linearen Zusammenhang“ zwischen der Zunahme der Methankonzentration in der Atmosphäre und dem Wachstum der Weltbevölkerung. Dabei gilt das nachfragegesteuerte Wachstum des Viehbestands⁹ und der Reisanbau als Hauptquellen dieser Zunahme.

Da dieses ‚Mehr‘ an Spurengasen menschenverursacht ist, wird auch von einem zusätzlichen anthropogenen Treibhauseffekt gesprochen¹⁰. Dabei sind sich die meisten Wissenschaftler einig, dass die Zunahme der Spurengase, die ohne Gegenmaßnahmen zu erwarten ist, zu einem anthropogenen Treibhauseffekt führt, der eine globale Klimaänderung zur Folge hat¹¹. Wie genau sich diese Klimaänderung zeigen wird, ist trotz verschiedenen Szenarios¹² unsicher. Das liegt zum einen an der Tatsache, dass nicht nur die Konzentration der Treibhausgase entscheidend ist, sondern auch eine systemische und komplexe Betrachtung aller möglichen Rückkoppelungen zwischen verschiedenen Geosphären in Betracht gezogen werden muss, die wiederum selbst positiv (treibhausverstärkend) oder negativ (treibhausmindernd) sein können¹³.

⁶ Bundesministerium für Bildung und Forschung (2005), S. 18.

⁷ Riedel, E. (2002⁵), S. 631; [ppm (parts per million); $\mu\text{mol} / \text{mol} = 10^{-6}$; 1 Molekül unter 1.000.000]

⁸ Schumann, U. (2008), S.143ff.

⁹ Bethge, P. (2001).

¹⁰ Crutzen, P.J. & Graedel, T.E. (1995), S. 412f. & Crutzen, P.J. & Graedel, T.E. (1994). & Riedel, E. (2002⁵). & Schumann, U. (2008).

¹¹ Riedel, E. (2002⁵), S.634.

¹² IPCC (2007).

¹³ Riedel, E. (2002⁵), S.634.

„Die klimatischen Veränderungen im letzten Jahrhundert, besonders in den letzten 30-35 Jahren sind bereits Signale für die Wirkung anthropogener Spurengase. Beispiele dafür sind: Die Erhöhung der globalen mittleren Oberflächentemperatur um 0,6K. Auf der Nordhalbkugel war das 20. Jahrhundert das wärmste der letzten 1000 Jahre. Das Jahrzehnt 1990-2000 war die wärmste Dekade des Jahrhunderts, die beiden wärmsten Jahre seit Beginn der Klimaaufzeichnungen (1861) waren 1998 und 2005.“¹⁴ Seit Januar 2011 steht fest, dass das Jahr 2010 Rekordführer der Erderwärmung ist, was prognostizierte Trends bestätigt¹⁵. „Nach gegenwärtiger Erkenntnis ist bei weiterer ungebremster Emission von Treibhausgasen gegen Ende des 21. Jahrhunderts eine Temperaturerhöhung von 1,5-6K wahrscheinlich.“¹⁶

In der Fachwelt gilt die Beweislast für die anthropogene Erwärmung nach Jahrzehnten der Diskussion und Forschung inzwischen als ausreichend. Trotzdem gibt es Stimmen, die einen anthropogenen Klimawandel für unwahrscheinlich halten und über Gegenthesen einen wissenschaftlichen Diskurs gestalten.¹⁷ Hug bezieht sich dabei vor allem auf Ungenauigkeiten, Datenlücken und Unsicherheiten von computerbasierten Klimamodellen. In diesem Kontext verweist er auch darauf, dass „[d]er prognostizierte Anstieg des Niveaus der Ozeane und die prognostizierte Zunahme der Globaltemperatur [...] im Lauf der letzten zwei Jahrzehnte ständig nach unten korrigiert wurde“¹⁸. Zusätzlich verweist er auch auf den IPCC-Klimatologen Hansen, der in einer Veröffentlichung schrieb „The forcings that drive long-term climate change are not known with an accuracy sufficient to define future climate change“¹⁹. Die Genauigkeit von Klimaaussagen ist vor allem in Bereichen der Paläoklimatologie schwierig. Mithilfe von Eisbohrkernen, Baumringen oder Sedimenten kann das Klima teils auf Jahrhunderte vor einer standardisierten Klimamessung rekonstruiert werden. Gerade dabei wird mit sogenannten Proxy-Daten gearbeitet (lat. proximus = sehr nahe), die eine tatsächliche Temperaturkurve möglichst realitätsnah rekonstruieren sollen. Dabei kommt es immer wieder zu Ungenauigkeiten und einem erheblichen Unsicherheitsbereich²⁰. Populäre Einwände von Klimakritikern sind daneben häufig Argumente wie „Die Erwärmung des letzten Jahrhunderts ist eine Folge des Einflusses der Sonne, nicht der Treibhausgase“ oder „Neuere Datenauswertungen weisen darauf hin, dass die Temperatur in den Vereinigten Staaten im

¹⁴ Riedel, E. (2002⁵), S.635. & Feichter, J., Schurath, U. & Zellner, R. (2007)

¹⁵ NOAA (2011).

¹⁶ Riedel, E. (2002⁵), S.635.

¹⁷ Hug, H. (2000). & Raschke, E. & Stuhlmann, R. (2001). & Crutzen, P.J. & Graedel, T. E. (1995).

¹⁸ Hug, H. (2000), S. 14.

¹⁹ Hug, H. (2000), S. 13.

²⁰ Die Daten sind ‚verrauscht‘, wie die Statistiker sagen. Vgl. Hoffmann, T. & Korby, W. (2009), S.7.

letzten Jahrhundert nicht zunahm.“²¹ Das erste Argument basiert auf der Idee einer denkbaren Schwankung zwischen der Sonnenfleckenzahl (einem indirekten Hinweis auf die Sonnenstrahlung) und der globalen Temperatur. Satellitenmessungen haben aber seit den 80er Jahren festgestellt, „[d]ass eine durch Variation der Sonnenstrahlung verursachte, langfristige Temperaturänderung den beobachteten Anstieg [der Temperatur] nicht erklären kann“²². Zu dem nicht gemessenen Temperaturanstieg in den USA ist zu sagen, dass die Daten der globalen Erwärmung auf dem planetarischen Mittelwert und nicht auf fünf Prozent der Erdoberfläche beruhen. „Dieser Mittelwert zeigt für unser Jahrhundert einen deutlichen Temperaturanstieg von etwa 0,6°C [...]“²³. Crutzen weist daraufhin, dass Vertreter solcher Argumente früher auch Aussagen wie „Die Existenz des Ozonloches ist reine Spekulation“ oder „FCKW-Moleküle sind schwerer als Luft und können so die obere Atmosphäre nie erreichen“ hervorbrachten, die bereits in den frühen Neunzigern falsifiziert wurden und in Anbetracht neuester Forschungsergebnisse umso absurder erscheinen²⁴.

Unabhängig von einer endgültigen Antwort auf die Hauptursache der gemessenen Klimaerwärmung zeigt aber die gemessene anthropogene Zunahme von Treibhausgasen, dass wir mit unserem Planeten ein gewaltiges Experiment vornehmen, dessen Ausgang unsicher und offen scheint²⁵. Nicht zuletzt ist durch ein dauerhaftes Verändern der Temperaturen auch eine langfristige Veränderung der Meereszirkulation möglich und ein Versiegen des warmen Golfstroms mit eiszeitlichen Konsequenzen für Europa denkbar. Der beobachtete Wandel des Klimas, gleich welchen Ursprungs, ist natürlich auch vor dem Hintergrund einer schnell wachsenden Weltbevölkerung zu sehen und muss mit der Einsicht verbunden sein, dass vor allem arme Menschen in den Entwicklungsländern für Klimaänderungen am verletzlichsten sind. Im Dritten Sachstandsbericht der IPCC hatten die Wissenschaftler erstmals mit Wahrscheinlichkeiten argumentiert. Die Zusammenhänge zwischen anthropogenen Emissionen, dem Anstieg der Treibhausgaskonzentrationen und der globalen Erwärmung werden vom IPCC nunmehr durchgängig als „sehr wahrscheinlich“ oder sogar „extrem wahrscheinlich“ bezeichnet. Das heißt, dass diese Wissenschaftler sich zu mehr als 90 oder 95 Prozent in puncto Erderwärmung sicher sind.²⁶ Angesichts solcher Aussagen besteht weder Grund zur

²¹ Crutzen, P.J. & Graedel, T. E. (1995), S.190.

²² ebd.

²³ ebd.

²⁴ Dameris, M. (2010¹) & Dameris, M. (2010²)

²⁵ Raschke, E. & Stuhlmann, R. (2001).

²⁶ Kohl, H. (2008), S. 177.

Lethargie noch zur übertriebenen Panik. Jedoch sollte man sich bei allen wissenschaftlichen Unsicherheiten und restlichen Zweifeln an einer vom Menschen verursachten Erderwärmung bewusst sein, dass die Zivilisation, aus geologischer Sicht, unter der Maßgabe: „Änderungen vorbehalten!“ existiert²⁷.

3. Analyse der Unterrichtsvoraussetzungen

3.1. Bemerkungen zum Kurs

3.1.1. Eigene Tätigkeit

Die Schülerinnen des Chemie Leistungskurses 12 von Frau Langhauser sind mir aus einer zweiwöchigen Hospitationsphase in meinem zweiten Ausbildungshalbjahr bekannt. Innerhalb dieser konnte ich mir, gerade in einer solch kleinen Lerngruppe, schnell ein gutes Bild über eingeübte Arbeitstechniken, die Qualität von Schüleräußerungen und das Leistungsniveau des Kurses machen. Im Vorfeld zur Unterrichtsreihe wurde vor den Herbstferien eine Online-Befragung bei den Schülerinnen durchgeführt, die für meine planerischen Entscheidungen relevant waren.

3.1.2. Bild der Lerngruppe

Der Leistungskurs 12 besteht aus nur sieben Schülerinnen zwischen 17 und 18 Jahren. Insgesamt schätze ich den Kurs als leistungsstark und motiviert ein. Das hat sich vor allem im Rahmen meiner Hospitationsphase und durch Gespräche mit der Fachlehrerin bestätigt.

Punkteverteilung-HÜ							∅
MSS Punkte	13	11	9	8	6	4	8,4P
Anzahl	1	1	1	2	1	1	

Punkteverteilung-Kursarbeit					∅
MSS Punkte	12	11	9	6	10P
Anzahl	1	3	1	1	

Auf der Grundlage von Leistungsnachweisen (Test und Kursarbeit) ergibt sich ein differenzierteres Bild. Dabei wird deutlich, dass gute bis sehr gute Schülerinnen im Schriftlichen klar von schwächeren Schülerinnen im ausreichenden Notenbereich zu unterscheiden sind sowie ein größerer Teil des Kurses im befriedigenden Bereich auszumachen ist. Die mündlichen Leistungen (∅ 11,4P) liegen mit sechs Punktzahlen im zweistelligen Bereich über den schriftlichen Leistungen, was auch auf-

²⁷ Will Durant, in: Crutzen, P.J. & Graedel, T.E. (1994), S. 1.

grund einer qualitativ hochwertigen mündlichen Beteiligung am Unterricht gerechtfertigt ist. Gerade diese eifrige Mitarbeit, aber auch das gute Sozialverhalten des Kurses, haben es mir leicht gemacht, über Fachinhalte von der Lerngruppe respektvoll und freundlich aufgenommen zu werden. Dabei ist ein sehr angenehmes Arbeitsklima hervorzuheben, welches ein Kriterium für erfolgreichen Unterricht darstellt sowie ein Lernklima schafft, in dem mir das Unterrichten in diesem Kurs sehr viel Spaß macht²⁸.

3.1.3. Stand des Kurses

Der Kurs wurde bislang von zwei Lehrkräften (Wechsel nach MSS 11) unterrichtet. Der Arbeitsplan des Edith Stein Gymnasiums (ESG) sieht dabei vor, die Integrationsphase auszusparen. Dies begründet sich darin, dass in der Mittelstufe die Organische Chemie meist nicht erreicht wird. Im Rahmen der Jahrgangsstufe 11 wurden folgende Bausteine in chronologischer Reihenfolge behandelt: Säuren und Basen I (109), Säuren und Basen II – Anwendungen (110), Chemisches Gleichgewicht und Massenwirkungsgesetz (76), Energetik I/ Enthalpien (80). Seit Beginn des Schuljahres 2010/2011 wurden die Pflichtbausteine Redoxchemie I - Grundlagen (106) und Redoxchemie II – Elektrochemische Reaktionen/ Redoxgleichgewicht (107) behandelt. An dieser Stelle wird eine Herausforderung für die vorliegende Unterrichtsreihe deutlich: Neben den bereits behandelten Inhalten, geht es bei einer Betrachtung von Treibhausgasen wie Kohlendioxid, Methan oder Ozon, vor allem auch bei der Betrachtung von Reaktionsmechanismen innerhalb der Ozonchemie, um Themen der organischen Chemie. Da in dieser Teildisziplin der Chemie bislang aber nahezu keine Kenntnisse vermittelt wurden, müssen viele der Themen exkursartig miteinander verknüpft werden. Neben dem *einleitenden Charakter* dieser Unterrichtsreihe ist sie zugleich *weiterführend*, werden auch bereits behandelte Themengebiete (Chemisches Gleichgewicht, Säure-Base-Reaktionen) zum Tragen kommen.

Das Unterrichtsgespräch ist gerade bei kontroversen Themen eine vielmals eingeübte Sozialform, die meist zu guten, von den Schülerinnen erbrachten Ergebnissen führt. Andere Sozialformen, wie Gruppenarbeiten, werden von den Schülerinnen in eigener Aufteilung schnell und sehr zielstrebig durchgeführt. Bei der Zusammenstellung der Gruppen legen die Schülerinnen darauf Wert, in den Tischgruppen zusammenbleiben zu dürfen. Da dies immer zu guten Ergebnissen führte,

²⁸ Meyer, H. (2010), S.47ff.

werde ich dieses ‚Ritual‘ nicht verändern. Methodisch sind die Schülerinnen in vielerlei Hinsicht geschult, was sich im sicheren Umgang mit Geräten und Chemikalien, im Planen von Versuchsaufbauten, im selbstständigen Recherchieren und im selbstbewussten und fachlich angemessenen Präsentieren von Inhalten zeigt und leistungskursgerecht ist. An einigen Stellen muss auf mehr fachliche Präzision und eine stärker fachterminologische Ausdrucksweise, ganz im Sinne der Wissenschaftspropädeutik, hingewiesen werden. Einige Wochen vor Beginn der Reihe setzte die Fachlehrerin eine Stationenarbeit zum Thema „Korrosion“ um, die Berichten zufolge besonders gut wahrgenommen wurde. Gerade von diesem Erfahrungsbericht habe ich mich für diese Unterrichtsreihe inspirieren lassen.

3.2. Organisatorische Voraussetzungen

Damit die vorliegende Unterrichtsreihe in der im Folgenden beschriebenen Form durchgeführt werden konnte, mussten im Vorfeld folgende Vorbereitungen getroffen werden:

Außerschulisch:

- ✓ Organisation von Materialien für die Stationenarbeit (Messinstrumente²⁹, Spritzensets, verschiedenfarbige Kupfer- und Aluminiumbleche, Treibhausmodell, Wärmebildkamera) bei Conrad-Electronic, Uni-Klinik Mainz, ehemaligen Arbeitgebern im Eloxal-Werk Becker-Menzenbach und Metallbau Wittlich, Schulbiologiezentrum, Indukran und Handwerkskammer Koblenz.
- ✓ Bestellung der kostenlosen VCI-Broschüre „Chemieprodukte schützen das Klima“ und der VCI/Bild der Wissenschaft Sonderpublikation „Ran ans CO₂-Problem“³⁰.
- ✓ Koordination eines ganztägigen Aufenthalts und Erarbeitung eines an die Unterrichtsinhalte angepassten Programms zur Durchführung am Max Planck Institut für Chemie (MPI, Abteilung Atmosphärenchemie) an der Johannes Gutenberg - Universität in Mainz.

²⁹ IR-Messgerät, zwei Oberflächenthermometer, Stoppuhr.

³⁰ Auf freundlichen Hinweis von Frau Heike Nickel, Regionale Fachberaterin Chemie/Pfalz.

Innerschulisch:

- ✓ Fachliche und lerngruppenspezifische Absprachen mit der betreuenden Fachlehrerin.
- ✓ Weitergabe der E-Mail Adressen durch die Fachlehrerin im Einvernehmen mit den Schülerinnen.
- ✓ Erfassung der Schülerinnen mit PKW-Führerschein.
- ✓ Erstellung eines Online-Fragebogens und Weitergabe des Links an die Schülerinnen vor Beginn der Unterrichtsreihe.
- ✓ Die Freitagsstunde des Leistungskurses überschneidet sich zeitlich mit meinem eigenverantwortlichen Erdkundeunterricht in der 8a. Die Vertretung der Freitagsstunde (8.⁰⁰-8.⁴⁵Uhr) soll demnach für zwei Wochen geklärt sein und Absprachen der Inhalte/Arbeitsaufträge für diese Stunden verbindlich werden.
- ✓ Nachholen der Stunde, die aufgrund des Feiertags (Allerheiligen) ausfällt. Bedarf der Absprache mit den Mathelehrern („Ausleihen einer Stunde“ am 2.11.).
- ✓ Die Stationenarbeit (planmäßig 90 Minuten) könnte etwas länger dauern als erwartet, weshalb zeitlich ein wenig Flexibilität von den Schülerinnen eingefordert wird.
- ✓ Für die Stationenarbeit wird aus Platzgründen ein Wechsel von Raum 310 (Stufensaal) in Raum 306 vorgenommen, der einer Absprache bedarf.
- ✓ Koordination eines außerschulischen Aufenthalts unter Berücksichtigung von Stundenvertretungen für die begleitenden Lehrkräfte und von Kursarbeits-/Schulterminen → Absprache mit dem Schulleiter.
- ✓ Verfassen eines Elternbriefes, der informiert, zugleich aber auch als Einverständniserklärung dient.
- ✓ Koordination der Fahrt nach Mainz: Erfassung der Anzahl an Maxx-Tickets, Erwerb der Fahrkarten.

Für die Planung der Unterrichtsreihe ergeben sich folgende Termine und Raumbelegungen:

Datum	27.10.	27.10.	29.10.	02.11.	03.11.	05.11.	10.11.
Stunde	1. Std.	2. & 3. Std.*	4. Std.	**		5. Std.	6. Std.
(Raum)	310	306	306	210	MPI Mainz	310	306

*Stationenarbeit

** Organisatorische & inhaltliche Vorbereitungen auf MPI

Die Montagsstunde (8.11.2010) ist wegen Kursarbeiten ausgefallen.

4. Planung der Unterrichtsreihe

4.1. Bedeutung des Themas

Umweltthemen, vor allem solche mit globaler Dimension, sind bei den Schülern beliebt und erfreuen sich eines hohen Schülerinteresses, was nicht nur durch fachdidaktische Literatur³¹, sondern auch durch die Umfrage vor Beginn der Reihe

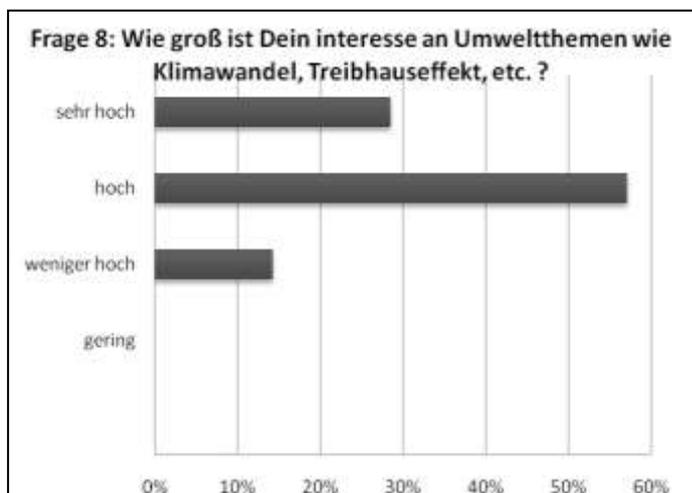


Abbildung 1: Auswertung von Frage 8.

von den Schülerinnen bestätigt wurde (Abbildung 1). Die Erderwärmung und der damit einhergehende Klimawandel sind dabei mehr als zwei einzeln zu betrachtende Themen. Auf den Punkt gebracht sind sie:

fachlich überaus komplex, interdisziplinär erforscht, mit allen journalistischen Stilmitteln in die

öffentliche Debatte eingebracht und auf UN-Ebene auch politisch zu einem der zentralen Themen des 21. Jahrhunderts avanciert: ‚Nachhaltigkeit‘, als Gegenentwurf zu bisherigen Lebensstilen?

Dabei dominiert gerade dieser Begriff die Klimadiskussion seit seinem größten öffentlichen Auftritt auf dem Erdgipfel in Rio de Janeiro im Jahre 1992. Erschreckend die Tatsache, dass der Begriff mittlerweile oft sinnentfremdet³² und inflationär gebraucht wird.³³ Allen voran sind es Werbeanzeigen die über *Spiegel* und *Stern* millionenfach an die Leser herangetragen werden und mit nachhaltigeren und sparsameren Motoren den neuen VW Golf anpreisen und mit folgendem Slogan bewerben: „Ändern Sie nicht Ihren Fahrstil, ändern Sie Ihr Auto!“ In wie weit sind solche Aussagen überhaupt vertretbar? Müssen wir nicht den Klimawandel als eine moralische Herausforderung begreifen, vor allem vor dem Hintergrund, dass kommende Generationen und Menschen in Entwicklungsländern die Hauptbetroffenen sind oder sein werden?³⁴ Gerade die Themen „Autofahren“ und „Führerschein“ sind im Alltag der sieben Schülerinnen gerade hochaktuell. Drei von ihnen besitzen bereits einen Frühführerschein, weitere drei den normalen PKW-

³¹ Schuler, S. (2005); Hemmer, I. & Hemmer, M. (2002).

³² „Alpecin mit Coffein stärkt nachhaltig ihre Haarwurzeln“ oder wie der britische Ölkonzern BP während des Unfalls im Golf von Mexico verlauten ließ „Nachhaltigkeit heißt Wahrung des Vertrauens und der Unterstützung der Menschen, die in der Nähe von BP Standorten leben“. Spiegel (2010).

³³ Grober, U. (2010).

³⁴ Ameri-Siemens, A. (2008), 24-29.

Führerschein und eine Schülerin wird die Führerscheinprüfung in den zwei Wochen, in denen die Unterrichtsreihe durchgeführt wird, ablegen. Ein guter Grund um sich mit dem Thema „Autofahrstil“ auch im Rahmen dieser Unterrichtsreihe zu beschäftigen, denn ‚nachhaltig‘ fahren diejenigen, die mit sparsamen Motoren, vor allem aber mit Bedacht und Umsicht Autofahren. In der Lebenswelt der Schülerinnen gibt es viele weitere Positivbeispiele, die deutlich machen, dass ein umweltgerechteres Leben durchaus umsetzbar und lebenswert ist: Cameron Diaz fährt in Hollywood vor dem roten Teppich mit einem Hybridauto vor und Leonardo Di Caprio kritisierte den ehemaligen amerikanischen Präsidenten George W. Bush für dessen Ignoranzhaltung gegenüber einer Unterzeichnung des Kyoto-Protokolls. Auch ein surfender Pop-Star namens Jack Johnson, bei den Schülerinnen sehr beliebt, setzt sich stark für den Klimaschutz und CO₂-reduzierende Maßnahmen ein.

4.2. Einordnung in den Lehrplan und die Bildungsstandards

Im rheinland-pfälzischen Lehrplan für die Oberstufe finden sich einzelne Aspekte zur Atmosphärenchemie wieder. So steht im Strukturvorschlag C (Grundfach) unter dem

67 W	Atmosphärenchemie	8 Std
Die Lufthülle der Erde ist für das Leben auf unserem Planeten von entscheidender Bedeutung. Ozonloch und Treibhauseffekt, Klimaschwankungen und daraus resultierende Katastrophen beeinflussen die Zukunft der Menschheit ganz direkt. Ein Verständnis des Aufbaus der Atmosphäre und der globalen klimatischen Zusammenhänge erscheint unerlässlich. Der Schwerpunkt sollte jedoch auf den Stoffen und den Reaktionen liegen.		
Ein Einblick in die Reaktionen der Chlorfluorkohlenwasserstoffe in der Atmosphäre ermöglicht Gefahren bei der Anwendung besser einschätzen und die Notwendigkeit der Suche nach Ersatzstoffen einsehen zu können.		
– Aufbau der Atmosphäre	– Zusammensetzung, Temperaturen und Drücke	
– Klima	– Sonneneinstrahlung, Hoch und Tiefdruckgebiete, Luftströme	
– Treibhauseffekt	– Kohlenstoffdioxid und Methan als wichtigste Treibhausgase, Wechselwirkung Licht-Materie	
– Ozonproblem	– Ozon in bodennahen Schichten, Smog	
	– Ozon in der Stratosphäre, UV-Schild, Ozonloch	
	– Eigenschaften und Verwendung von Halogenkohlenwasserstoffen	
	– Kopplung mit Baustein 114 „Synthesen I“ möglich	

Abbildung 2: Die Atmosphärenchemie im rheinlandpfälzischen Lehrplan.

Oberthema „Eingriffe in Stoff- und Energiegleichgewichte – Steuerung von Reaktionen“ „[d]ie Untersuchung von anthropogenen und natürlichen Emissionen in die Atmosphäre bereits geschrieben, dass atmosphärenchemische Beispiele exemplarisch für die Beschäftigung mit dem chemischen Gleichgewicht stehen können. Konkreter heißt es, „[d]ie Untersuchung von anthropogenen und natürlichen Emissionen in die Atmosphäre führt zu Änderungen in der Zusammensetzung der Luft und zu Störungen einer Kette von Gleichgewichtsreaktionen. Beispielhaft lässt

sich dies am Ozon der Stratosphäre und der Troposphäre erarbeiten.“³⁵ Sehr sinnvoll und angemessen erscheint der Strukturierungsvorschlag E, der mit dem Oberthema „Die Atmosphäre“³⁶ vor allem den Mensch und dessen Einfluss auf die Atmosphäre behandelt. „Im Einzelnen werden das Ozonproblem - stratosphärisches Ozon und Ozonloch ebenso wie bodennahes Ozon und Smog - und der Treibhauseffekt angesprochen. Die Wechselwirkung von Strahlung mit Materie, das dynamische Gleichgewicht und Radikalreaktionen werden behandelt und die Stoffchemie von Sauerstoff, Kohlenstoffdioxid und Methan werden im Kontext der Atmosphäre thematisiert. Von besonderem Interesse ist hier der Kohlenstoffkreislauf und die Herkunft der Treibhausgase.“³⁷ Für das Leistungsfach lässt sich die gesamte Unterrichtsreihe im Wahlbaustein 67 „Atmosphärenchemie“³⁸ verorten. Mit einem Zeitrichtwert von acht Stunden werden die erwähnten Themen (siehe Abbildung 2) angesprochen. Bis auf die klimatischen Inhalte, die aus dem Erdkundeunterricht bei dieser Lerngruppe weitestgehend bekannt waren und der „Kopplung mit Baustein 114, Synthesen I“ versuche ich, die Unterrichtssequenz, wie vom Lehrplan eingefordert, umzusetzen.

Einordnung in die Bildungsstandards³⁹

Kompetenzbereich Fachwissen (F)

Die Schülerinnen...

- ...nennen und beschreiben bedeutsame Stoffe mit ihren typischen Eigenschaften (F 1.1).
- ...beschreiben Phänomene der Stoff- und Energieumwandlung bei chemischen Reaktionen (F 3.1).
- ...kennzeichnen in ausgewählten Donator-Akzeptor-Reaktionen die Übertragung von Teilchen und bestimmen die Reaktionsart (F 3.3).
- ...erstellen Reaktionsschemata/ Reaktionsgleichungen durch Anwendung der Kenntnisse über die Erhaltung der Atome und die Bildung konstanter Atomzahlenverhältnisse in Verbindungen (F 3.4).
- ...beschreiben die Umkehrbarkeit chemischer Reaktionen (F 3.5).
- ...beschreiben Beispiele für Stoffkreisläufe in Natur und Technik als Systeme chemischer Reaktionen (F 3.6).
- ...beschreiben Möglichkeiten der Steuerung chemischer Reaktionen durch Variation von Reaktionsbedingungen (F 3.7).

³⁵ Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Weiterbildung (1998), S. 36.

³⁶ Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Weiterbildung (1998), S. 44.

³⁷ ebd.

³⁸ Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Weiterbildung (1998), S. 97.

³⁹ Kultusministerkonferenz (2004), S.10-13.

Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung (E)

Die Schülerinnen...

- ...erkennen und entwickeln Fragestellungen, die mit Hilfe chemischer Kenntnisse und Untersuchungen, insbesondere durch chemische Experimente, zu beantworten sind (E 1).
- ...planen geeignete Untersuchungen zur Überprüfung von Vermutungen und Hypothesen (E 2).
- ...führen qualitative und einfache quantitative experimentelle und andere Untersuchungen durch und protokollieren diese (E 3).
- ...erheben bei Untersuchungen, insbesondere in chemischen Experimenten, relevante Daten oder recherchieren sie (E 5).
- ...finden in erhobenen oder recherchierten Daten, Trends, Strukturen und Beziehungen, erklären diese und ziehen geeignete Schlussfolgerungen (E 6).
- ...nutzen geeignete Modelle (z.B. Atommodelle, Periodensystem der Elemente), um chemische Fragestellungen zu bearbeiten (E 7).
- ...zeigen exemplarisch Verknüpfungen zwischen gesellschaftlichen Entwicklungen und Erkenntnissen der Chemie auf (E 8).

Kompetenzbereich Kommunikation (K)

Die Schülerinnen...

- ...recherchieren zu einem chemischen Sachverhalt in unterschiedlichen Quellen (K 1).
- ...prüfen Darstellungen in Medien hinsichtlich ihrer fachlichen Richtigkeit (K 3).
- ...beschreiben, veranschaulichen oder erklären chemische Sachverhalte unter Verwendung der Fachsprache und/oder mit Hilfe von Modellen und Darstellungen (K 4).
- ...stellen Zusammenhänge zwischen chemischen Sachverhalten und Alltagserscheinungen her und übersetzen dabei bewusst Fachsprache in Alltagssprache und umgekehrt (K 5).
- ...vertreten ihre Standpunkte zu chemischen Sachverhalten und reflektieren Einwände selbstkritisch (K 9).
- ...planen, strukturieren, reflektieren und präsentieren ihre Arbeit als Team (K 10).

Kompetenzbereich Bewertung (B)

Die Schülerinnen...

- ...erkennen Fragestellungen, die einen engen Bezug zu anderen Unterrichtsfächern aufweisen und zeigen diese Bezüge auf (B 2).
- ...nutzen fachtypische und vernetzte Kenntnisse und Fertigkeiten, um lebenspraktisch bedeutsame Zusammenhänge zu erschließen (B 3).
- ...entwickeln aktuelle, lebensweltbezogene Fragestellungen, die unter Nutzung fachwissenschaftlicher Erkenntnisse der Chemie beantwortet werden können (B 4).
- ...diskutieren und bewerten gesellschaftsrelevante Aussagen aus unterschiedlichen Perspektiven (B 5).
- ...binden chemische Sachverhalte in Problemzusammenhänge ein, entwickeln Lösungsstrategien und wenden diese an (B 6).

Erstellt man ein Analyseraster⁴⁰ und verortet qualitativ die Kompetenzbereiche, die von dieser Unterrichtsreihe in besonderem Maße angesprochen werden, ergibt sich folgendes Bild (Abbildung 3). Dabei wird deutlich, dass der Schwerpunkt auf den Kompetenzbereichen Fachwissen und Bewertung liegt. Die Bildungsstandards weisen daraufhin, dass neben den Fachinhalten auch die Handlungsdimension (H) zu berücksichtigen ist.

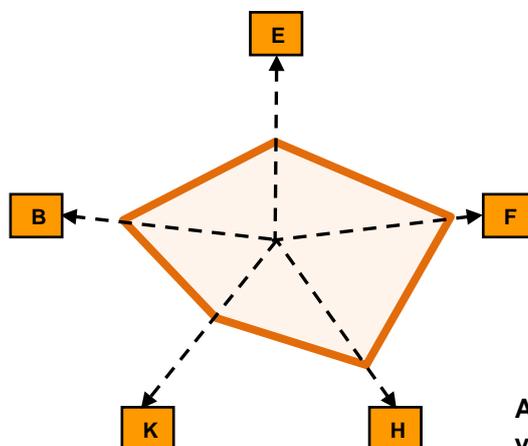


Abbildung 3: Analyseraster, verändert nach Stäudel (2003).

„Die Handlungsdimension bezieht sich auf grundlegende Elemente der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung, also auf experimentelles und theoretisches Arbeiten, auf Kommunikation und auf die Anwendung und Bewertung chemischer Sachverhalte in fachlichen und gesellschaftlichen Kontexten.“⁴¹

Für die vorliegende Unterrichtsreihe bedeutet dies, dass angestrebt werden soll, über vermitteltes und erarbeitetes Fachwissen einen Erkenntnisgewinn zu erlangen, der sich schlussendlich in einem, von den Schülern aus gedachten, positiveren Umweltverhalten ausdrückt. Dieser hohe Anspruch, Schüler vom Wissen zum Handeln zu bewegen, ist durchweg ein übergeordnetes Lernziel dieser Sequenz und deshalb als Kompetenzbereich Handlung mit angeführt.⁴²

4.3. Begründung der didaktischen Entscheidungen

4.3.1. Auswahl der Unterrichtsinhalte und Ziele der Unterrichtsreihe

Die Auswahl der Inhalte richtet sich, neben der Interessenlage der Schülerinnen, vor allem auch nach den Vorgaben des Lehrplans mit seinen verbindlichen Inhalten für den vorgestellten Wahlbaustein zur Atmosphärenchemie. Dabei lässt der Zeitrichtwert von nur acht Stunden, für ein so komplexes Thema bereits sehr knapp kalkuliert, nur wenig Spielraum für weitere Vertiefungen übrig. Um den Wahlbaustein

⁴⁰ Stäudel, L. (2003), S.16f.

⁴¹ Kultusministerkonferenz, KMK (2004), S.6.

⁴² Damit stellt das Analyseraster eine fünfgliedrige Mischform aus den vier Kompetenzbereichen des Faches Chemie und den sechs Kompetenzbereichen der Erdkunde, welche die Handlungsdimension als eigenen Kompetenzbereich ausweist, dar. Siehe auch: DGFG (Hg.) (2008⁵).

im Rahmen der nur sechs zur Verfügung stehenden Unterrichtsstunden in die Schulpraxis umzusetzen, habe ich mich auf wesentliche Inhalte beschränkt, deren Auswahl ich innerhalb dieses Kapitels darlegen und begründen möchte. Neben dem Lehrplan, dem Faktor Zeit und den Schülerinteressen war es mir wichtig, Inhalte so auszuwählen, dass sie an bekanntem Wissen der Schülerinnen anknüpfen und gleichzeitig das Niveau der Lerngruppe treffen. Um genau dort anzusetzen, waren viele Gespräche und E-Mails mit der Fachlehrerin nötig, die während der gesamten Planungs- und Durchführungsphasen dankenswerterweise ansprechbar war und wertvolle Ratschläge gegeben hat. Drei Wochen vor Beginn der Reihe habe ich mir eine kurze Online-Befragung erlaubt, um Wissen über unsere Atmosphäre und damit auch die Wissenstiefe des Kurses zu diesem Themengebiet zu erfragen. Die fachdidaktische Literatur zeigt in einer Ausgabe zum Thema „Schülervorstellungen“, dass gerade in Bezug auf die globale Erwärmung eklatante Fehlvorstellungen in den Köpfen der Schüler bestehen. Dabei weist Schuler (2005) daraufhin, dass „[...] viele Schüler, und auch Erwachsene, [...] das Ozonloch als Ursache für den Treibhauseffekt und die globale Erwärmung verstehen.“⁴³ Angesichts solcher Aussagen, hat die Online-Befragung versucht bei der Lerngruppe zu überprüfen, ob auch bei dieser Fehlvorstellungen bestehen. Dabei hat die Befragung gezeigt, dass 71,4% der Schülerinnen das Ozonloch als den Grund für die Klimaerwärmung erachten (Abbildung 4).

3. Wegen des Ozonloches kommen mehr Sonnenstrahlen in die Atmosphäre. Dies ist der Grund für die Klimaerwärmung.			
		Beantwortung in Prozent	Anzahl Beantwortungen
Stimmt		71,4%	5
Stimmt nicht		28,6%	2

Abbildung 4: Auswertung der 'Ozonfrage'

Angesichts solcher Umfrage-Ergebnisse habe ich es als meine Pflicht gesehen, die vom Lehrplan eingeforderte Ozonchemie in die Unterrichtsreihe mit aufzunehmen. Somit habe ich mich schlussendlich für die folgenden Inhalte und deren zeitlichen Anordnung entschieden (siehe Tabelle). Die zeitliche Anordnung der Inhalte, ist auch durch die Exkursion zum MPI beeinflusst. Aus diesem Grund möchte ich, dass vor der Thematisierung des Treibhausgases Methan andere Treibhausgase wie Kohlendioxid und Wasserdampf (Stoffchemie und Wirkweise) behandelt werden, um eine

⁴³ Reinfried, S., Schuler, S., Aeschbacher, U., Huber, E. (2008), S. 25.

solide fachliche Grundlage zu bieten. Der Treibhauseffekt ist demnach auch für diese Reihe Grundvoraussetzung zum Begreifen von Rückkopplungsprozessen, die durch einen natürlichen und vom Menschen verursachten (anthropogenen) Eingriff in komplexe und hoch dynamische Energie- und Stoffkreisläufe⁴⁴ entstehen.

Die Hausaufgaben zur Reihe sind dem Niveau eines Chemie Leistungskurses angemessen und entlasten die Stunden inhaltlich bei gleichzeitiger Vertiefung beziehungsweise Vorbereitung von Fachinhalten. Neben der Stoffchemie und chemischen Reaktionen, die laut Lehrplan Schwerpunkt der Reihe sein sollen, habe ich auch viel Wert auf Kausalität und das Verstehen komplexer Zusammenhänge gelegt. Wie bereits Alexander von Humboldt vor langer Zeit feststellte ist „all Ding Wechselwirkung“, was auch in vollem Maße für die Atmosphärenchemie zutrifft und geradezu zu ‚vernetztem Denken‘ einlädt. Somit bauen die Stunden, wie tabellarisch dargestellt, inhaltlich aufeinander auf und stehen in einem engen, sachlogischen Zusammenhang.

⁴⁴ Der Auf- und Abbau von stratosphärischem Ozon (Chapman Zyklus) sowie der Kohlenstoffkreislauf sind hier nur zwei populäre Beispiele von vielen.

Anordnung der Einzelstunden

Im Folgenden möchte ich die Anordnung der Stunden tabellarisch vorstellen:

	Thema	Unterrichtsinhalt	Hausaufgaben
1.h	Klimaerwärmung	Klimawandel, Globale Dimension, Aufbau & chemische Zusammensetzung der Atmosphäre	Treibhausgase Steckbrief, Recherche zu "Geosphären"
2.h	Station 1 Station 2 Station 3	Meeresspiegelanstieg Albedo, Wechselwirkung Strahlung/Materie Kohlenstoffkreislauf (Hydrosphäre- Atmosphäre); Ozeanversauerung	VCI-Broschüre und Heft „Ran ans CO ₂ -Problem“,
3.h	Station 4 Station 5	Natürlicher Treibhauseffekt (CO ₂) Natürlicher Treibhauseffekt (H ₂ O)	Arbeitsblatt zum eigenen CO ₂ - Verbrauch
4.h	Anthropogener Treibhaus- effekt	Einführung in die organische Chemie Exemplarisch: Verbrennung von KWs (Butangas & Heptan), CO ₂ - & H ₂ O-Nachweis	Recherche & Kurzvortrag : 1. Paul Crutzen, 2. Nobelpreis, 3. Max Planck & MPI Arbeitsblatt 1 (2. Teil) & Zusatzarbeitsblatt (M1-M5)
-	Vorbereitung MPI	<u>Organisatorisch:</u> - Anreise nach Mainz <u>Inhaltlich: Referate</u> - Max Planck & Max Planck Institute, - Alfred Nobel & Nobelpreis, - Paul J. Crutzen	1. Fragen an Forscher formulieren. 2. Nobelpreisvortrag ⁴⁵ Paul Crutzen lesen (via E-Mail; nicht verpflichtend)
-	Methan/ Messverfahren	Exkursion zum MPI Mainz: Besuch der CARIBIC Gruppe, Methan- versuch, Ozonversuch, Gaschromato- graphie	Ozon-Comic (EPA) (englische Version), via E-Mail
5.h	Ozon	Sommersmog (MPI-Versuch), Ozon als Treibhausgas, Chapman-Zyklus	
6.h	Strato- sphärisches Ozon	Photolyse von CFKW , Radikalreaktion, FCKW-Verbot ⁴⁶ , Verbesserung der Ozonlochproblematik, Schülervor- stellungen!	Arbeitsblatt 2 & Schulbuch, S. 393 (Paul Crutzen) nachlesen

⁴⁵ Crutzen, P. J. (1996).

⁴⁶ ‚FCKW-Verbot‘ ist ein allgemein bekannter Begriff. Gemäß IUPAC lautet die chemische Nomenklatur korrekterweise Chlorfluorkohlenwasserstoff (CFKW) oder wie im Comic englisch dargestellt: Chlorfluorocarbon (CFC).

Auswahl des Unterrichtsverfahrens & Reihenfolge der Stunden

Obwohl dem Kurs ein hoher Abstraktionsgrad keine Schwierigkeiten bereitet, habe ich mich für ein eher induktives Unterrichtsverfahren entschieden. Dabei wird vom allgemeinen Phänomen (hier: ‚schmelzende Polkappen‘, ‚Hochwasser‘, ‚extremere Wetterereignisse‘, ‚Desertifikation‘ → ‚Erderwärmung‘) auf die Ursachen (industrielle- und privathaushaltsbedingter Anstieg von Treibhausgasen) eingegangen, um letztendlich Lösungsstrategien aufzuzeigen, wie die Industrie, vor allem aber die Privathaushalte zu Verbesserungen beitragen können. Vorteile dieser Vorgehensweise sind eine gesteigerte Motivation durch mehr lebensweltliche Bezüge⁴⁷, eine höhere Anschaulichkeit bei einem recht abstrakten Thema⁴⁸ und ein roter Faden, der mehr Spannung bis zum Ende der Reihe bereithält sowie sukzessive die individuelle Handlungsebene implizit anspricht. Methodisch ist diese Vorgehensweise auch interessant, weil von einem konkreten Problem ausgehend, mithilfe naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen, auf Optimierungsmöglichkeiten hingearbeitet und damit ein naturwissenschaftlicher Gang der Erkenntnisgewinnung beschritten wird. Hinzu kommt, dass der „induktive Zweig“ immer dann beschritten werden soll, „[...] wenn die theoretischen Grundlagen zur Lösung des Problems [wie für die vorliegende Reihe der Fall] fehlen.“⁴⁹ Aus den genannten Gründen habe ich mich gegen ein deduktives, theoriegesteuertes Vorgehen als eine mögliche Alternative entschieden. Die tabellarische Aufstellung soll die induktive Vorgehensweise verdeutlichen. Dabei ist genau die Anordnung der 1.- 6. Stunde in der vorgenommenen Stundenreihenfolge entscheidend, um das Unterrichtsverfahren wie favorisiert umzusetzen. Um gewisse „theoretische Grundlagen“ vor allem vor dem Exkursionstermin zu schaffen, war mir eine vorausgehende und intensive Beschäftigung mit dem natürlichen Treibhauseffekt wichtig. So konnten die ‚populärereren‘ Treibhausgase Kohlendioxid und Wasserdampf sowie einfache Stoffkreisläufe und Wirkweisen (Stoffchemie) behandelt und speziellere klimawirksame Gase, wie Methan und Ozon, im Rahmen der Exkursion thematisiert werden. Alternativ hätte man auch mit dem anthropogenen Treibhauseffekt beginnen können. Jedoch kann eine solche Anordnung schnell zu der falschen Annahme führen, dass der Treibhauseffekt immer vom Menschen verursacht wird und so langfristig gesehen als Fehlvorstellung in Erinnerung bleiben.

⁴⁷ „Die Verbindung zwischen Chemie und Lebensbereich der Lernenden muss genutzt bzw. hergestellt werden, um auf einen verantwortungsbewussten Umgang mit der Umwelt vorzubereiten.“, vgl. Schenzer, M. (1994), in: Pfeifer *et al.* (2002), S. 161.

⁴⁸ Mit abstrakt meine ich an dieser Stelle, die Tatsache, dass atmosphärenchemische Prozesse meist für unser Auge direkt nicht sichtbar sind. Zum einen, weil sie in kaum erreichbaren Höhen stattfinden, zum anderen weil es sich um unsichtbare Gase handelt.

⁴⁹ Pfeifer *et al.* (2002), S. 207.

Als weitere Alternative wäre auch der Beginn mit der Ozonchemie denkbar. Darauf habe ich aber verzichtet, weil ich zum einen denke, dass dieser Weg weder motivierend noch Interesse weckend für die Schülerinnen gewesen wäre, zum anderen, weil die Ozonlochproblematik die Lebenswelt der Schülerinnen kaum bis gar nicht tangiert. Die größte Diskussion um Ozon und ein FCKW-Verbot gab es in den 80er und 90er Jahren, sodass die Schülerinnen auch wenig Vorkenntnisse haben. Eine andere Situation hätte sich ergeben, wenn ich die Reihe im Sommer gehalten hätte. Hier könnte man über Ozonwarnungen gut aktuelle Einstiege finden. Dennoch fand ich aus den beschriebenen Gründen ein solches Vorgehen als nicht erstrebenswert. Die Thematisierung dieses Gases nach der Exkursion bietet zudem auch genügend Anknüpfungspunkte, um die Reihenfolge, wie vorgeschlagen durchzuführen.

Didaktische Mitte

Inhaltlich befindet sich die didaktische Mitte für die vorliegende Unterrichtsreihe bei der intensiven Auseinandersetzung mit den klimawirksamen⁵⁰ Gasen Kohlendioxid, Wasserdampf, Methan und Ozon. Diese geht bereits aus dem Titel der Reihe „**Unterrichtsreihe zu verschiedenen klimawirksamen Treibhausgasen mit experimentellem Schwerpunkt** in einem Leistungskurs der Jahrgangsstufe 12“ hervor.

Dabei wird auf die konkrete Stoffchemie der Gase eingegangen, Betrachtungen in der Teilchenebene vorgenommen sowie auf Zusammenhänge zwischen Stoffkreisläufen Wert gelegt. Die Öffnung in die Lebenswelt der Schülerinnen erfolgt über eine Betrachtung von Auswirkungen auf den Menschen und die Biosphäre, der die Konzentrationen der Treibhausgase zunehmend verändert und in gewisse Stoffkreisläufe eingreift. Auch wenn sich inhaltlich dadurch gewisse Weitläufigkeiten ergeben können, bleibt die Reihe im Wesentlichen bei genau diesen vier Gasen.

Der methodische Schwerpunkt ist im Thema ebenso klar formuliert. Dabei soll ein experimentell gesetzter Schwerpunkt über eine Stationenarbeit und eine experimentell ausgelegte Exkursion erreicht werden.

Obwohl die Reihe, wie im Folgenden noch konkreter ausgeführt, fächerübergreifend konzipiert wurde, dominiert das Fach Chemie. Um dem erdwissenschaftlichen Charakter der Disziplin ‚Atmosphärenchemie‘ gerecht zu werden, aber auch um

⁵⁰ Das Adjektiv ‚klimawirksam‘ soll nur zum Ausdruck bringen, dass die Treibhausgase einen Effekt auf klimatische Prozesse, vor allem im Bereich Erwärmung/Abkühlung der Atmosphäre, haben.

weitere inhaltliche Ergänzungen einzubringen, sollen hauptsächlich geographische wie auch physikalische und biologische Inhalte thematisiert werden.

Ziele der Unterrichtsreihe

Im Folgenden möchte ich die übergeordneten Ziele dieser Unterrichtsreihe vorstellen:

Erarbeitung und Vermittlung von Wissen über die Chemie der Atmosphäre

Wie bereits gezeigt, soll diese Unterrichtssequenz die wesentlichen Inhalte zur Atmosphärenchemie behandeln. Dazu gehört eine Vielzahl an neuen Fachinhalten, die teils an Bekanntem anknüpfen (Kohlenstoffkreislauf → chemisches Gleichgewicht), teils aber ‚kognitives Neuland‘ darstellen (Ozon-Kreislauf, Kohlenwasserstoffchemie). Neben Fachwissen (Treibhausgase, Wirkung, Entstehung, Stoffkreisläufe) sollen die Schülerinnen auch methodisch geschult werden, indem sie neue analytische Methoden wie zum Beispiel die Gaschromatographie oder paläoklimatische Methoden (z.B. Messung von Gasgehalten in Eisbohrkernen) verstehen und selbst ausführen. Neben der Betrachtung von Fachinhalten in der Stoff- und Teilchenebene spielen dabei auch Modellvorstellungen zum Treibhauseffekt eine wichtige Rolle, die methodisch über neue Zugänge betrachtet werden sollen.

Richtigstellung von falschen Vorstellungen

„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).“⁵¹

Solche Fehlvorstellungen sollen im Laufe der Reihe bewusst gemacht und korrigiert werden, was durch die Auswahl der Inhalte und die methodische Konzeption von den Schülerinnen selbstständig erzielt werden kann. Dabei gilt es, als Lehrkraft sensibel für mögliche weitere Fehlvorstellungen zu sein und auch dann gegebenenfalls für inhaltliche Klarheit und Transparenz zu sorgen⁵². Eine weitere, sehr verbreitete Vorstellung ist die, dass ein Abschmelzen der Polkappen einen Meeresspiegelanstieg verursachen wird, der für viele küstennah lebende Menschen lebensbedrohlich enden wird. Dabei sind es hauptsächlich Inlandgletscher und die großen, nicht schwimmenden Eismassen (westantarktischer- und grönländischer Eisschild⁵³) welche bedenklich sind. Die arktischen Eismassen des Nordpols sind im Gegensatz

⁵¹ Reinfried, S., Schuler, S., Aeschbacher, U., Huber, E. (2008), S. 24.

⁵² Petermann, K., Friedrich, J. & Oetken, M. (2008).

⁵³ Als Eisschild bezeichnet man einen ausgedehnten, festes Land bedeckenden Gletscher.

dazu überwiegend schwimmende. Ein Schmelzen dieser hätte so gut wie keinen Anstieg des Meeresspiegels zur Folge. Dies lässt sich über einen simplen Versuch eindrucksvoll zeigen (siehe Methodik). Auch sind die medienwirksamen Bilder von abbrechenden Eismassen in der Antarktis für Fehlvorstellungen mitverantwortlich. Derzeit trägt die Antarktis allgemein nicht entscheidend zum Meeresspiegelanstieg bei, da nur Teile der Randgebiete an Eisbedeckung verlieren, im Inneren des Eiskontinents zudem sogar eine leichte Zunahme des Eises gemessen wurde.⁵⁴ Massenmedien, wie der Fernsehsender Pro Sieben, sprachen in der Sendung ‚Galileo‘ vom CO₂ – dem „Klimagift“. Auch bei solchen Vorstellungen sei klarzustellen, dass unsere Erdtemperatur bei Abwesenheit dieses ‚Giftes‘ auf durchschnittlich circa -17°C abkühlen würde.

Wissenschaftspropädeutik und Fachsprache

Gerade Inhalte der Leistungskurse in der gymnasialen Oberstufe werden als Propädeutik (griech. bilden – Vorbildung) für ein wissenschaftliches Studium verstanden. Dabei sind Logik, Kausalität und Fachterminologie wichtige Begriffe, die hier in besonderem Maße zum Tragen kommen sollen. Die Unterrichtsprache des Lehrers sowie die Unterrichtsprache der Schülerinnen sollten fachlich präzise sein. Gleichzeitig ist bei aller Wissenschaftsorientierung auch zu beachten, dass der Unterricht nicht auf Kosten der Anschaulichkeit und des Bezugs zur Lebenswelt der Schüler unnötig verwissenschaftlicht wird.⁵⁵ Eine Exkursion zum MPI soll den Schülerinnen zudem etablierte Forschungseinrichtungen und naturwissenschaftliches Arbeiten im laufenden Forschungsbetrieb näher bringen. In entspannter ‚Atmosphäre‘ stehen dabei auch Wissenschaftler für Fragen zur Verfügung, sodass auch die Gelegenheit genutzt werden kann über diverse Studienangebote Informationen einzuholen. Die Wissenschaftsorientierung berücksichtige ich auch bei der Auswahl der Materialien für Arbeitsblätter und begleitendem Unterrichtsmaterial, indem ich auf aktuelle Daten von zuverlässigen Quellen Wert lege und auch englischsprachige Quellen mit einbringe.

Stärkung der Kommunikationsfähigkeit gegenüber kontroversen Themen

Wie in den Bildungsstandards vorgeschlagen, sollen Fachinhalte knapp und präzise kommuniziert werden, was in Form von Referaten und Präsentationen von Gruppenarbeiten stattfinden soll. Die Schülerinnen eines 12er Leistungskurses sollen am

⁵⁴ IPCC (2007).

⁵⁵ Vgl. Pfeifer *et al.* (2002), S. 158.

Ende ihrer Schulausbildung darüber hinaus dazu in der Lage sein, in wissenschaftlichen Kontroversen wie dem Klimawandel sachlich und argumentativ eine Position einnehmen zu können. Um die Kommunikationsfähigkeit der Schülerinnen zu stärken, müssen demnach auch wesentliche Standpunkte von Klimakritikern betrachtet und kritisch hinterfragt werden.

Umweltbildung und Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE)

Umweltbildung ist ein übergreifendes, für alle Fächer verbindliches, pädagogisches Leitprinzip.⁵⁶ Im Koalitionsvertrag⁵⁷ und in der rheinland-pfälzischen Landesverfassung⁵⁸ steht es deutlich formuliert. Auf globaler Ebene und als neues Leitbild formuliert⁵⁹ findet es sich in ähnlicher Form im Kapitel 36 der Agenda 21 wieder.⁶⁰ Es ist zu bemerken, dass Bildung für Nachhaltige Entwicklung (BNE), im Vergleich zum älteren Leitbild der Umweltbildung, ökologische Betrachtungen um die soziale und ökonomische Dimension (vgl. ‚Dreieck der Nachhaltigkeit‘) erweitert.⁶¹ Dabei wird ausgehend von diesen Leitprinzipien ein direkter Bildungsauftrag für die Schulen abgeleitet. Einige fachdidaktische Veröffentlichungen, haben allerdings gezeigt, dass der Erfolg einer schulischen Umweltbildung bislang als relativ nüchtern zu betrachten ist.⁶² Ein Vorwurf, welcher der schulischen Umweltbildung dabei oft gemacht wurde, ist der einer stark fachlichen Ausrichtung im Sinne einer reinen Umweltwissensvermittlung. Um umweltgerechtes Verhalten und damit umweltgerechtes Handeln aber zu erreichen, also die Handlungskompetenz⁶³ der Schülerinnen zu stärken, muss dies auch eingeübt werden. Hierbei „soll die Umweltbildung möglichst alle Sinne des Menschen, vor allem auch haptische Lerntypen, ansprechen und möglichst ‚handlungsorientiert‘ vermittelt werden“⁶⁴. Die vorliegende Reihe versucht dies gerade in puncto Umweltbildung umzusetzen.

⁵⁶ Wilhelmi, V. (2000).

⁵⁷ Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und FDP (17. Legislaturperiode): „Wir bekräftigen die Ziele der UN-Dekade für „Bildung für nachhaltige Entwicklung“ (BNE). Sie ist eine wichtige und zukunftsweisende Aufgabe aller Bildungsträger. Neben der Verankerung im Schulunterricht ist ihre Umsetzung in Zusammenarbeit mit außerschulischen Partnern wie Bildungseinrichtungen, wirtschaftlichen Institutionen und Verbänden von großer Wichtigkeit.“

⁵⁸ Artikel 33 der Landesverfassung von RLP: „Die Schule hat die Jugend zur Gottesfurcht und Nächstenliebe, Achtung und Duldsamkeit, Rechtlichkeit und Wahrhaftigkeit, zur Liebe zu Volk und Heimat, zum Verantwortungsbewusstsein für Natur und Umwelt, zu sittlicher Haltung und beruflicher Tüchtigkeit und in freier, demokratischer Gesinnung im Geiste der Völkerversöhnung zu erziehen.“

⁵⁹ DGFG (2008), S. 27.

⁶⁰ Rohwer, G. (2000).

⁶¹ Deutsche UNESCO-Kommission e.V. (2010).

⁶² vgl. Köck, H. (2000) und Wilhelmi, V. (2000).

⁶³ vgl. auch Kapitel 4.2. Einordnung in die Bildungsstandards.

⁶⁴ Wilhelmi, V. (2000), S.129.

Stärkung der Handlungskompetenz

Die Förderung und Stärkung der Handlungskompetenz ist als Schwerpunkt ein Hauptlernziel der vorliegenden Unterrichtsreihe. Ein Unterricht, dem die Stärkung der Handlungskompetenz zugrunde liegt, ist schon basierend auf der Thematik ein „kritisch-konstruktiver“ und hat zum Ziel den Schülerinnen Hilfestellung „zur wachsenden Selbstbestimmungs-, Mitbestimmungs- und Solidaritätsfähigkeit in allen Lebensdimensionen“⁶⁵ zu geben. Nach Klafki meint dabei ‚konstruktiv‘ „den durchgehenden Praxisbezug, auf das Handlungs-, Gestaltungs- und Veränderungsinteresse.“⁶⁶ Umweltthemen können dabei vor allem auch über Klafkis Konzept der ‚epochaltypischen Schlüsselprobleme‘⁶⁷ im Unterricht positioniert werden.⁶⁸ Innerschulisch bedeutet dies, dass das Lernen für meine Lerngruppe „selbst geplant, organisiert und/oder durchgeführt werden soll“⁶⁹, der Lehrer durch Einfügen von Fach-/Sachinhalten und konkrete Erarbeitungen einwirken kann, eher aber moderierend zur Seite steht. Die selbsttätige Planung von Experimenten, Ergebnis-erarbeitung und Präsentation, das wiederholte Halten von Kurzreferaten, das An-eignen von Fachwissen über Unterrichtsinhalte sowie verpflichtende und nicht-verpflichtende Hausaufgaben sind Beispiele für eine konkrete Umsetzung dieser Vorstellungen in der Schulpraxis.⁷⁰ Weiterführend ist es wünschenswert die Handlungsfähigkeit der Schülerinnen dahingehend zu stärken, dass sie sich ungeachtet von schulischem Notendruck und damit auch außerschulisch, für eine umweltgerechte Lebensweise einsetzen. Dazu gehört die fundamentale Einsicht, dass jeder Einzelne bereits durch sein tägliches Konsumverhalten einen Beitrag zu einem klimafreundlicheren Leben leisten kann. Gerade weil so viele junge Führer-scheinbesitzerinnen dem Kurs beiwohnen, wird es spannend sein, zu sehen, wie kritisch die Schülerinnen ihren eigenen CO₂-Fußabdruck bewerten und ob Sie das Thema auch in ihrem Alltag wahr- oder gar ernst nehmen.

4.3.2. Auswahl der Treibhausgase

Die Auswahl der für diese Reihe relevanten Treibhausgase fiel leicht. Kohlendioxid ist der derzeit ‚populärste‘ Vertreter und alleine deshalb obligatorisch. Hinzu kommt,

⁶⁵ Klafki, W. (1996), S.60ff.

⁶⁶ vgl. Klafki, W. (1996), S.90 und Rinschede, G. (2007), S.39.

⁶⁷ Klafki, W. (1996), S.60ff.

⁶⁸ Dabei lautet die Grundthese dieses Konzeptes: „Der Globale Wandel lässt sich in seiner Dynamik auf eine überschaubare Zahl von Kausalmustern in den Mensch-Umwelt-Beziehungen zurückführen. Die nicht-nachhaltigen Verläufe dieser dynamischen Muster werden als Syndrome des Globalen Wandels bezeichnet.“

⁶⁹ vgl. Rinschede, G. (2007), S.49.

⁷⁰ vgl. Kapitel 4.4.1. Umgesetzte Methodenkonzepte.

dass dieses Gas in jeder Chemiesammlung zu finden ist, Versuche mit ihm recht unbedenklich sind und sich direkte Bezüge über seine Entstehung zur Lebenswelt der Schülerinnen ziehen lassen. Für Wasserdampf gilt das Gleiche, wenn es auch als Treibhausgas so nicht allen Menschen bekannt sein mag. Das Max Planck Institut hat von sich aus vorab ein didaktisch aufbereitetes Projekt zum Thema Methangas vorgeschlagen, weshalb ich mich an dieser Stelle auch für die Thematisierung dieses Gases entschieden habe. Dr. Uhrek, der das Programm zusammenstellte und durchführte, bot auch die theoretische und praktische Thematisierung von Ozon an, die ich im Anschluss an den Besuch vertiefen werde. Alternativ hätte man genauer auf CFKWs und Stickoxide eingehen können, jedoch wäre dies weder zielführend noch zeitlich möglich gewesen.

4.4. Begründung der methodischen Entscheidungen

Um den bereits dargestellten Vorüberlegungen gerecht zu werden und möglichen Problemen (Wissenslücken, Komplexität des Themas, Fehlvorstellungen) methodisch begegnen zu können, habe ich mir unter Verwendung didaktischer Literatur gewisse Konzepte überlegt, die ich im Folgenden darstellen möchte.

4.4.1. Umgesetzte Methodenkonzepte

Offener Unterricht & Schülerzentrierung⁷¹

Die Schülerinnen stehen im Mittelpunkt des Geschehens. Aus diesem Grund werde ich versuchen diese so weit wie möglich durch offene Lernformen zu einer hohen Selbsttätigkeit zu bewegen.⁷² Dabei möchte ich als Lehrer weitestgehend im Hintergrund agieren und moderierend wirken beziehungsweise einen geordneten Rahmen zum Lernen bieten. Durch die geplante Stationenarbeit werde ich zum Beispiel versuchen diese Öffnung zu vollziehen. Dabei sollen sich die Schülerinnen selbstständig mit dem Material auseinandersetzen. Alle Stationen beinhalten Schülerexperimente, die Arbeitsaufträge dazu sind aber nicht verpflichtend. So kann jede Gruppe nicht nur frei entscheiden mit welcher Station sie sich aus ihrer eigenen Interessenslage heraus beschäftigen möchte, sondern auch ihr eigenes Lerntempo und -quantum selbst bestimmen. Das Gleiche gilt für die Wahl der Präsentationsmedien, die selbstständig getroffen werden soll. Erfreulicherweise besteht das MPI und die dortigen Ansprechpartner ebenfalls auf einen möglichst offenen Unterricht, bei dem die Schülerinnen, gerade im experimentellen Bereich, möglichst viel auf sich gestellt

⁷¹ Vgl. „Speyerer Profil“.

⁷² Vgl. Stäudel, L. (2002).

sein werden und sogar kostspielige Geräte alleine bedienen dürfen. Auch die Vergabe von nicht-verpflichtenden Hausaufgaben gehört zu diesem Konzept. Demnach können besonders motivierte Schülerinnen neben den verbindlichen Hausaufgaben die Chance nutzen, Extraaufgaben zu bearbeiten, was fast schon einer Binnendifferenzierung gleichkommt und die Schülerinnen individuell fördert.

Handlungsorientierung

„Handlungsorientierter Unterricht ist ein ganzheitlicher und schüleraktiver Unterricht, in dem die zwischen dem Lehrer und den Schülern vereinbarten Handlungsprodukte^[73] die Organisation des Unterrichtsprozess leiten, so dass Kopf - und Handarbeit der Schüler in ein ausgewogenes Verhältnis zueinander gebracht werden können.“⁷⁴

Gudjons betont, dass die geeignete Wahl von Methoden hierbei eine Schlüssel-funktion übernimmt.⁷⁵ Um einer einseitig-methodischen Ausrichtung der Unterrichtsreihe entgegenzuwirken, bemühe ich mich möglichst viele Lernkanäle anzusprechen. Damit meine ich vor allem das Ansprechen verschiedener Lerntypen (visuelle, audiovisuelle und haptische/sensomotorische) durch eine ausgewogene Methodenvielfalt. Gelingen soll mir dies durch:

- Aufwendig gestaltete, ansprechende, farbige Arbeitsblätter.
- Verwendung von Songtexten und beliebten Popsongs zur höheren Motivierung und Schaffung einer doppelten Anbindung des Lerngegenstands an die Erfahrungswelt der Schülerinnen.
- Verwendung von Overheadprojektor und Beamer zur großflächigen und farbigen Visualisierung von Sachverhalten.
- Verwendung von Beamer, Laptop und der W-LAN-Ausstattung zum Abspielen von Videoclips und zum Arbeiten mit Animationen.
- Computergestütztes Experimentieren in den Bereichen Versuchsvorbereitung, Versuchsdurchführung, Datenerfassung und Datenauswertung.⁷⁶
- Exkursion ans MPI, während der die Schülerinnen eigenständig experimentieren.

⁷³ Handlungsprodukte sind materielle und geistige Ergebnisse der Unterrichtsarbeit. Sie können aus Modellen, Texten, Rollenspielen, Filmen, Referaten, Experimenten, Exkursionen, etc. bestehen.

⁷⁴ Meyer, H. (1994⁶), S.402f.

⁷⁵ Gudjons, H. (1997), S. 60.

⁷⁶ Gerade der noch vor zwei Jahrzehnten kritisch bewertete Computereinsatz im Chemieunterricht wird im Zeitalter von einfach handhabbaren Programmen, einer immer schneller arbeitenden Hardware, einer stetig verbesserten Ausstattung an den Schulen und didaktisch wertvoll aufbereiteten Homepages richtigerweise nahezu eingefordert, vgl. Steiner, D. & Lutz, B. (1995), S. 4-10.

- Veränderung eines formalen Lernumfelds (Schule) zu weniger formalen Einrichtungen (außerschulische Lernorte). Diese lokale Ausweitung von Speyer an die Universität in Mainz wird durch die Exkursion realisiert.
- Einsatz von Modellen und Schülerexperimenten zur Stärkung der Eigentätigkeit, zum Erzielen höherer Lernerfolge⁷⁷ und zur Schulung von naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen und Methoden.
- Stationenlernen gilt in diesem Kontext als eine Methode, die dem Konzept eines handlungsorientierten Unterrichts in besonderem Maße entspricht.⁷⁸

Fächerübergreifender Unterricht

Damit eine ganzheitliche Auffassung vom Thema erfolgen kann, verfolgt die Reihe fächerübergreifende Ansätze. „Ein wichtiges Ziel des „fächerübergreifenden“ Lernens ist die Betrachtung einer Thematik aus verschiedenen Blickwinkeln.“⁷⁹ In der Schulpraxis, steht dabei „[...] der Inhalt eines Faches im Vordergrund [...] und je nach „Bedarf“ werden die Aspekte anderer Fächer einbezogen.“⁸⁰ Dies bietet sich beim Thema Treibhauseffekt in besonderem Maße an, denn die Fachwissenschaft arbeitet

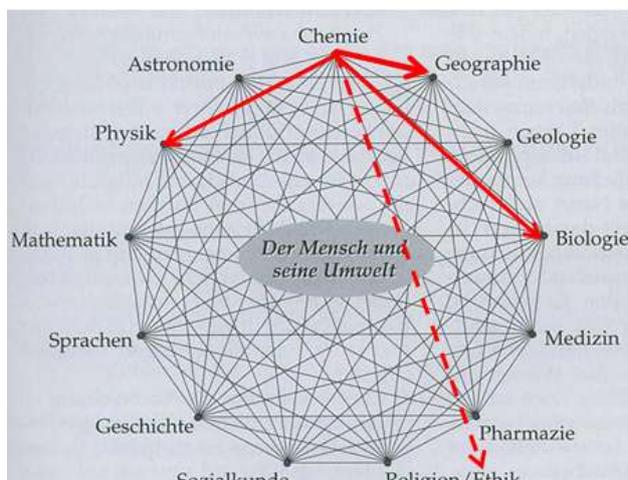


Abbildung 5: Fächerübergreifende Bezüge für diese Unterrichtsreihe

gerade im Bereich der Atmosphärenchemie selbst interdisziplinär. Alleine das Thema Strahlung bietet Möglichkeiten für ein Einfließen physikalischer Inhalte, was im Rahmen der Stationenarbeit auch geschieht. Dabei ist der Treibhauseffekt (Atmosphäre) im Ganzen nicht losgelöst von menschlichen Tätigkeiten zu betrachten, eine verstärkte globale Erwärmung nicht ohne ein Eingehen auf mögliche Folgen für unser Klimasystem und die darin lebenden Menschen (Anthroposphäre) zu behandeln und ein CFKW bedingter Abbau der Ozonschicht (→ vermehrtes Durchdringen energiereicher Strahlung) nicht ohne ein erhöhtes Hautkrebsrisiko in Ländern der Südhemisphäre oder gar ein Absterben des Phytoplanktons mit allen Konsequenzen für die Bio-, Hydro- und Atmosphäre zu

⁷⁷ „I hear and I forget, I see and I remember, I do and I understand“, vgl. Otto, K. H. (2008).

⁷⁸ Vgl. Gudjons, H. (1997).

⁷⁹ Pfeifer *et al.* (2002), S. 178.

⁸⁰ ebd.

verstehen. Die Abbildung 5⁸¹ soll deutlich machen, welche Fächer die chemiespezifischen Inhalte dieser Reihe ergänzt haben. Als Erdkundelehrer habe ich die Möglichkeit gesehen, raumbezogene Inhalte verstärkt darzustellen. Beispielsweise sollen im Unterricht auch klassisch geographische Medien wie der Atlas zum Einsatz kommen, wenn es darum geht helle oder dunkle Bereiche der Erdoberfläche zu verorten. Gerade auch die fachwissenschaftlichen, didaktischen und schulspezifischen Publikationen liefern hervorragendes, aktuelles und anschauliches Material. Viele der Experimente innerhalb der Stationenarbeit lassen sich physikalisch interpretieren und erfahren teilweise nur durch ein Vordringen in die Teilchenebene stärker chemische Bezüge. Die globalen Auswirkungen sind wiederum ein eher räumliches und damit ein genuin geographisches Thema, wobei die Auswirkungen auf die Biosphäre Bezüge zum Fach Biologie zulassen. Gerade bei ökologischen Fragestellungen (z.B. ökologischer Fußabdruck, Wälder und Meere als CO₂-Senken) wird dies deutlich. Themen, welche die Tragfähigkeit der Erde betrachten und dabei auch die Rolle des Menschen als Emittenten von Treibhausgasen herausstellen, lassen im weitesten Sinne sogar Bezüge zum Fach Religion/Ethik zu, da sie Werte- und Moralvorstellungen von Individuen ansprechen. Durch die Verwendung von Musik, englischsprachigen Texten und Abbildungen lassen sich ebenfalls Bezüge zu den Fächern Musik und Englisch herstellen.

Außerschulischer Lernort

Der Tagesablauf der ganztägigen Exkursion ist wie folgt:

07:27 - 08:44	Zugfahrt von Speyer nach Mainz Hbf.
09:00 - 09:45	Begrüßung/ Vorstellung MPI/ Vortrag Methan
09:45 - 11:00	Schüler-Gaschromatographie – Vorübungen mit Reingasen
11:00 - 11:45	CARIBIC-Container
11:45 - 13:00	Mittagspause
13:00 - 14:00 / 14:00 - 15:00	Großer Gaschromatograph (Methanmessungen)/ Ozonversuch (abwechselnd in Gruppen von 3 & 4)
15:00 - 15:30	Mobiles Labor
15:30 - 16:00	Abschlussdiskussion

Damit Dr. Uherek den Schülerinnen fachlich auch auf ihrem Niveau begegnen kann, stehen wir in Bezug auf die Inhalte in engem E-Mail Kontakt, sodass ihm auch all meine Materialien (inkl. Stationenarbeit) vorliegen. Neben der Auswahl der Versuche möchte ich ihm aber bei der Planung und Durchführung freie Hand lassen, denn er

⁸¹ Verändert nach Obst, H. (1997), S.7.

hat sich jahrelang am MPI auch um die Didaktisierung der Atmosphärenchemie für Schulen gekümmert und ist ein fachlich kompetenter Ansprechpartner.

4.4.2. Auswahl der Medien

Im Folgenden möchte ich kurz die Auswahl der für diese Unterrichtsreihe relevanten Medien darstellen.⁸²

Musik

Nicht einfach war es im Rahmen meiner Vorüberlegungen, einen motivierenden Einstieg in die Unterrichtsreihe zu finden. Untypisch und gerade deshalb sehr passend fand ich einen Song des Popmusikers Jack Johnson. Der Künstler setzt sich seit Jahren für ein umweltverträglicheres Leben ein und revolutioniert dabei, wie kein anderer zuvor, die Musikindustrie. Um zu sehen, ob der Künstler im Alltag der Schülerinnen eine Rolle spielt, habe ich dazu eine Frage in den Online-Fragebogen integriert. Die Ergebnisse⁸³ zeigen, dass der Sänger und Songschreiber bei fünf von sieben Schülerinnen namentlich bekannt ist, weshalb ich mich entschied, mit seinem Song „All at once“ in die Reihe einzusteigen. Kein anderes populäres Lied trifft den Kern der Problematik so genau.

Tafel

Die Tafel dient während der gesamten Reihe und in allen Unterrichtsphasen als das Standardmedium für Inhalte, die Schülerinnen oder ich notieren. Dabei achte ich auf gewisse Grundregeln beim Erstellen von Tafelbildern und auf den feinmethodisch geschickten Einsatz farbiger Kreide. Daneben sind dynamische Tafelbilder, im Gegensatz zu statischen, besonders favorisiert, da sie im Gang der Stunde ein gemeinsam entstandenes, mitgewachsenes Lernprodukt darstellen.⁸⁴

Overheadprojektor/ Folien

Ebenfalls als klassisches Medium zu verstehen, werde ich auch von diesem in verschiedenen Phasen Gebrauch machen, um gewisse Sachverhalte farbig und in einer guten Größe darzustellen. Dies gilt für verschiedenste Abbildungen, die im Anhang den Einzelstunden zugeordnet, dokumentiert sind. Der Projektor kann ebenfalls von den Schülerinnen im Rahmen von Referaten und Ergebnispräsentationen genutzt werden.

⁸² Die Auswahl weiterer Medien wird ergänzend in den Kapiteln 4.4.1. Umgesetzte Methodenkonzepte (Handlungsorientierung/Außerschulischer Lernort) und im Kapitel 4.5. (Auswahl der Experimente) dargestellt.

⁸³ Anhang, Seite 156.

⁸⁴ Wilhelmi, V. (2009).

Schulbuch

Das angeschaffte Schulbuch⁸⁵ liefert nur wenig Inhalt zu atmosphärischen Prozessen, weshalb im Rahmen dieser Unterrichtsreihe vermehrt mit Arbeitsblättern gearbeitet werden muss. Neuere Bücher wie das Elemente II vom Klett-Verlag greifen das Thema viel angemessener und umfangreicher auf, dieses steht aber dem Kurs nicht und mir erst nach dem Halten der Unterrichtsreihe zur Verfügung. Im Bereich der Ozonchemie jedoch, hat das eingeführte Schulbuch seine Stärken, die ich für diese Thematik auch gewinnbringend nutzen werde.

VCI-Heft „Ran ans CO₂ -Problem“ und Broschüre

Mehrere Aufsätze wie „Vom Wohltäter zum Bösewicht“, sowie „Schäume helfen sparen“, aber auch die Broschüre des VCI „Chemieprodukte schützen das Klima“ liefern vertiefendes und anwendungsbezogenes Material, welches sich für den nach- und vorbereitenden Einsatz in Hausaufgaben eignet. Beide Materialien habe ich vor Beginn der Reihe kostenlos im Kurssatz beim VCI bestellt. Dabei zeigen die Publikationen auch, dass die chemische Industrie, pauschal oft als Klimasünder vorverurteilt, bemüht ist, klimapolitischen Zielen mit chemischen Innovationen zu begegnen.

Arbeitsblätter

Für die gesamte Unterrichtsreihe habe ich sechzehn Arbeitsblätter eigenständig erstellt. Bei der Gestaltung dieser habe ich darauf Wert gelegt, mit einer einheitlichen Kopfzeile zu arbeiten und eine Vielzahl von Medien, wie Bilder, Diagramme, Zitate, Zeitungsberichte oder freie Felder für Erarbeitungsphasen, einfließen zu lassen. Zwei Arbeitsblätter werden den Schülerinnen zur Bearbeitung im Rahmen von Hausaufgaben mitgegeben. Weitere drei Arbeitsblätter sind digital erstellt und stehen den Schülerinnen als Excel-Dateien zur Verfügung.

Modelle & Animationen

Gegenständliche Modelle wie das zum Treibhauseffekt und die dazugehörige dynamische Computeranimation werden eingesetzt, um besonders komplexe Sachverhalte bis in die Teilchenebene hinein vereinfacht und anschaulich darzustellen. „Der besondere Vorzug derartiger Modelle besteht darin, dass der Benutzer aktiv werden kann, indem er das Modell bearbeitet und eine Rückmeldung über Erfolg

⁸⁵ Asselborn, W., Jäckel, M., Risch, K.T. (1998¹).

bzw. Konsequenzen seiner Einflussnahme erhält.“⁸⁶ Wie in der Fachwissenschaft kommt den Modellen im Chemieunterricht auch eine „Erkenntnis-, Demonstrations- und Erklärungsfunktion“⁸⁷ zu. Um inhaltliche Klarheit und Transparenz mit Modellen zu schaffen, werde ich darauf achten beim Umgang mit diesen immer wieder auf die Analogiebildung hinzuweisen. Dazu müssen sich die Schülerinnen stets fragen, welcher Teil des Modells welchem Objekt/Phänomen in der Realität entspricht.

4.4.3. Auswahl der Sozialformen

Da ich die Reihe möglichst offen konzipiert habe, möchte ich auf eine lehrerzentrierte Form des Frontalunterrichts weitestgehend verzichten. Das gilt auch für die Durchführung von Experimenten, bei denen nur zwei von neun, aufgrund von Ausstattungsdefiziten im Lehrerdemonstrationsversuch gezeigt werden. Schülerorientierte Formen, wie das Unterrichtsgespräch und Schülerdemonstrationsversuche, stehen in nahezu allen Stunden im Mittelpunkt. Organisiert werden dabei gerade die Schülerdemonstrationsversuche über Partner- und Gruppenarbeit. Beide Sozialformen eignen sich hervorragend für eine so kleine Lerngruppe. Gerade die Gruppenarbeit „realisiert zwei für den handlungsorientierten Unterricht zentrale Elemente in besonderer Weise: das Moment der aktiv-tätigen Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand und das Moment der Tätigkeit als sozialem Handeln.“⁸⁸

4.5. Auswahl der Experimente & Umsetzung des experimentellen Schwerpunkts⁸⁹

Experimente sind ein unverzichtbarer Bestandteil des Chemieunterrichts. Aufgrund des besseren Lernens durch Eigentätigkeit, der Möglichkeit des entdeckenden Lernens, der zusätzlichen Einübung manueller Fertigkeiten und dem motivierenden Effekt, der vom Experimentieren ausgeht, ist dem Schülerversuch vor dem Demonstrationsexperiment Vorzug zu geben.⁹⁰ Bei der Auswahl solcher Experimente waren mir folgende Aspekte besonders wichtig: Anschaulichkeit, Einfachheit im Aufbau, Schülerorientierung und Lernzielorientierung. Vor allem die ersten fünf Experimente (siehe Tabelle) sollen dabei methodisch als freie Stationenarbeit durchgeführt

⁸⁶ Pfeifer *et al.* (2002), S. 51.

⁸⁷ Vgl. Rossa, E. (1975), S. 82-84, In: Pfeifer *et al.* (2002), S. 52.

⁸⁸ Gudjons, H. (1997), S.34.

⁸⁹ Dieses Unterkapitel vermischt bewusst die didaktischen Aspekte (inhaltliche begründete Auswahl der Experimente) mit den methodischen Entscheidungen, um diese bei neun Experimenten nicht zu umfangreich darstellen zu müssen.

⁸⁷ Pfeifer *et al.* (2002), S. 315.

werden. Frei bedeutet in diesem Kontext, dass sich die Schülerinnen ihre Stationen selbst aussuchen können, was im Gegensatz zu vorgegebenen Reihenfolgen eines Lernzirkels steht.

Thema	Organisationsform	Didaktischer Ort	Besonderheiten
Treibhauseffekt I (Schwerpunkt Kohlendioxid)	Stationenarbeit/ PA	Erarbeitendes Experiment	Modellexperiment (animationsgestützt)
Treibhauseffekt II (Schwerpunkt Wasserdampf)	Stationenarbeit/ PA	Erarbeitendes Experiment	Modellexperiment
Albedo	Stationenarbeit/ PA	Erarbeitendes Experiment	Digitale Messwert- erfassung
Kohlenstoffkreislauf	Stationenarbeit/ PA	Erarbeitendes Experiment	Verwendung von Medizintechnik
Meeresspiegelanstieg	Stationenarbeit/ PA	Erarbeitendes Experiment	-
Methangehalt in Luft	PA	Bestätigendes Experiment	Durchführung am MPI
Gaschromatographische Untersuchung versch. Gase	GA	Erarbeitendes Experiment	Durchführung am MPI
Ozonversuch	LDV	Einführendes Experiment	Durchführung am MPI
Verbrennung von KWs	LDV	Bestätigendes Experiment	

Stationenarbeit⁹¹

Im Vergleich zu anderen offenen Formen des Unterrichts findet bei der Arbeit an Stationen eine stärkere inhaltliche Steuerung statt, indem sie sich an bestimmten Themenbereichen orientiert. Dabei ist „[...] die individuelle Arbeitszeit an einer im Unterrichtsraum aufgebauten Station nicht straff geplant und streng rhythmisiert vorgegeben. Die Schüler verweilen so lange daran, wie es ihre individuelle Lösung der Aufgabe erfordert oder sie das Interesse an dem angebotenen Material haben.“⁹² Zur Realisierung des Stationenlernens muss zunächst geprüft werden, ob das Thema überhaupt die notwendigen Voraussetzungen erfüllt: „Das Thema muss genügend Aspekte, auch interdisziplinäre, bieten. Außerdem müssen diese weitestgehend unabhängig voneinander angegangen werden können.“⁹³ Eine solche Vorgehensweise wird der lernpsychologischen Annahme gerecht, nach der Lernen geschieht, indem unser Gehirn punktuelle Eindrücke und Erfahrungen speichert und sich schließlich durch die Verflechtung sämtlicher Phänomene ein komplexeres Verständnis des Themas entwickelt⁹⁴. Das gewählte Thema entspricht genau diesen Anforderungen.

⁹¹ Materialien zur Stationenarbeit befinden sich im Ordner ‚Stationenarbeit‘ auf der beiliegenden CD.

⁹² Johannes Gutenberg Universität Mainz (2006), 8/23.

⁹³ ebd.

⁹⁴ Gudjons, H. (2003) & Spitzer, M. (2002).

Zudem bietet sich die Mittwoch-Doppelstunde für die Umsetzung der Stationenarbeit hervorragend an. Im weiteren Verlauf möchte ich kurz auf die einzelnen Stationen eingehen.

Treibhauseffekt I (Schwerpunkt Kohlendioxid)

Zum Treibhauseffekt gibt es eine ganze Fülle von Versuchsvorschriften⁹⁵, die alleamt ein Höchstmaß an Anschaulichkeit anstreben. Dabei funktionieren Versuchsaufbauten, die lediglich Temperaturunterschiede zwischen luft- und kohlendioxidgefüllten Kammern zeigen (Abbildung 6) häufig nicht, sodass es zu unklaren Ergebnissen kommt. Eine differenziertere Betrachtung bietet das Modell der Schweizer Firma DemoEx GmbH (Abbildung 7).⁹⁶ Wie die Abbildung zeigt, wird hier ein dreidimensionales, dynamisches Anschauungsmodell⁹⁷ gezeigt, welches das Thema ‚global beleuchtet‘.



Abbildung 6: Treibhausmodell
(Institut Dr. Flad)



Abbildung 7: Differenzierteres Treibhausmodell

Dabei ist die Analogiebildung sehr leicht vorzunehmen (Lampe = Sonne; Globus = Erde; Plexiglas-Kammer = Atmosphäre, die mit CO₂ von den Schülerinnen gefüllt werden kann). Ein IR-Messfühler misst mit analoger Anzeige (= Satellit), anstelle eines Temperaturfühlers, wie im einfacheren Modell beschrieben, die von der jeweiligen Atmosphäre durchgelassene Wärmestrahlung. Sowie das Modell circa zehn Minuten warmgelaufen ist, detektiert das Messgerät die Abstrahlung von langwelliger IR-Strahlung und schlägt aus. Geben die Schüler CO₂ in den Plexiglasbehälter verringert sich dieser Ausschlag, was genau den Treibhauseffekt darstellt:

⁹⁵Vgl. Mennerich, I. (2007); Fachseminar Chemie (2010); Georg, J. & Karch, C. (2003); Höttecke, D., Maiseyenko, V., Rethfeld, J. & Mrochen, M. (2009).

⁹⁶ DemoEx GmbH (2010)

⁹⁷ Vgl. Graf, E. (2002), S.7.

Da die von der Erde ausgehende Strahlung mit dem Treibhausgas wechselwirkt, kommt diese nicht mehr vollständig im All an, sondern wird zu einem großen Teil wieder zurück auf die Erde reflektiert (Gegenstrahlung), was dort zu einer Erwärmung der Erdoberfläche und der bodennahen Luft führt. Aufgrund der hohen Anschaulichkeit und der guten Einsetzbarkeit innerhalb der Stationenarbeit entschied ich mich dazu das Modell nachzubauen. Ein kleiner Baumarktstrahler als Lampe, ein Globus mit Metallbeschichtung (ein normaler Globus würde schmelzen), ein Spießbratenmotor zur Drehung der Erde (diese muss sein, um die Strahlung und damit die Wärme, die von der Lampe ausgeht, gleichmäßig zu verteilen), ein geschnittenes Plexiglasrohr und ein Messkopf für Wärmestrahlung mit Zeigerinstrument wurden besorgt. Vier ganze Tage hat es mit einigen Variationen gebraucht, um festzustellen, dass sich die Teile nicht aufeinander abstimmen lassen. Nun wäre es durchaus möglich gewesen an gewissen Fehlerquellen zu arbeiten und diese zu beseitigen, jedoch ging es hier nur um die Vorbereitung einer Station, es galt aber noch vier weitere zu entwickeln, zu erproben und zu didaktisieren. Ein Schulbiologiezentrum in Hannover wirbt damit, das Modell kostenlos auszuleihen. Vor etwa zehn Jahren wurde das Modell von seinen Schweizern Erfindern abgekauft. Aus Gründen der Zeitökonomie entschloss ich mich dazu, das fertige Modell dort auszuleihen. Didaktisch habe ich diese Station mit Hilfe einer zweiseitigen Excel-Datei aufbereitet. Die Datei dient dabei als Versuchsvorschrift, Informationsvermittler (via Abbildungen und kurzen wissenschaftlichen Texten), aber auch als Medium zur Vermittlung von Arbeitsaufträgen sowie dem Erfassen von Ergebnissen. Um die Teilchenebene und die Wechselwirkung zwischen IR-Strahlung und den Treibhausgasen näher zu betrachten, wurden in die Excel-Datei drei ‚Screenshots‘ einer zweiten Animation⁹⁸ eingefügt, die Molekülschwingungen von Treibhausgasen zeigen. Auf ein vertieftes Eingehen in die Thematik der Freiheitsgrade und weiteren physikalisch-chemischen Zusammenhängen habe ich aus Gründen der didaktischen Reduktion verzichtet. Vor allem aus zeitlichen Gründen, habe ich ebenfalls davon abgesehen, die Methode der IR-Spektroskopie an dieser eigentlich sehr sinnvollen Stelle einzuführen. Für die Zeit der Stationenarbeit soll eine Wärmebildkamera zur Verfügung stehen, die alle einzelnen Bereiche des Modells zusätzlich thermografisch darstellt und den Gang der Strahlung ein wenig sichtbar machen soll. Während der Stationenarbeit soll auch ein weiterer Laptop bereit stehen, der im Rahmen der Auswertungsphase den Treibhauseffekt mittels einer gelungenen Animation der University of Colorado dar-

⁹⁸ Institut Dr. Flad (2010).

stellt. Als Alternative zu solchen Modellexperimenten wären auch quantitativere Versuchsaufbauten denkbar, die ein präziseres Erfassen der Absorption mithilfe einer Mollschen Thermosäule ermöglichen. In einer weiteren physikalisch-fachdidaktischen Publikation⁹⁹ wird auch als alternativer Zugang zum Thema vorgeschlagen, ein Bügeleisen (Wärmestrahlung) als IR –Strahlung aussendende Fläche zu nehmen und diese Strahlung zu messen. Dies ist zwar handlich und einfach zu besorgen, aber ein Bügeleisen als Modell für die Erdoberfläche gleichzeitig unanschaulich und irreführend. Die hier dargelegten fünf Stationen machen es solchen „Quasi-Alternativen“ im Unterricht schwer und ergeben aus der gesichteten Literatur meine persönlichen Favoriten unter den Experimenten. Auch aus Gründen einer besseren Anschaulichkeit und um gerade falschen Schülervorstellungen besser begegnen zu können, habe ich mich bewusst gegen eine solch abstrakte Variante entschieden.

Treibhauseffekt II (Schwerpunkt Wasserdampf)

Wasserdampf macht mit ungefähr 62% den Hauptbeitrag von Spurengasen der Atmosphäre zum natürlichen Treibhauseffekt aus. Das ist den meisten Menschen bei allem Fokus auf Kohlendioxid kaum bewusst. Ein Versuchsaufbau mit Infrarotlampe,



Abbildung 8: Überblick über die Station

Wasserkocher und Infrarotthermometer kann bereits zeigen, wie Wasserdampf mit Infrarotstrahlung wechselwirkt. Dabei werden Wasserkocher und Infrarotlampe zueinander in eine Linie gestellt. Ein Fadenkreuz aus Filzstift auf der Lampe sorgt dafür, dass ein Infrarotthermometer die Temperatur an genau einem

Punkt misst. So entstehen unterschiedliche Messwerte der Lampenoberflächentemperatur vor und während der Entstehung von Wasserdampf. Das zugrunde liegende Phänomen ist ebenfalls die Wirkweise des Wasserdampfs als Treibhausgas. Die von der Lampe ausgehende Infrarotstrahlung wird vom Wasserdampf nur noch teilweise durchgelassen. Dieser reflektiert die Wärmestrahlung größtenteils zurück, was zu einem leichten aber messbaren Temperaturanstieg führt. Um Fehler-

⁹⁹ Vgl. Höttecke, D., Maiseyken, V., Rethfeld, J. & Mrochen, M. (2009). Den Treibhauseffekt verstehen. Ein Lernzirkel zur Erarbeitung des komplexen Phänomens „Treibhauseffekt“. S.24-36. In: Müller, W., Müller, A. & Kuhn, J. (2009). Klimawandel. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*. Heft 111/112.

quellen vorzubeugen, muss der Wasserkocher in einem guten Abstand zur Lampe selbst stehen. Ein doppelseitiges Arbeitsblatt dient den Schülerinnen als Informations- und Erarbeitungsgrundlage für diese Station, die ich selbstständig und nur unter Verwendung der Arbeitshilfe des Schulbiologiezentrums Hannover entwickelt habe.

Albedo

Als Albedo bezeichnet man das Verhältnis des Lichtes, das von einem Objekt reflektiert wird, zu dem, welches beim Objekt ankommt und aufgenommen wird.

$$\text{Albedo (Strahlungskoeffizient)} = \frac{\text{Reflektierte Strahlung}}{\text{Einfallende Strahlung}}$$

Die Werte, die diese Albedo annehmen kann, reichen von 0 (kein Licht reflektiert) bis 1 (alles Licht reflektiert). Sie können auch in Prozent ausgedrückt werden. Ein sogenannter schwarzer Körper absorbiert unabhängig vom Spektralbereich der eingehenden Solarstrahlung 100%. Seine Albedo beträgt 0. Im Gegensatz dazu steht eine helle Oberfläche wie Neuschnee mit einer Albedo von bis zu 0,95. Diese Oberfläche reflektiert fast

die gesamte einfallende Strahlung zurück ins All. In der Realität sind es die großen Eis- und Schneeflächen, die mit einer Albedo von circa 0,6 bis 0,95 große Teile der eintreffenden UV-Strahlung reflektieren. Ein oft unterschätzter Rückkopplungsmechanismus ist dabei die ‚Eis-Albedo-Rückkoppelung‘: „Die Zunahme der globalen Temperatur bewirkt ein Abschmelzen der Gletscher, die Albedo nimmt ab. Die



Abbildung 9: Überblick über die Albedo-Station

dadurch verstärkte Sonneneinstrahlung in den hohen Breiten verursacht eine zusätzliche Erwärmung¹⁰⁰. Genau damit sollen sich die Schülerinnen im Rahmen dieser Station beschäftigen. Ein Heizstrahler (300W), ein schwarzes und ein weißes Stück Metall (pulverbeschichtetes Aluminium, Stärke: 2mm), zwei Ober-

flächenthermometer, eine Stoppuhr und ein Laptop stehen dabei zur Verfügung, um die Erwärmung unterschiedlich farbiger Oberflächen zu vergleichen (siehe Abbildung 9). Zur besseren Verortung von Eis- und Schneemassen der Erde liegen zwei

¹⁰⁰ Riedel, E. (2002), S.634.

Atlanten mit bereits aufgeschlagenen Polansichten bereit. Didaktisch reduziert werden dabei unterschiedliche Oberflächenstrukturen (Relief), die auch eine Auswirkung auf die Albedo haben. Für die Station (selbstständig entwickelt) dient wieder eine Excel-Datei als Versuchsvorschrift und Medium der Datenerfassung und Auswertung. Auf diesem Wege werden von den Schülerinnen gemessene Werte über eine Excel-Tabelle automatisch in ein Kurvendiagramm umgewandelt und Ergebnisse oder auch Fehlergebnisse schnell sichtbar.

Kohlenstoffkreislauf

Im weitesten Sinne geht es im Rahmen dieser Station um die Wechselwirkung zwischen Atmosphäre und Hydrosphäre. Mit Wechselwirkung ist in diesem Kontext vor allem der Austausch von Kohlendioxid zwischen unserer Lufthülle und den Weltmeeren gemeint, was sich als ein chemisches Gleichgewicht darstellen lässt. Da dieses Experiment im Sinne von Kapitel „6.3. Vierte Stunde“ genauer betrachtet wird, möchte ich an dieser Stelle nicht weiter darauf eingehen.

Meeresspiegelanstieg

Der Meeresspiegel ist im letzten Jahrhundert um 15cm angestiegen. Bis zum Ende dieses Jahrhunderts ist ein Anstieg von 9cm bis maximal 88cm zu erwarten. Die Eismassen gehen dabei in vielen Bereichen der Erde zurück.¹⁰¹ Ob schwimmende Eismassen, wie große Teile der Arktis, einen Beitrag zu diesem Meeresspiegelanstieg leisten, sollen die Ergebnisse an dieser Station hervorbringen. Dazu wird nur ein Becherglas mit Wasser und Eiswürfeln benötigt. Da der Versuch rein qualitativ ist, reicht ein Arbeitsblatt aus, um Hintergrundinformationen zu liefern, anhand derer wichtige Ergebnisse festgehalten werden sollen. Gerade bei Hypothesenbildungsphasen liefert dieser einfache Handversuch verblüffende Ergebnisse. Nachdem sich eine Gruppe des Versuchs angenommen hat, kann sich diese, um beim Schmelzen des Eises keinen Leerlauf zu haben, nach kurzer Zeit einer weiteren Station widmen.

Allgemeines zur Stationenarbeit

Im Rahmen dieser soll ein ‚Präsentationstisch‘ bereitgestellt werden, der alle denkbaren Präsentationsmaterialien wie Folien & Folienstifte, Wandplakate (Magic Folie) und non-permanente Stifte sowie farbige Kreide bereitstellt und den Schülerinnen hilft ihre Ergebnisse anschaulich mit den Medien ihrer Wahl zu präsentieren. Die Reihenfolge der Stationenbesetzung ist dabei egal. Bei sieben Schülerinnen eignen

¹⁰¹ Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (2010).

sich zwei Zweier- und eine Dreiergruppe. Es ist dabei zu erwarten, dass von jeder Schülerin etwa zwei Stationen bearbeitet werden können. Zu Überschneidungen kann es wahrscheinlich nicht kommen, da bei drei Gruppen insgesamt fünf Stationen zur Verfügung stehen. Sollten mehrere Gruppen mit dem etwas attraktiveren Treibhauseffekt-Modell beginnen wollen, kann über einen Würfel bestimmt werden, welche sich dieser Station als erste annehmen darf. Um die Stationen zu kennzeichnen, habe ich Schilder gedruckt, die nicht den Inhalt der Station (z.B. „Treibhauseffekt“) zeigen, sondern eine lohnende Fragestellung aufwerfen, die es zu ergründen gilt¹⁰². Zusätzlich ist beim Anschließen¹⁰³ der vielen Geräte am alten Leitungssystem unserer Schule darauf zu achten, dass der Stromkreis nicht überlastet wird.

Exkursion zum MPI

Methangehalt in Luft & gaschromatographische Untersuchung verschiedener Gase¹⁰³

Der praktische Teil beginnt mit einer Einführung in die Gaschromatographie. Dies geschieht anhand eines Low-Cost-Gaschromatographen. Durch seine einfache Konstruktion eignet er sich gut für die Erläuterung des chromatographischen Messprinzips. Die Schülerinnen sollen dabei auch ihre ersten Messungen durchführen. Nach der Kalibrierung mit Hilfe von Reingas-Proben wird Feuerzeuggas qualitativ analysiert, dabei wird darauf geachtet, dass jede Schülerin in sämtlichen Projektschritten selbst zum Experimentieren kommt. Danach soll den Schülerinnen der Ablauf von Feldmessungen erläutert werden. Auf dem Dach des Instituts wird eine Probengasflasche mit einem Kompressor befüllt, um später im Labor den Methangehalt in der Mainzer Luft zu bestimmen. Ein weiteres Prinzip von Probenbeuteln mit Atemluft der Schülerinnen soll ausprobiert werden, um dann auch im großen Gaschromatographen eines Forschungslabors analysiert zu werden. Weiter analysieren die Schüler Luftproben, die während wissenschaftlicher Messkampagnen in der Antarktis genommen wurden. Die Probe aus der Antarktis wird aus Eisbohrkernen (Firn) extrahiert. Die Bohrkerne enthalten dabei Luft, die in der Vergangenheit im Eis eingeschlossen und konserviert wurde. Das Alter der eingeschlossenen Luft hängt von der Tiefe des Eissegments ab und bietet eine Möglichkeit, heute Messungen an der Luft vergangener Jahrzehnte durchzuführen. Abschließend werden die Daten von den Schülerinnen selbstständig ausgewertet. In der folgenden Diskussion werden diese Ergebnisse dann unter den Gruppen verglichen und interpretiert. Die Ergebnisse der antarktischen Probe sollten deutlich

¹⁰² Siehe Anhang, S. 111.

¹⁰³ Siehe PDF „Schülerprojekt Methangas (kurz)“ im Ordner „MPI Mainz“ (CD-Anhang).

zeigen, wie die Methankonzentration über die letzten Jahrzehnte angestiegen ist. Die verschiedenen Methanquellen werden anschließend besprochen, darunter auch eine der Hauptquellen, nämlich die Verdauung von Pflanzen in den Mägen von Wiederkäuern.

Ozonversuch

Dass man in der Abteilung für Atmosphärenchemie nicht an der Ozonchemie vorbeikommt, hat man vor allem einem Menschen zu verdanken: Prof. Dr. Paul J. Crutzen. Der Wissenschaftler und ehemalige Leiter des Mainzer Instituts hatte zusammen mit Mario Molina und Sherwood Rowland 1995 den Nobelpreis in Chemie für seine wertvollen Forschungen im Bereich der Ozonchemie erhalten, die dazu beitrug, die Bildung des stratosphärischen Ozonlochs zu verstehen, das sich jährlich im südlichen Frühjahr über der Antarktis bildet. Dementsprechend gut vorbereitet und ausgestattet wird Dr. Uhrek den ‚Ozonversuch‘¹⁰⁴ durchführen. Dabei sollen unsichtbare, pflanzliche Duftstoffe durch eine Reaktion mit dem durch eine UV-Lampe hergestellten Treibhausgas Ozon über eine einsetzende ‚Dunstabildung‘ für uns sichtbar werden, da sie sich zu schwerflüchtigen Stoffen umwandeln, die Partikel in der Luft erzeugen. Da es sich hierbei, anders als bei Crutzens Ozonchemie, um bodennahes Ozon handelt, bieten sich gute Bezüge zur Lebenswelt der Schülerinnen an. So sollten ihnen Begriffe wie „Ozonalarm“ oder „Sommermog“ klarer werden. Ebenfalls wird über den Versuch deutlich, weshalb die australischen Blue Mountains mit der Farbe Blau überhaupt in Verbindung gebracht werden.¹⁰⁵

Verbrennung von Kohlenwasserstoffverbindungen

Die Verbrennung von Kohlenwasserstoffen durch die Industrie, vor allem aber auch durch den konsumierenden Menschen (Strom, Verkehr, Urlaubsreisen, Gütertransport, etc.) soll über ein Experiment verdeutlicht werden. Da wie beschrieben Inhalte der organischen Chemie noch nicht behandelt wurden, gerade aber die Verbrennungsprodukte organischer Verbindungen die entscheidenden sind, muss bei einer grundlegenden Einführung in die homologe Reihe der Alkane (zunächst Methan – n-Butan) vorher der Frage nachgegangen werden, woher das ganze ‚Mehr‘ an Kohlendioxid eigentlich stammt? Mittels eines klassischen Versuchsaufbaus soll diese Frage beantwortet werden. Dabei wird das Gas eines Kartuschenbrenners (Propan/Butangasgemisch) dazu genutzt, um die Verbrennung einer gasförmigen

¹⁰⁴ Eine Filmdatei im CD-Anhang zeigt den Versuch. Ordner: MPI Mainz (Ozonversuch)

¹⁰⁵ Reaktion zwischen Pflanzenstoffen - hauptsächlich vom Eukalyptus - und Ozon.

Kohlenwasserstoffverbindung exemplarisch zu zeigen. Gleichzeitig lassen sich Nachweisreaktionen für Wasser, mittels wasserfreiem Cobaltchloridpapier, und Kohlendioxid, mittels Kalkwasser, durchführen. Diese sind bei den Schülerinnen bereits bekannt und erleichtern das Aufstellen der Reaktionsgleichungen. Zusätzlich werde ich weitere Kohlenwasserstoffverbindungen zur Hand haben, um auch die Verbrennung von flüssigen Alkanen demonstrieren zu können. Dabei eignet sich besonders Heptan, da es rußfrei verbrennt und im Gegensatz zu Hexan gesundheitlich unbedenklich ist.¹⁰⁶ Damit stellt genau dieser Versuch den letzten geplanten in der hier vorliegenden Unterrichtsreihe dar. Es wäre möglich gewesen, einen weiteren Versuch im Rahmen der Ozonchemie anzubringen. Denkbar wäre hier vor allem eine Analogie zur Radikalreaktion zwischen CFKWs und Ozon. Die Bromierung von Benzol, oder besser Toluol¹⁰⁷, ist in diesem Kontext interessant. Schlussendlich halte ich diese jedoch aus zeitökonomischen Gründen für kaum machbar und zudem für wenig zielführend. Da die Organische Chemie auch im Anschluss an diese Reihe vorerst nicht weiter thematisiert wird, ist ein weiterer Grund für eine solche Analogiebildung nicht vorhanden, was mich dazu bewegt, diese wichtigen Inhalte der Atmosphärenchemie theoretisch zu behandeln.

4.6. Lernziele der Unterrichtsreihe

Kognitive Groblernziele:

Die Schülerinnen sollen...

...anhand ausgewählter Materialien Auswirkungen und globale Folgen (Meeresspiegelanstieg, mehr Extremwetterereignisse, Überschwemmungen, Wüstenausdehnung, Auftauen von Permafrostgebieten), die von einem Anstieg der globalen Erdtemperatur ausgehen, **einschätzen**.

...den Aufbau der Atmosphäre **beschreiben** und die unterschiedliche Temperaturverteilung in der Atmosphäre **erklären**.

...die chemische Zusammensetzung der heutigen Atmosphäre **beschreiben** können und dabei anhand von Diagrammen **feststellen**, dass nicht nur Kohlendioxid sondern auch Wasserdampf, Methan und Ozon als Treibhausgase wirken.

...mithilfe eines Experiments **herausarbeiten**, dass nicht alle schmelzenden Schnee- und Eismassen einen Beitrag zum Meeresspiegelanstieg leisten und dabei **fest-**

¹⁰⁶ Sitzung im Fachseminar Chemie, Hinweis von Herrn M. Gewehr & Gefahrstoffverordnung (KMK, 2003), S.28.

¹⁰⁷ Gefahrstoffverordnung (KMK, 2003), S.8 & 54.

- stellen**, dass ein Abschmelzen des Eises im Nordpolarmeer keinen wesentlichen Beitrag dazu leistet.
- ...anhand eines Experiments und ausgesuchten Begleitmaterialien **herausarbeiten**, dass Wasserdampf einen wesentlichen Beitrag zum Treibhauseffekt leistet.
- ...anhand eines computergestützten Experiments **feststellen**, dass unterschiedlich farbige Flächen mit energiereicher UV-Strahlung unterschiedlich intensiv wechselwirken.
- ...dabei den Begriff der Albedo **definieren**, das Modell in die Realität (helle Eis- und Schneeflächen im Vergleich zu dunkleren Landmassen) **übertragen** und damit die sogenannte Eis-Albedo-Rückkopplung **formulieren** und **erklären**.
- ...mittels verschiedener Modelle und einer dynamischen Computer-Animation den natürlichen Treibhauseffekt bis in die Teilchenebene **verstehen** und wesentliche Aspekte der Modelle dabei in die Realität **übertragen**.
- ...das Prinzip von Le Chatelier (v.a. bei Temperaturänderung) auf die Löslichkeit von Kohlendioxid in Wasser **übertragen** und mithilfe dieses Experiments **feststellen**, dass die Weltmeere wichtige und temperaturabhängige CO₂-Senken sind.
- ...**herausarbeiten**, wie der Gasaustausch zwischen Atmo- und Hydrosphäre funktioniert und geeignete Reaktionsschemata und Reaktionsgleichungen **aufstellen**.
- ...auf der Grundlage des neu erlernten Wissens über wesentliche Inhalte der Klimaerwärmung auch außerhalb der Schule **diskutieren**.

Methodische Groblernziele:

Die Schülerinnen ...

- ...**üben sich** über verschiedenste Schülerexperimente im Unterricht und am Max Planck Institut **im Experimentieren**.
- ...**demonstrieren** in mehrfachen Experimenten die korrekte Handhabung mit dem Gaschromatographen und **werten** aus diesen resultierende Ergebnisse korrekt **aus**.
- ...**wenden** verschiedene Rechartechniken **an** und **stellen** wesentliche Unterrichtsergebnisse und Ergebnisse aus Hausaufgaben in Form von ansprechenden Präsentationen **zusammen**.

Affektive Groblernziele:

Die Schülerinnen sollen...

- ...**feststellen**, dass neben der Industrie vor allem die Privathaushalte in der Summe einen enormen direkten und indirekten Ausstoß von Treibhausgasen verursachen.
- ...**feststellen**, dass sie als junge Autofahrerinnen und Konsumenten einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf das Geschehen in der Atmosphäre haben, der sinnvollerweise überdenkbar und optimierbar ist.
- ...**feststellen**, dass nur eine nachhaltigere Lebensweise, vor dem Hintergrund einer schnell anwachsenden Weltbevölkerung, die Lösung sein kann, um den vor allem von den Industriestaaten verursachten anthropogenen Treibhauseffekt nicht zum Problem für die Menschen in den Entwicklungsländern zu machen.
- ...in Unterrichtsgesprächen und Diskussionen Optimierungsmöglichkeiten für eine klimagerechtere Lebensweise **nennen**, die sie auch im Alltag bereit sind umzusetzen.¹⁰⁸

Fächerübergreifende Lernziele:

Die Schülerinnen sollen...

- ...Atlanten und weitere geographische Medien die räumlich-geographisches Wissen transportieren **zum Einsatz bringen**, um fachspezifische Inhalte mit diesen gedanklich zu vernetzen.
- ...mithilfe eines motivierenden Popsongs dessen Inhalte **analysieren, interpretieren** und herausgearbeitete Inhalte auf fachspezifische Inhalte **übertragen**.
- ...grundlegende physikalische/ erdwissenschaftliche Aspekte des Strahlungshaushalts der Erde **erklären**.
- ...im Umgang mit Fachinhalten auch niveauvolle, englischsprachige Texte und Abbildungen **benutzen** und sich somit auch in der internationalen Wissenschaftssprache üben.

¹⁰⁸ An dieser Stelle werden auch soziale und methodische Inhalte realisiert.

5. Lernziele und geplanter Verlauf der Unterrichtsstunden

Erste Stunde: Atmosphärenaufbau und chemische Zusammensetzung

Lernziele: Die Schülerinnen sollen...

- ...einen Songtext (Jack Johnson, ‚All at once‘) **analysieren**, wesentliche Inhalte (Erderwärmung/ungenauere Aussagen) in Partnerarbeit **herausarbeiten** und diesen mit Bezug zum Chemieunterricht kritisch **interpretieren**.
- ...die unterschiedliche Schichtung der Atmosphäre **herausarbeiten** und dabei **feststellen**, dass die Troposphäre („Wetterschicht“, ~0-10km) und die Stratosphäre (Ort der Ozonschicht, ~10-50km) die für diese Unterrichtsreihe relevanten Schichten darstellen.
- ...ein Modell der Erde und ihrer hauchdünnen Atmosphäre (Maßstab 1:10⁷) auf eine Zwiebel **übertragen**.
- ...anhand von Bildern **feststellen**, dass eine Erderwärmung globale Auswirkungen haben kann.
- ...die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre **beschreiben** und deren Hauptgase und verschiedene treibhauswirksame Spurengase sowie deren Einheiten (ppm/ ppb) **nennen** können.
- ...die Textpassage „there’s gonna be the new hell, some say“ hinsichtlich der Gefahren für den Menschen **einschätzen**.

Geplanter Unterrichtsverlauf

U.-Schritt	U.-Inhalte, Begriffe	Medien	U.-Form
Einstieg	Jack Johnson Song (All at once) → Motivation (Einstieg in die Reihe)	CD „Sleep through the static“, CD-Spieler, Arbeitsblatt 1 (Songtext)	Stummimpuls
Problematisierung	<u>Was meint Johnson mit der Passage:</u> <i>„Around the sun, some say, there’s gonna be the new hell, some say, it’s still too early to tell some say, it really ain’t no myth at all.“?</i>	Songtext Tafel	LG
Hypothesenbildung	- Sonne als Gefahrenquelle - Änderung der Erdumlaufbahn - Sonnenexplosionen - Erderwärmung/ Klimawandel - Klimakritiker , etc.	Tafel Farbige Kreide	UG LG/UG
Hinführung	<i>Was für Material müsste man betrachten?</i>		
Erarbeitung	<u>Klimawandel – ein globales Problem!?</u> - Temperaturanstieg - Wetterextreme - Verwüstung	Arbeitsblatt 2&3, Foliensatz/ OHP Arbeitsblatt 4&5,	GA (arbeits- teilig) 2 x 2 1 x 3

	<u>Aufbau der Atmosphäre</u> - Benennung der Sphären - Temperaturverteilung - Höhenverhältnisse - Vergleich mit Zwiebel (Modell) - Chemische Zusammensetzung der Atmosphäre	Foliensatz/ OHP, Zwiebel	
Sicherung	Präsentationen s.o. Hypothesenrückbezug	Folien/ OHP, Tafel, Zwiebel	SV: 2 Präsentationsgruppen/ 1 Kontrollgruppe
HA	Treibhausgase Steckbrief, Recherche zu "Geosphären"	Schulbuch, Internet	EA

Zweite und dritte Stunde: Stationenarbeit¹⁰⁹ zum natürlichen Treibhauseffekt

Lernziele: Die Schülerinnen sollen...

...mithilfe von Station 1 herausarbeiten, dass nicht alle schmelzenden Eismassen einen Beitrag zum Meeresspiegelanstieg leisten und dabei **feststellen**, dass ein Abschmelzen des Eises im Nordpolarmeer keinen wesentlichen Beitrag dazu leistet.

...anhand der computergestützten Station 2 feststellen, dass unterschiedlich farbige Flächen mit energiereicher UV-Strahlung unterschiedlich intensiv wechselwirken (stärkere Erwärmung dunkler Flächen/ mehr Reflektion und damit weniger starke Erwärmung heller Flächen).

...den Begriff der Albedo **definieren**, das Modell in die Realität (helle Eis- und Schneeflächen im Vergleich zu dunkleren Landmassen) **übertragen** und damit die sogenannte Eis-Albedo-Rückkopplung **formulieren**.

...das Prinzip von Le Chatelier (v.a. bei Temperaturänderung) auf die Löslichkeit von Kohlendioxid in Wasser **übertragen** und mithilfe von Station 3 feststellen, dass die Weltmeere wichtige und vor allem temperatursensible CO₂-Senken sind.

...**herausarbeiten**, wie der Gasaustausch zwischen Atmo- und Hydrosphäre funktioniert und geeignete Reaktionsschemata und Reaktionsgleichungen **aufstellen**.

...in diesem Kontext die Aussage des Alfred Wegener Instituts, dass die Ozeane nachweislich immer stärker versauern, ökologisch **einschätzen** (Gefährdete Kalkbildung → Gefahr für kleinste Schalentiere [Teile des Phytoplanktons] →

¹⁰⁹ Siehe CD-Anhang (Ordner: Stationenarbeit) für eine genaue Auflistung aller Materialien, Geräte und Chemikalien.

Nahrungskette; Korallenriffe) und chemisch gesehen, zu diesem Prozess dazugehörige Reaktionsgleichungen **formulieren**.

...mittels eines beweglichen Modells (Station 4) und einer dynamischen Computer-Animation den natürlichen Treibhauseffekt bis in die Teilchenebene **verstehen** und wesentliche Aspekte dieses Modells dabei in die Realität **übertragen**.

...anhand von Station 5 und den dazugehörigen Arbeitsblättern **herausarbeiten**, dass Wasserdampf¹¹⁰, bei einem geringeren Treibhauspotential, auch einen wesentlichen Beitrag zum Treibhauseffekt leistet.

Geplanter Unterrichtsverlauf

U.-Schritt	U.-Inhalte, Begriffe	Medien	U.-Form
Einstieg	<ul style="list-style-type: none"> - Organisatorisches - Vergabe von Patenschaften für die Stationen (Gruppeneinteilung) - Instruktionklarheit 	Tafel	LV/LG
Problematik-sierungen 1-5	Leitfragen: Trägt das Abschmelzen des Polareises zum Anstieg des Meeresspiegels bei?	Station 1: Meeresspiegelanstieg	
	Gibt es einen Unterschied bei der Bestrahlung verschiedener Erdoberflächen?	Station 2: Albedo	
	Lässt sich ein großes Volumen an Kohlendioxid in den Ozeanen lösen?	Station 3: Kohlenstoffkreislauf	
	Wie funktioniert der natürliche Treibhauseffekt chemisch betrachtet?	Station 4: Natürlicher Treibhauseffekt (CO ₂)	
	Wie funktioniert der natürliche Treibhauseffekt chemisch betrachtet?	Station 5: Natürlicher Treibhauseffekt (H ₂ O _(g))	
Erarbeitung	Stationen, s.o.	Stationen 1-5, Präsentationsmaterial	GA [80 Min]: 2x2,1x3
Sicherung	Die Schülerinnen stellen ihre Leitfragen vor, erklären sich gegenseitig ihre Stationen und präsentieren/ diskutieren ihre Ergebnisse. [Lehrer moderiert]	Magic-Wandfolie A1 OHF/ OHP Tafel	SV/ UG [20 Min]
HA	Autofahren und CO ₂ (Dein Schulweg) Recherche: www.atmosfair.de Berechnung des Fußabdrucks Deiner letzten oder nächsten Flugreise.	Arbeitsblatt zum individuellen CO ₂ -Fußabdruck & VCI-Heft, Artikel S. 15.	EA

¹¹⁰ In der Umgangssprache versteht man unter ‚Wasserdampf‘ meist die sichtbaren Dampfschwaden von teilweise bereits kondensierendem Wasserdampf, wie er auch als Nebel oder in Wolken vorkommt und dabei eigentlich eine bereits flüssige Form von Wasser in Form kleinster Tröpfchen darstellt. Im technisch-naturwissenschaftlichen Kontext ist Wasserdampf gasförmiges Wasser, das in diesem Aggregatzustand unsichtbar ist und worauf im Unterricht hingewiesen werden muss, um besser möglichen Missverständnissen vorzubeugen.

Vierte Stunde: Anthropogener Treibhauseffekt

Lernziele: Die Schülerinnen sollen...

- ...wesentliche, treibhausgaspezifische Informationen die im Rahmen der Exkursion vermittelt wurden, **wiederholen** und dabei Hauptemissionsquellen **nennen**.
- ...ein Experiment zur Bestimmung der Verbrennungsprodukte von Kohlenwasserstoffverbindungen (Butangas/ Heptan) sowie zur Überprüfung möglicher Reaktionsprodukte mit ausliegenden Geräten und Chemikalien eigenständig **planen**.
- ...experimentell **feststellen**, dass die untersuchten Kohlenwasserstoffverbindungen zu Wasser und dem Treibhausgas Kohlendioxid verbrennen.
- ...anhand ausgewählter Materialien und der vorbereiteten Hausaufgabe **feststellen**, dass nicht nur die Industrie, sondern vor allem auch die Privathaushalte (in allen Bereichen der Grunddaseinsfunktionen) für den verstärkten Treibhauseffekt mitverantwortlich sind.
- ...mithilfe der vertiefenden Hausaufgabe die homologe Reihe der ersten vier Alkane¹¹¹ (inkl. Konstitutionsformel, Summenformel, Siedetemperatur und Aggregatzustände) **verstehen** und ihre bereits erworbenen Kenntnisse zu Methan (MPI) und Butan in eine Tabelle **übertragen**.
- ...dabei **feststellen**, dass Kohlenwasserstoffverbindungen im Allgemeinen zu Wasser und Kohlendioxid verbrennen.
- ...mithilfe einer weiteren Hausaufgabe (Zusatzarbeitsblatt) Verbesserungsmöglichkeiten zur Reduzierung des eigenen CO₂-Fußabdrucks **entdecken/formulieren**.

Geplanter Unterrichtsverlauf

U.-Schritt	U.-Inhalte, Begriffe	Medien	U.-Form
Einstieg	<u>Leitfrage:</u> Woher stammen die Treibhausgase überhaupt? Emissionsquellen für Treibhausgase (Wiederholung von MPI-Inhalten)	PC/Beamer/PPT-Folien <u>Realien:</u> - Braun-/Steinkohle - Benzin - Butangas	UG
Problematisierung	Zu welchen Produkten verbrennen fossile Energieträger? Wie können wir das überprüfen? Plant dazu ein Experiment!	Tafel Farbige Kreide	LG

¹¹¹Hier könnte die Fachlehrerin dann bei der Einführung in die Organische Chemie und deren funktionellen Gruppen später inhaltlich anknüpfen.

Hypothesenbildung	<ul style="list-style-type: none"> - Kohlenstoff/ Ruß - Wasser - Verschiedene Gase - Kohlendioxid und Wasser Überprüfung: Kerzenversuch, (...) → Kalkwasser und Cobaltchlorid-Papier		UG
Erarbeitung	<u>Planung: Erarbeitendes Experiment</u> <ul style="list-style-type: none"> - Die Verbrennung von Butangas - Nachweisreaktionen <u>Durchführung</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Arbeitsblatt 1 - Geräte & Chemikalien mit denen die Schüler Versuche planen 	LG/UG LDV
Sicherung	<ul style="list-style-type: none"> - Beobachtung - Wortgleichung - Reaktionsgleichung - Erklärung 	Arbeitsblatt 1 Tafel	PA SV
Vertiefung	<u>Auswertung und Betrachtung von M1</u> <ul style="list-style-type: none"> - Drastische Zunahme des weltweiten CO₂-Anstiegs - Treibhauspotential von CO₂ im Vergleich zu anderen Treibhausgasen 	M1 & M3 (Arbeitsblatt 2)	SV
Problematisierung 2	Die Industrie muss häufig als Sündenbock des Klimawandels herhalten. Beurteile, ob dies gerechtfertigt ist?		LV
Erarbeitung 2/ Sicherung 2	<u>Privathaushalte</u> sind maßgeblich am anthropogenen Treibhauseffekt beteiligt.	Einbindung der vorbereiteten Hausaufgabe (VCI - Heft, S.15) und individueller CO ₂ -Fußabdruck	UG/LG
Vertiefende Hausaufgabe	<ol style="list-style-type: none"> 1. Vervollständige die Tabelle zu den ersten vier Alkanen. 2. Formuliere die allgemeine Summenformel der Alkane. 3. Welche Kräfte sind für die Veränderung der Siedetemperatur innerhalb der homologen Reihe der Alkane verantwortlich? 	Arbeitsblatt 1 (2. Teil) & Zusatzarbeitsblatt (M1-M5) → Vorschläge die eigene CO ₂ -Bilanz zu verbessern → Vorbereitung auf MPI-Besuch: Recherche und Kurzvorträge zu <ul style="list-style-type: none"> - Nobelpreis - Max Planck & MPIs - Paul J. Crutzen 	EA PA

Fünfte Stunde & Sechste Stunde: Troposphärisches & Stratosphärisches Ozon

Lernziele: Die Schülerinnen sollen...

...die unterschiedlichen Gefahrenpotentiale für den Menschen von einer erhöhten Menge bodennahem Ozon (Wiederholung von Inhalten die im MPI präsentiert wurden) und einer sinkenden Ozonkonzentration in der Stratosphäre **einschätzen** können.

...über ein ‚Mechanismus-Puzzle‘ den Chapman-Zyklus **verstehen** und, ausgehend von vier Kärtchen (Teilchen dargestellt im Kugelmodell) und dazugehörigen Text

- karten, vier geeignete Reaktionsgleichungen **formulieren**.
- ...mithilfe eines Comics (vorbereitende HA) ChlorFluorKohlenWasserstoffe **definieren** und deren zerstörerischen Einfluss auf die stratosphärische Ozonschicht **erklären**.
- ...den Mechanismus der Photolyse eines CFKW-Moleküls verbunden mit der Störung des natürlichen Ozon-Kreislaufs durch die freigesetzten, hochreaktiven Chlorradikale **erklären** und in geeigneten Reaktionsgleichungen **formulieren**.
- ...genau diesen radikalischen Mechanismus in der Teilchenebene mithilfe von Zuordnungskarten auf Mitschülerinnen **übertragen** und ihn auf diese Weise bildhaft **darstellen** („chemisches Rollenspiel“).
- ...die Relevanz einer ausgedünnten Ozonschicht für ihren Alltag (hohes Hautkrebsrisiko in südhemisphärischen Gebieten), aber auch für die Biosphäre (v.a. für das Phytoplankton) **verstehen**.
- [...innerhalb der Hausaufgabe das 1987 eingeführte FCKW-Verbot als ‚Erfolgsstory‘ **verstehen**.
- ...spätestens über die Hausaufgabe **feststellen**, dass das Ozonloch nicht der Grund für die Erderwärmung ist und somit die über die Online-Befragung gemachten Falschaussagen revidieren.]

Geplanter Unterrichtsverlauf

U.-Schritt	U.-Inhalte, Begriffe	Medien	U.-Form
Einstieg	Ozon - unten zu viel und oben zu wenig! Ozon - Fluch und Segen. (Brainstorming)	Schulbuch, S.392	LG
Problematisierung 1	<i>Was haben diese Aussagen zu bedeuten?</i>		
Hypothesenbildung 1	(...) - Zu hohe Konzentration am Boden (Troposphärisches Ozon) - Zu geringe Konzentration in der Höhe (Stratosphärisches Ozon/ Ozonloch)	Tafel	SV
Erarbeitung 1	- Atmosphärische Ozonverteilung - Wirkweise von stratosphärischem Ozon - Wirkweise von troposphärischem Ozon	Arbeitsblatt 1	PA
Sicherung 1	- Zu hohe Konzentration am Boden, vor allem im Sommer → Ozonalarm → Gesundheitsgefährdung → Rückbezug auf MPI und Ozonversuch - Zu geringe Konzentration in der Stratosphäre → Dort wirkt Ozon schützend indem es für uns gefährliche UV-Strahlung heraus filtert („Sonnenbrille der Atmosphäre“) - Hypothesenrückbezug	Arbeitsblatt 1	SV/ UG

Problematisierung 2 Hypothesenbildung 2	Wie bildet sich stratosphärisches Ozon überhaupt? (...), aus Sauerstoff, aus Reaktionen verschiedener, atmosphärischer Gase	Arbeitsblatt 1 (2. Teil) Tafel	LV
Erarbeitung 2 Sicherung 2	<u>Chapman-Zyklus</u> Photochemischer Auf- und Abbau von Ozon (Radikalreaktion) s.o.	Ausgeschnittenes Mechanismus-Puzzle OHP/ Folienschnipsel, Tafelbild 1	PA [10 Min] SV
Kleine Pause	Ende 1. Stunde		
Einstieg	Störung im Ozonhaushalt	Comic, Folien/OHP	LG
Problematisierung 1	Was sind CFCs und wie schaffen es diese die uns schützende Ozonschicht abzubauen?	Folie „that’s chlorine eating ozone molecules“	LG
Hypothesenbildung 1	- Chlorfluorkohlenwasserstoffe - Teile von CFKW (Chlor-) bauen Ozon ab, etc.	Einbindung der Hausaufgabe, Tafel & farbige Kr.	UG/ LG
Erarbeitung 1	<u>CFKW-bedingter Abbau der Ozonschicht</u> - Photolyse von CFKW-Verbindungen - Bereitstellung hochreaktiver Radikale - Radikalische Kettenreaktion	Arbeitsblatt 2	PA [5-10Min]
Sicherung 1	s.o.	Tafelbild 2 (ganze Tafel), farbige Kreide	SV/ LV
Problematisierung 2	Wie könnte man eine solche Reaktion mit Menschen als Teilchen nachspielen?	Tafel	LG
Hypothesenbildung 2	- X Menschen für X Atome - Arme als Bindungen, etc.		UG
Erarbeitung 2/ Sicherung 2	<u>Chemisches Rollenspiel</u> - Nachstellen des Mechanismus mit Schülerinnen (Besucher) - Überprüfung auf Korrektheit durch andere Schülerinnen (Chemie LK)	Schilder, acht Schülerinnen aus dem LK Geschichte zu Besuch im LK Chemie	GA, Rollenspiel
Vertiefende Hausaufgabe	- CFKW (damals FCKW) – Verbot 1987: → Eine umweltpolitische Erfolgsstory! - Der Treibhauseffekt und das Ozonloch → Welche Korrelationen gibt es? → Rückbezug auf Online-Befragung	Arbeitsblatt 2 & Schulbuch, S. 393 (Paul Crutzen) nachlesen	EA

6. Durchführung und Kurzreflexion der Unterrichtsstunden¹¹²

6.1. Erste Stunde: Atmosphärenaufbau und chemische Zusammensetzung

Im Gesamten lief die Stunde wie geplant. Der ungewöhnliche Einstieg diente hauptsächlich der Themenfindung, konnte aber durch die Nähe zur Lebenswelt der Schülerinnen Interesse für das Reihenthema und damit auch Motivation für die

¹¹² Innerhalb dieses Kapitels lege ich besonderen Wert darauf, die logische inhaltliche und methodische Verknüpfung zwischen den Einzelstunden darzustellen.

folgenden Stunden wecken. Reflektiert würde ich diese Einstiegsvariante als gelungen erachten und auch mit Blick auf die folgenden Stunden noch einmal so durchführen.

Um möglicher Kritik an einer globalen Erderwärmung flexibel begegnen zu können, hatte ich von Beginn der Reihe an Aussagen von prominenten Klimaskeptikern auf Folie dabei, um sie bei Bedarf aufzulegen und zur Diskussion zu stellen. An dieser Stelle kam aber noch kein Einwand von den Schülerinnen, weshalb ich mir dieses Medium für einen späteren Zeitpunkt aufhob.

Diese Stunde hat mir außerdem die zuvor positiv beobachtete Arbeitshaltung der Schülerinnen bestätigt. Dies äußerte sich in schnellem Erfassen und Umsetzen von Arbeitsaufträgen, ergebnisreichen Diskussionen und Unterrichtsgesprächen sowie in selbstbewussten und qualitativ hochwertigen Präsentationen.

6.2. Zweite & dritte Stunde: Stationenarbeit zum natürlichen Treibhauseffekt

Station 1: Meeresspiegelanstieg

Die Station wurde von den Schülerinnen besetzt und die Arbeitsaufträge ohne Rückfragen durchgeführt. Da bei dieser im Vergleich eher weniger umfangreichen Station das Eis circa 30 Minuten braucht bis es geschmolzen ist, wurden die Schülerinnen gebeten eine weitere Station zu besetzen. Damit hatten diese die Aufgabe, am Ende der Doppelstunde gleich zwei Stationen und deren Aufgaben zu präsentieren. Die Leitfrage dieser Station „*Trägt das Abschmelzen des Polareises zum Anstieg des Meeresspiegels bei?*“ wurde im Rahmen einer von den Schülerinnen vorgenommenen Hypothesenbildung zuerst mit „Nein“ beantwortet. Das Experiment führte sie dann zu folgendem verschriftlichtem Ergebnis „Das Eis nimmt genauso viel Volumen ein wie das Schmelzwasser“ deshalb „kein Überlaufen des Wassers, wie erwartet“. Das Experiment hat zwar funktioniert, aber die Rückschlüsse, die beide Schülerinnen in einer anschaulichen Präsentation via selbstgestalteter Overheadfolie zogen, waren zu pauschal. Vermutlich haben sie den Atlanten und die zwei beiliegenden Arbeitsblätter nicht ausreichend studiert, sonst hätten sie feststellen können, dass nur das schwimmende Eis des Nordpolarmeeres beim Abschmelzen keinen Beitrag zum Meeresspiegelanstieg leistet, das Eis über Landmassen aber sehr wohl. Deshalb musste ich am Ende der Schülerpräsentation diesen Punkt im Lehrgespräch klären. Die Schülerinnen haben daraufhin den Sachverhalt im Atlas nachvollzogen und in der nächsten Stunde ein um diesen Inhalt erweitertes, zweiseitiges Handout für alle mitgebracht, weshalb ich das Lernziel als erreicht sehe und der Lehrervortrag hier zu einem positiven Lerneffekt geführt hat.

Station 2: Albedo

Diese Station wurde von zwei Gruppen nacheinander besetzt. Die erste Gruppe hatte mit Station 3 begonnen, die aber leider aufgrund eines nicht dichten Spritzenverbindungsstücks ausfiel. Nachdem die Lerngruppe mit mir zusammen versucht hatte das Plastikstück mit verschiedenen Materialien wieder abzudichten und den Versuch mehrmals neu startete, kamen die zwei Schülerinnen etwas frustriert an der Station an und bauten alles zur digitalen Erfassung einer Messreihe auf. Nach etwa fünfzehn Minuten kam eine der Schülerinnen und sagte, dass sie den Unterschied bei der Bestrahlung verschiedener Erdoberflächen herausgefunden haben, aber vom Ergebnis verblüfft sind, da sie ein genau anderes erwarten hatten. Ihrer Messreihe nach erhitze sich die weiße Aluminiumkarte wesentlich stärker als die schwarze. Die Verblüffung zeigte mir, dass die Hypothesenbildung vor Versuchsbeginn in die richtige Richtung führte, jedoch nur ein Messfehler bei solchen Ergebnissen in Frage kommen konnte. Als ich die Schülerinnen bat mir ihren experimentellen Aufbau zu zeigen hat sich dieser bestätigt. Statt beide Karten im gleichen Abstand zum Strahler zu bestrahlen und eine parallele Zeitmessung vorzunehmen, hat die Gruppe die Erwärmung der Karten einzeln und in unterschiedlichen Abständen erfasst. An meinem Blick konnten beide erkennen, dass der Aufbau nicht stimmen konnte. Die Schülerinnen haben im Beisein von mir und dem Fachleiter Herrn Bohl, im Rahmen einer Fehleranalyse, ihren falschen Aufbau selbst eruiert und korrigiert. Die im Anschluss aufgenommene Messreihe führte erwartungsgemäß zu folgerichtigen Ergebnissen, die im Rahmen der Präsentation am Ende der Stunde über die projizierte Excel-Tabelle und die beiden Graphen vorgestellt wurden. Ehrlicherweise haben sie auch den vorher falschen Aufbau dargestellt und humorvoll gezeigt, weshalb Fehlerbetrachtungen im Rahmen von naturwissenschaftlichen Experimenten sinnvoll sind. Auch die Eis-Albedo-Rückkopplung wurde richtig erklärt und die Eisflächen, die dafür relevant sind, geographisch mithilfe einer Vegetationskarte (Atlas¹¹³) verortet. Die zweite Gruppe diente als Kontrollgruppe und bestätigte die Ergebnisse der ersten Gruppe¹¹⁴. Die korrekt ausgefüllte Excel-Datei zur Station wurde den Mitschülerinnen

¹¹³ Michael, T. (2008).

¹¹⁴ Während die meisten der Schülerinnen im Rahmen der Stationenarbeit im Experimentieren bestätigt wurden, waren diese beiden aufgrund der ausgefallenen Station zum Kohlenstoffkreislauf und der ersten falschen Messreihe bei Station 2 sehr demotiviert. Diese sonst sehr guten Schülerinnen fragten mich am Ende der Stationenarbeit, ob wir auf die ausgefallene Station noch einmal zu sprechen kämen. Aufgrund dieser Nachfrage, aber auch aufgrund der inhaltlichen Bedeutung dieser Station habe ich mich dazu entschlossen, sie in der nächsten Stunde nach der Stationenarbeit (4.Stunde), im Rahmen einer Einzelstunde, zu thematisieren. Dies stellt die größte Abweichung zwischen der geplanten und der durchgeführten Unterrichtsreihe dar.

über E-Mail bereitgestellt. Die Kontrollgruppe erstellte zusätzlich ein anschauliches Handout.

Station 3: Kohlenstoffkreislauf → Aufgrund von defektem Material ausgefallen.

Station 4: Natürlicher Treibhauseffekt (CO₂)

Um diese Station musste fairerweise gewürfelt werden, denn vier der Schülerinnen wollten gerne mit dieser beginnen. Bevor sich die Gruppe der Excel-Datei auf dem Laptop zuwendete, inspizierte sie zunächst euphorisch das Modell und schloss es an. Eine hohe Motivation sich mit dem Modell und dem Inhalt vertieft zu beschäftigen ging dabei von den Schülerinnen aus. Dabei wurde die Analogiebildung von ihnen als erstes richtig vorgenommen. Der Versuch klappte im ersten Anlauf leider nicht, was vor allem daran lag, dass sich die Anzeigenadel am IR-Strahlungsmessgerät auf einer bestimmten Position festgestellt hatte. In Vorversuchen hatte das Modell immer gut funktioniert, allerdings ist es viele Kilometer transportiert worden, was eine Ursache sein könnte. Nach einem kurzen Aufschrauben der Apparatur funktionierte das Modell aber wie gewohnt. Im Anschluss erarbeiteten die Schülerinnen mithilfe einer dynamischen Simulation an einem zweiten Laptop die Wechselwirkung zwischen UV-Strahlung und den Treibhausgasen in der Teilchenebene. Präsentiert wurden die Ergebnisse am Modell selbst¹¹⁵ und die Teilchenebene, für alle sichtbar am PC, über die Animation dargestellt. Ein weiteres Highlight dieser Station war die Anschauung des Modells mittels einer Wärmebildkamera. Diese hat eindrucksvoll den Gang der Wärmestrahlung wiedergegeben. Die Excel-Datei zur Station musste noch zu Hause von der Gruppe weiter vervollständigt werden. Sie wurde einen Tag später von den Schülerinnen per Rundmail zur Sicherung an alle verschickt.

Station 5: Natürlicher Treibhauseffekt (H₂O_(g))

Diese Station wurde von einer Gruppe besetzt, die im Anschluss die Station zur Albedo (Kontrollgruppe) bearbeitete. Beiliegende Arbeitsblätter dienten den zwei Schülerinnen dazu, den Versuch korrekt aufzubauen. Dabei war ihnen von Anfang an und auf Nachfrage klar, dass sie das IR-Thermometer bei allen Messungen auf das Fadenkreuz der Lampenoberfläche halten müssen, um korrekte Messungen vorzunehmen. Recht schnell kam diese Gruppe auch selbstständig zu guten Ergeb-

¹¹⁵ Diese Präsentation habe ich, im Einverständnis mit den Schülerinnen, mit einer Fotokamera als **Video** aufgenommen. Leider ist mitten in die Aufnahme der Hausmeister zur Tür hineingekommen, sodass wir die Aufnahme an einem anderen Zeitpunkt wiederholen mussten. Zu Dokumentations- vor allem aber zu Anschauungszwecken befindet sich das Video im **CD-Anhang** (Ordner: Stationenarbeit).

nissen, die dann auf einer Folie verschriftlicht und im Plenum präsentiert wurden. Diese Folie wurde von den Schülerinnen zur Sicherung eingescannt und digital verschickt. Des Weiteren wurden allen Schülerinnen beide Arbeitsblätter im Rahmen der Präsentation ausgeteilt.

Fazit

Bis auf die ausgefallene Station 3 haben alle Stationen gut funktioniert und den Schülerinnen Spaß gemacht. Das zeigt auch das Ergebnis der Evaluation zu dieser Arbeitsphase.

Wie erwartet haben die Schülerinnen die Treibhaus-Modelle am besten bewertet, was mitunter an ihrer hohen Anschaulichkeit liegen mag und mir gezeigt hat, dass sich mein Einsatz bei der Beschaffung und Konzeption gelohnt hat. Im Sinne einer noch besseren Durchführung würde ich beim nächsten Mal die Stationenarbeit auch wie gehabt aufbauen, jedoch mehr Ersatzteile vor Ort haben. Für das Treibhaus-Modell habe ich extra eine Ersatzsicherung und für die Strahler zwei Sätze Ersatzbirnen dabei gehabt, für das kaputte 4mm Verbindungsstück aber nicht. Die Anleitung zur Station 2 (Albedo) muss zusätzlich überarbeitet werden, denn es hat sich gezeigt, dass eine zu offene Vorgehensweise schnell zu falschen Aufbauten und Messergebnissen führen kann. Hier dürfte ein wenig mehr Instruktion nicht schaden. Der größte Knackpunkt an der Stationenarbeit war das Zeitmanagement. Um eine tiefe Behandlung aller Aspekte mit hoher Breitenwirkung zu erreichen, genügen zwei Schulstunden nicht aus. Drei Schulstunden sind für das Ausmaß dieser Stationenarbeit mindestens zu veranschlagen, um einen hohen Lernertrag zu erzielen. Bemerkte habe ich das Zeitproblem im ersten Drittel der zweiten Stunde, als die Schülerinnen noch eifrig an den Stationen beschäftigt waren und noch weitere ausprobieren wollten. Ich habe dann vorgeschlagen die Arbeit in der nächsten Stunde weiterzuführen. Netterweise, haben die Schülerinnen bemerkt, dass ich von dieser Notlösung selbst nicht begeistert war. Sie haben sich daraufhin abgesprochen und erklärt, dass sie dazu bereit wären eine halbe Stunde länger zu bleiben. Solch ein Sozialverhalten ist bemerkenswert, spricht aber auch für das große Interesse am Thema. Dank dieser ‚Zugabe‘ konnten alle verbliebenen Fragen der Schülerinnen geklärt werden. Obwohl die Stationenarbeit wie geplant so angelegt war, dass eine Gruppe maximal zwei Stationen vollständig bearbeitet, wäre es auch denkbar gewesen, eine solch intensive Erarbeitungsphase auf vier Unterrichtsstunden auszu-

weiten und damit alle Schülerinnen in Form eines Lernzirkels an alle Stationen heranzuführen¹¹⁶.

6.3. Vierte Stunde: Wechselwirkung Atmosphäre/Hydrosphäre¹¹⁷

6.3.1. Lernziele

Groblernziel:

Die Schülerinnen sollen die Löslichkeit von Kohlendioxid in Wasser experimentell **überprüfen** und dabei **feststellen**, dass sich im Vergleich zu dem Gas Sauerstoff viel Kohlendioxid in Wasser lösen lässt. Mithilfe des Prinzips von Le Chatelier sollen sie **feststellen**, dass die Löslichkeit von Gasen in Wasser temperaturabhängig ist. Des Weiteren sollen sie das Experiment in die Realität **übertragen** (Wasser = Hydrosphäre, Kohlendioxid = Atmosphäre) und dabei eine Erderwärmung als **kritisch einschätzen**, weil die großen Weltmeere bei einer solchen weniger gut atmosphärisches Kohlendioxid binden können.

Teillernziele: Die Schülerinnen sollen...

[1] ...ein Experiment zur Bestimmung der Löslichkeit von Kohlendioxid in Wasser eigenständig **planen** und **ausführen**.

[2] ...mit Hilfe der Versuchsergebnisse die Löslichkeit von Sauerstoff und Kohlendioxid in Wasser bei verschiedenen Temperaturen (10°C, 20°C, 40°C) computer-gestützt im Liniendiagramm miteinander **vergleichen**.

[3] ...den Kurvenverlauf von Kohlendioxid mithilfe des Prinzips von Le Chatelier (v.a. bei Temperaturänderung) **interpretieren**.

[4] ...die Theorie zur Beeinflussung der Löslichkeit von Gasen in einem Lösungsmittel (hier: Wasser) **wiederholen** und **begründen**, ob diese nun nach mehreren experimentellen Überprüfungen, verifiziert werden kann.

[5] ...mithilfe von M1-M3 (Kohlenstoffkreislauf), den Gasaustausch zwischen Atmosphäre und Hydrosphäre **verstehen**.

[6] ...mithilfe ihrer Ergebnisse und Materialien die Ozean-CO₂-Rückkopplung **er-**

¹¹⁶ siehe Befragung zur Stationenarbeit, Anhang Seite 158 („Sonstiges“ → Antwort 2).

¹¹⁷ Die vierte Stunde diente ursprünglich (siehe Planung) dem „Anthropogenen Treibhauseffekt“. Dadurch, dass aber im Rahmen der Stationenarbeit (2. & 3. Stunde) die Station zur Löslichkeit von Kohlendioxid in Wasser aufgrund des defekten Spritzenverbindungsstücks ausfallen musste, wurde dieser Versuch im Rahmen einer sich an die Stationenarbeit direkt anschließenden Stunde (4. Stunde) nachgeholt und vertieft. Dazu erforderte es einer grundlegenden Neuplanung und Umstrukturierung der dritten Station hin zu einer Einzelstunde. Gerade weil ich diese Stunde im Nachhinein als besonders gelungen empfand, habe ich mich dazu entschlossen, diese im Folgenden als eine aktualisierte Version der vierten Stunde darzustellen.

klären und diese im Hinblick auf eine globale Erwärmung als kritisch **werten**.

[7] ...geeignete Reaktionsgleichungen **aufstellen**, die den Gasaustausch sowie bedenkliche Auswirkungen der Ozeanversauerung (Abnahme der Carbonat-Ionenkonzentration mit Folgen für Meerestiere, die Schalen oder Skelettstrukturen daraus bilden) chemisch **erklären**.

6.3.2. Didaktische und methodische Analyse der Stunde

Didaktik

Die Löslichkeit eines Gases ist begrenzt und hängt vor allem von den Einflussgrößen Druck und Temperatur ab. Das Prinzip von Le Chatelier hilft dabei sehr, die Beeinflussung der Löslichkeit von Gasen zu verstehen. In der vorliegenden Stunde soll aus Gründen der didaktischen Reduktion auf die Druckabhängigkeit des chemischen Gleichgewichts nicht weiter eingegangen werden, da dies zur Vermittlung der Stundenziele nicht zielführend ist. Viel wesentlicher ist die Temperaturabhängigkeit, auf die es in dieser Stunde ankommt. Im Rahmen der Unterrichtsreihe wurden bereits viele Bereiche der Erderwärmung (Treibhauseffekt, schmelzende Eismassen, Strahlungsbilanzen) genauer betrachtet, der so wichtige Gasaustausch zwischen der Atmosphäre und der Hydrosphäre jedoch noch nicht. Dabei gehen Wissenschaftler davon aus, dass „etwa ein Drittel dessen, was der Mensch durch die Ausbeute fossiler Brennstoffe (Öl, Kohle, Gas) an Kohlendioxid in die Atmosphäre entlässt, in den Ozeanen gespeichert wird.“¹¹⁸ Das chemisch gelöste Kohlendioxid tritt dann in physikalische wie biologische Prozesse ein. Dabei soll zunächst die Löslichkeit von Kohlendioxid und Sauerstoff in Wasser miteinander verglichen werden. Wichtig sind mir in diesem Kontext auch die strikte Trennung von Beobachtungs- und Deutungsformulierungen sowie eine ebenso strikte Trennung von Stoff- und Teilchenebene beim Aufstellen der Gleichungen zum Löslichkeitsgleichgewicht. Gerade letztere ist wichtig, da es sich schließlich bei der Löslichkeit um eine Stoffeigenschaft handelt. Bei der Betrachtung der Temperaturabhängigkeit der Löslichkeit von Sauerstoff in Wasser soll den Schülerinnen auch klar werden, dass sich dieser eher physikalische Lösungsvorgang exotherm verhält. Über ein von den Schülerinnen selbst geplantes und selbst ausgeführtes Experiment sollen diese den Vergleich der guten Löslichkeit von Kohlendioxid und der schlechteren von Sauerstoff entdecken und erklären können. Alternativ hätte man auch wesentlich deduktiver und damit theoretischer vorgehen können. Da die gesamte Unterrichtsreihe aber möglichst offene Unter-

¹¹⁸ Spokes, L. (2007).

richtsformen und ein hohes Maß an Schülerorientierung anstrebt, habe ich mich klar für diese Variante entschieden. Die Eingangsfrage „Lässt sich ein großes Volumen an Kohlendioxid in den Ozeanen lösen“ ist dabei gleichzeitig Leitfrage für die experimentelle Erarbeitungsphase. Im Rahmen dieser wird auch gleichzeitig die so wichtige Analogiebildung hergestellt (Wasser = Weltmeere; Kohlendioxid = Atmosphärisches Kohlendioxid), die für das Verständnis und den kognitiven Lernfortschritt wichtig ist. Dieses Grundverständnis muss vorhanden sein, um im Anschluss an die Erarbeitungsphase, die neu erworbenen Erkenntnisse auf den Kohlenstoffkreislauf übertragen und erst in diesem Kontext die Ozean-CO₂-Rückkopplung erklären zu können. Gerade diese führt erst in zwei weitere, diese Stunde vertiefende Problematiken ein:

1. Eine Folge der Erderwärmung ist die Erwärmung der Meere, die wiederum im wärmeren Zustand weniger Kohlendioxid aufnehmen können und deren Eigenschaft als wertvolle, klimaregulierende CO₂-Senken dadurch vermindert wird. Ein ‚Mehr‘ an Kohlendioxid in der Atmosphäre führt wiederum zu einem verstärkten Treibhauseffekt und dies wieder zu einer verstärkten Erwärmung, die auch die Meere weiter erwärmt (Ozean-CO₂-Rückkopplung).
2. Ein ‚Mehr‘ an Kohlendioxid in der Atmosphäre verursacht dennoch ein ‚Mehr‘ an gelöstem Kohlendioxid im Wasser, was die Ozeane zunehmend versauern lässt. Durch die Säure nimmt die Konzentration an Karbonat-Ionen im Meerwasser ab, was weitreichende Konsequenzen für alle Meerestiere, die Schalen und Skelettstrukturen aus Kalk aufbauen (auch Teile des Phytoplanktons; Nahrungskette!) und ganze Ökosysteme, wie Korallenriffe, hat.

Gerade diese Problematiken sollen von den Schülerinnen erfasst und chemisch, mithilfe ihrer Fachkenntnisse aus der Jahrgangsstufe 11, dargestellt werden. Möglichen Lernschwierigkeiten, die darin resultieren können, dass Themen wie das chemische Gleichgewicht oder Säure/Base zeitlich gesehen etwas weiter zurückliegen, möchte ich mit kleinen, materialgebundenen Hilfestellungen begegnen. Von der Vertiefung in diese Problematiken, die von den Schülerinnen auch wertend betrachtet werden sollen, verspreche ich mir eine Progression in den Anforderungsbereich III.

Didaktisch reduzieren möchte ich die Tatsache, dass man das im Experiment eingesetzte Wasser (destilliertes Wasser) nicht mit Meerwasser vergleichen kann. Vor allem der hohe Salzgehalt mancher Meere beeinflusst die Löslichkeit von Gasen. Da diese Stunde keine quantitative Einschätzung anstrebt, ist dieser Aspekt auch nicht

zielführend. Sollten die Schülerinnen doch darauf zu sprechen kommen, werde ich einem solchen Einwand lobend und lehrerzentriert begegnen.

Methodik

Das Erarbeitungsexperiment kann auf verschiedene Arten durchgeführt werden:

Löslichkeit von Gasen in Wasser...

1. ...mittels Kolbenprober (Glas).
2. ...mithilfe von Medizintechnik¹¹⁹.
3. ...mithilfe einer einfachen Gaseinleitung und anschließender Wägung.

Ich habe mich für die zweite Variante entschieden. Die angeschafften Spritzen sind sehr kostengünstig im Einkauf und nahezu unzerstörbar. Dies hat den großen Vorteil, dass der Versuch als Schülerexperiment durchgeführt werden kann¹²⁰. Insgesamt drei Gruppen (3x2, da eine Schülerin erkrankt war) erarbeiten die Löslichkeit von Kohlendioxid bei unterschiedlichen Wassertemperaturen von 10°C, 20°C und 40°C, sodass jede Schülerin den Versuch einmal durchführen muss und sich mehrere Messwerte ergeben, aus denen sich, im Sinne einer wissenschaftlichen Arbeitsweise, ein Mittelwert bilden lässt. Die Erfassung der Messwerte und damit auch die Sicherung wesentlicher Unterrichtsergebnisse findet mithilfe eines Laptops, der mit dem Beamer in Verbindung steht, statt. Auf diese Weise können die Messwerte in eine für die Stationenarbeit bereits konzipierte Excel-Tabelle eingegeben werden, die dann die eingegebenen Werte direkt graphisch in einem Zweiliniendiagramm umsetzt. Das Unterrichtsgespräch soll besonders im Rahmen von Hypothesenbildungsphasen zum Einsatz kommen. Da die Öffnung eines Lehrgesprächs zum Unterrichtsgespräch von den Beiträgen der Schülerinnen lebt und damit wünschenswert, aber nicht vollkommen planbar ist, möchte ich mir eine gewisse Flexibilität bewahren. ‚Flexibel‘ bedeutet in diesem Kontext, dass ich aufmerksam die Schülerbeiträge verfolge und versuchen werde, geeignete Gelenkstellen (z.B. kontroverse Meinungen, verschiedene Ergebnisse) zur Öffnung des Lehrgesprächs in Wert zu setzen.

Gegen Ende der Sicherungsphase 2 kann die Stunde einen möglichen und sinnvollen Abschluss finden. Sollte ich in Zeitnot geraten, werde ich an dieser Stelle zusammenfassend die Stunde beenden. Hier beabsichtige ich aber die Zusammenfassung durch die Schülerinnen mithilfe des Kohlenstoffkreislaufs erbringen zu

¹¹⁹ Von Borstel, G. & Böhm, A. (2004) & (2006).

¹²⁰ Allgemein wird die Meinung vertreten, dem Schülerversuch sei, wann immer möglich, der Vorzug zu geben. Begründet wird dies mit dem besseren Lernen durch Eigentätigkeit, der Möglichkeit des entdeckenden Lernens, der zusätzlichen Einübung manueller Fertigkeiten und dem motivierenden Effekt, der vom Experimentieren ausgeht“, nach: Pfeifer et al. (2002), S.315.

lassen. Dieser, sowie ein kurzer Text zur Ozeanversauerung sollen auf die zwei Hauptproblematiken hinweisen. Dabei werden die Materialien über den Beamer großflächig und in Farbe an die Wand projiziert. Um den beschriebenen Lernschwierigkeiten, vor allem beim Aufstellen von Formeln zum chemischen Gleichgewicht und zur Ozeanversauerung zu begegnen, werde ich gegebenenfalls einige, relevante Formeln an der Tafel zeigen und das Prinzip von Le Chatelier ausformuliert mithilfe der Excel-Datei über den Beamer darstellen.

6.3.3. Geplanter Verlauf

U.-Schritt	U.-Inhalte, Begriffe	Medien	U.-Form
Einstieg	Weltmeere als CO ₂ -Senken	Abbildung: Weltmeere via Beamer, Laptop	Stummimpuls
Problematisierung 1	Schätzt ein wie viel an Kohlendioxid sich in den Weltmeeren lösen lässt!		LV
Hypothesenbildung 1 Hinführung	<ul style="list-style-type: none"> - Kaum etwas - 10% - 60%, etc. Welche Einflussgrößen könnten die Löslichkeit beeinflussen? <ul style="list-style-type: none"> - Temperatur/ Druck/ Salzgehalt 	Tafel (rechts), Farbige Kreide	LG/ UG
Erarbeitung 1	<ul style="list-style-type: none"> - Schülerinnen planen das Experiment - <u>Erarbeitendes Experiment 1:</u> [1] Löslichkeit von Kohlendioxid in Wasser (bei 10, 20 und 40°C Wassertemperatur) - Beobachtung/ Digitale Messwerterfassung - Vergleich der Löslichkeit von Kohlendioxid und Sauerstoff in Wasser [2] - Deutung [3] [4] - Wortgleichung SE (Löslichkeit) - Reaktionsgleichung TE 	Geräte, Chemikalien Laptop, Excel-Datei, Beamer Excel-Datei	UG SE (PA) 2x2 1x3 SV/ UG PA [2 Min]
Sicherung 1	<ul style="list-style-type: none"> - Deutung/ Gleichungen - Hypothesenrückbezug 	Excel-Datei	SV
Problematisierung 2 Hypothesenbildung 2	Was bedeuten in diesem Kontext die Ozean-CO₂-Rückkopplung und eine stattfindende Ozeanversauerung? ...	Tafel (rechts)	LG UG
Erarbeitung 2 Sicherung 2	<u>Kohlenstoffkreislauf</u> <ul style="list-style-type: none"> - Gasaustausch zwischen Atmosphäre & Hydrosphäre [5] - Ozean-CO₂-Rückkopplung [6] - Ozeanversauerung [7] 	M1-M3 Excel-Tabelle (entsprechend vergrößert) Laptop, Beamer Diskussion/ Tabelle	UG/LG SV/ UG
Vertiefende Hausaufgabe	- Eventuelles vervollständigen und Ausfüllen der noch freien Felder zur Station.	Excel-Tabelle via E-Mail	LV

6.3.4. Durchführung und Kurzreflexion

Der Einstieg über das Bild war für die Schülerinnen motivierend und die Frage nach einer CO₂-Speicherung in den Meeren interessant, kannten sie bislang nur zusammenhängende Waldflächen als globale CO₂-Senken. Im Rahmen der Hypothesenbildung lagen die Schülerinnen mehrheitlich weit unter den angenommenen Werten und waren am Ende der Erarbeitungsphase 1 verblüfft, dass die Ozeane ungefähr ein Drittel der anthropogenen CO₂-Emissionen aufnehmen. Umso betroffener

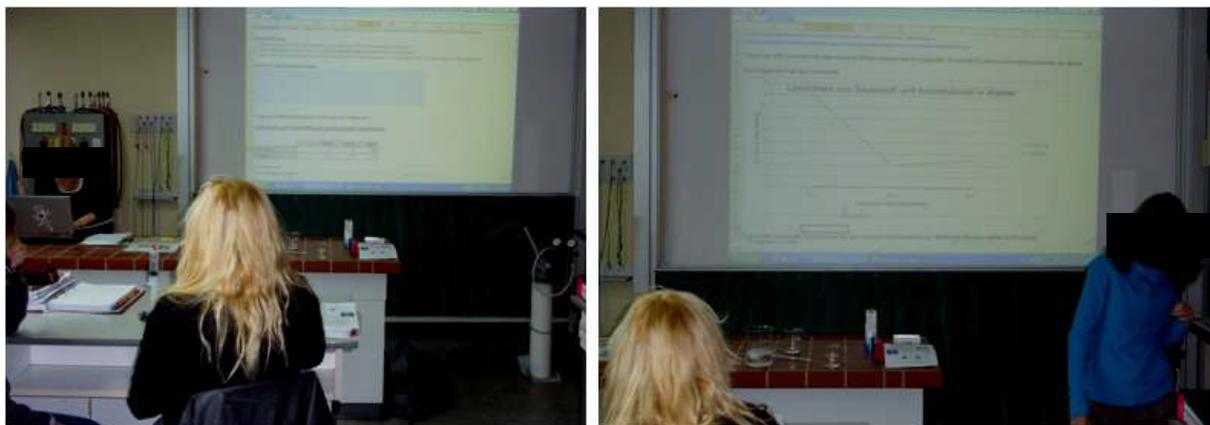


Abbildung 10: Eingabe und synchrone Auswertung von Messergebnissen durch die Schüler.

waren diese dann, als sie anhand der Experimente feststellten, dass eine Erwärmung der Erde die Löslichkeit des Gases in den Weltmeeren verringert und sich demnach dieser Kreislauf auch noch selbst verstärkt. Gerade im experimentellen Bereich hat sich gezeigt, dass der Einsatz von Medizintechnik zielführend war, denn die Schülerinnen hatten alle großen Spaß daran, was die Motivation nur verstärkte und zu guten Ergebnissen führte. Zudem kommt, dass alle experimentell beteiligt waren, was in dieser Unterrichtsstunde neben den kognitiven, visuellen und affektiven vor allem auch die haptischen Lerntypen angesprochen hat. Die Planung des Experiments wurde, wie zu erwarten, stark von der ursprünglichen Patengruppe aus der vorausgegangenen Stationenarbeit dominiert, die hier ihr Vorwissen gewinnbringend für alle einbringen konnten und somit gesehen und gezeigt haben, dass ein ernüchterndes Beschäftigen mit einer zum Ausfallen verurteilten Station doch noch einen Lernertrag hatte. Auch die Erfassung und Auswertung der Experimente mit dem Computer und einer direkten großflächigen Visualisierung (Abbildung 10) stellte für die Gruppe ein Novum dar und steigerte, neben der Zeitersparnis die eine graphische Auftragung auf Millimeterpapier nicht ergeben hätte, die Motivation und das Interesse bei der Lerngruppe. Der sich anschließende theoretische Teil der Auswertung (Reaktionsschema und Reaktionsgleichung) verlief problemlos, wussten die Schülerinnen noch gut über theoretische Aspekte des chemischen Gleich-

gewichts bescheid, sodass sie sich nur nebensächlich auf meine Lernhilfe (Definition von Le Chatelier in Sprechblase) bezogen. Der Einstieg in die zweite Problematisierung zur Thematik der Ozean-CO₂-Rückkopplung und die damit vorgesehene Progression in den Anforderungsbereich III, konnte nach Abschluss der experimentellen Phase vollzogen werden (Abbildung 11). Dabei haben die Schülerinnen diese mit eigenen Worten definiert und die wesentliche Problematik einer Erderwärmung für die Meere als äußerst kritisch bewertet, was sich in einem emotionalen Unterrichtsgespräch äußerte. Leider blieb an dieser Stelle nicht mehr



Abbildung 11: Schülerin bezieht Ergebnisse auf den Kohlenstoffkreislauf.

genügend Zeit für eine vertiefende Betrachtung der Ozeanversauerung (Lernziel 7), weshalb ich mich spontan dazu entschloss, diese in die Hausaufgabe zu verlagern und die Schülerinnen selbst in den letzten zwei Minuten der Stunde die Stundeninhalte zusammenfassen zu lassen.

Im Nachhinein muss ich sagen, dass der Ausfall der Station 3 zwar meinen Zeitplan aus der Ordnung gebracht hat (statt sechs geplanten Stunden mussten nun zur Vermittlung der geplanten Inhalte sieben Stunden durchgeführt werden), im Wesentlichen die Bearbeitung der Station mit allen Schülerinnen für deren Lernertrag aber förderlich war.¹²¹ Im Sinne der Schülerinnen würde ich beim nächsten Mal genauso entscheiden. Um beim nächsten Mal auch die Thematik der Ozeanversauerung zu erreichen, wäre es sinnvoll über eine arbeitsteilige Partnerarbeit nachzudenken, die über eine Präsentationsphase dann alle gewünschten Inhalte behandeln könnte.

6.4. Vorbereitung auf Max Planck Institut (MPI)

Diese Unterrichtsstunde wurde dazu genutzt, um inhaltlich und organisatorisch auf die Exkursion zum Max Planck Institut vorzubereiten. Um einen hohen Anteil an ‚echter Lernzeit‘ beizubehalten, habe ich versucht alles Organisatorische über E-Mails zu klären, was aber eher in einem ‚E-Mail-Chaos‘ geendet hat. Hinzu kommt, dass zwei der Schülerinnen nur einen Account mit vier Megabyte besitzen, sodass ich sie sehr oft mit organisatorischen und inhaltlichen E-Mails nicht erreichen konnte. Von daher haben wir im Unterricht selbst zu Beginn der Stunde die Zeit kurz dazu genutzt, um die An- und Abfahrt nach Mainz zu besprechen. Inhaltlich haben die

¹²¹ Siehe Ergebnisse von Klausuraufgaben zu diesem Themenbereich. Anhang, S. 148-151.

Schülerinnen daraufhin paarweise gut vorbereitete Referate¹²² (je zehn Minuten) zu Alfred Nobel & Nobelpreis, Max Planck & Max Planck Institute sowie Paul J. Crutzen gehalten und so ein wenig mehr Vorwissen für einen spannenden Tag in Mainz geschaffen.

6.5. Exkursion zum MPI für Chemie (Abteilung Atmosphärenchemie)

Das von Dr. Elmar Uherek in Kooperation mit Dr. Bärbel Sinha konzipierte Programm bestand zunächst aus einem kurzen Vortrag über das MPI und einer ausführlichen Präsentation über die Klimaentwicklung und hierbei insbesondere die Rolle des Treibhausgases Methan. Es folgten verschiedene Rundgänge und eine passend angelegte Laborarbeit. Besonders beeindruckt waren die Schülerinnen dabei von der Präsentation des „CARIBIC-Containers“. Der Verbund von Messgeräten, der die Größe eines Kleintransporters hat, wird regelmäßig im Laderaum eines Lufthansa - Passagierflugzeugs auf verschiedenen Interkontinentalflügen eingesetzt. Mit ihm kann man so atmosphärenchemische Messungen zur Konzentration verschiedenster Spuren- und Treibhausgase sowie von Staubteilchen in großer Höhe (~10km) durchführen. Ein weniger voluminöses Pendant zur Messung vieler Spurenstoffe auf der Straße ist das Mobile Labor „MoLa“, das eine Mitarbeiterin vorstellte. Bevor es zur Untersuchung der Methan-Probe aus einem antarktischen Eisbohrkern kam, mussten die Schülerinnen erst mit kleinen Gaschromatographen arbeiten. Dazu wurde der Aufbau der Geräte sowie die Methode erklärt, was bei einem Blick in die Gesichter nicht von jeder Teilnehmerin verstanden wurde. Nach acht selbst durchgeführten Messungen mit verschiedenen Reingasen (Erfassung und graphische Auswertung mit Laptop) wurde das Messprinzip für die Schülerinnen deutlich transparenter. Nach einer einstündigen Mittagspause auf dem Campus ging es im Programm weiter. Nachher als „Highlight“ innerhalb der von den Schülerinnen selbst durchgeführten Versuchsreihen bewertet, durfte dann eine Gruppe an den „großen Gaschromatographen“ um verschiedene Methan-Messungen vorzunehmen. Im Labor des Instituts verglich die Gruppe dabei den Methangehalt von Laborluft, eigener Atemluft und der Außenluft mit der Eisprobe – mit dem Ergebnis, dass der Methangehalt in der Außenluft „erschreckend hoch“ ist. Von diesem Ergebnis waren die Schülerinnen sichtlich bewegt. Zur gleichen Zeit beschäftigte sich die andere Hälfte der sieben Schülerinnen mit dem Ozon-Versuch, den Dr. Uherek selbst vorführte. Dabei wurden unsichtbare pflanzliche Duftstoffe durch eine Reaktion mit dem

¹²² Handouts zu den Referaten befinden sich im Anhang, S. 114-118.

durch eine UV-Lampe hergestellten Treibhausgas Ozon, über eine einsetzende ‚Dunstbildung‘ für alle sichtbar. Bis dahin lief der ganze Tag wie geplant. Im Anschluss an die Labortätigkeit war noch eine kurze Abschlussbesprechung geplant. Als wir in unseren Raum zurückkamen saß ein weiterer Gast dort, den die Schülerinnen, zu meiner Freude, aufgrund des vorangegangenen Referats sofort erkannten:

Prof. Dr. Crutzen, der an diesem Tag zufällig im Institut war, hatte zu einer Gesprächsrunde eingeladen. Diese für Schulklassen so seltene Gelegenheit nutzen die Schülerinnen sowie wir als Betreuer enthusiastisch. Eine Gelegenheit, die den schon besonderen Ausflug für alle Beteiligten zu etwas ganz Besonderem machte.¹²³

Rückbetrachtend ist der Ausflug ein voller Erfolg gewesen. Aus dieser Erfahrung lernt man, wie wichtig es für die Qualität der Lehre sein kann, gute Kontakte zu außerschulischen Einrichtungen zu haben und zu pflegen. Gerade für Schüler der Oberstufe sind solche Kontakte im Sinne der Wissenschaftspropädeutik wichtig. Neben den fachlichen Inhalten haben die Schülerinnen implizit auch eine ganze Reihe sozialer Aspekte erfahren:

- Dr. Bärbel Sinha hatte während des Aufenthalts ihr kleines Kind mit dabei, welches den Schülerinnen während dem Experimentieren über die Schulter schaute.
- Dr. Elmar Uherek hat trotz seines Sprachproblems (starkes Stottern) perfekte Vorträge gehalten und toll durch das Programm geführt.
- Nobelpreisträger Prof. Dr. Paul Crutzen ist ein sehr angenehmer, gemüthlicher Gesprächspartner und jenseits von arrogant oder eingebildet in Bezug auf seine Verdienste.

Auch das Leben auf dem Campus und das gemeinsame Mittagessen auf dem Uni-Gelände haben den Schülerinnen einen Eindruck von studentischem Leben vermittelt.

6.6. Fünfte Stunde: Anthropogener Treibhauseffekt

Im Unterrichtsgespräch entstand der gewünschte experimentelle Aufbau zu dieser Stunde, wobei ich die Funktion der Wasserstrahlpumpe erklären musste. Da diese direkt am Waschbecken angebracht ist und ich das „Gesetz der Dynamik von links nach rechts“ (Schülersicht) berücksichtigen wollte, musste die Apparatur von den Schülerinnen im Abzug aufgebaut und die Leitung zur Wasserstrahlpumpe vom Ab-

¹²³ Siehe auch Berichterstattung in ‚Die Rheinpfalz‘ & auf ESG-Homepage (Anhang, S.128-131).

zug über das Waschbecken hinaus gelegt werden. Dabei widersprach dieser Aufbau gleichzeitig dem „Gesetz der glatt durchlaufenden Kurve“.¹²⁴ Dies nahm ich in Kauf, weil mir ein experimenteller Aufbau von links nach rechts für die Schülerinnen als sinnvoller erschien. Gleichzeitig bietet dieser Aufbau die Möglichkeit, auftretenden Verbrennungsgeruch über den Abzug abzuleiten. Bei einer erneuten Durchführung würde ich aber einen besseren Aufbau mithilfe einer Vakuumpumpe dem hier beschriebenen vorziehen. Was ich so nicht erwartete, war die Tatsache, dass die Schülerinnen eine sukzessive Verbrennung der Realien vorschlugen. Mit dem Brenner ließ sich die Steinkohle nicht entzünden, sodass wir mit dem Butan-/Propangasgemisch fortfuhren. Dabei habe ich einen Kartuschenbrenner verwendet und die Verbrennungsprodukte über die Apparatur aufgefangen. Dass es sich um ein Gasgemisch handelt, habe ich aus Gründen der didaktischen Reduktion ausgespart und nur von Butangas gesprochen. Der Versuch funktionierte gut und die Schülerinnen kamen aufgrund der positiven Nachweisreaktionen schnell zum richtigen Ergebnis, was von ihnen an der Tafel in Form von Reaktionsgleichungen festgehalten wurde. Die Verbrennung von Benzin habe ich aus verschiedenen Gründen (starke Rußbildung, entzündliche Dämpfe) nicht demonstriert. Um eine inhaltlich angemessenere, flüssige Komponente hinzuzufügen, wollte ich zusätzlich die Verbrennung von Heptan demonstrieren. Leider waren die Flasche und der Reservebehälter aber leer und weitere flüssige Alkane (außer Hexan) ebenfalls nicht zur Hand, sodass es bei dem einen Experiment blieb und ich so leider nicht in die allgemeine Theoriebildung zur Verbrennung von Kohlenwasserstoffen überleiten konnte. Bei einer erneuten Durchführung sollte unbedingt ein bis zwei Tage vorher und nicht erst unmittelbar vor Beginn der Stunde die ausreichende Verfügbarkeit von einzusetzenden Chemikalien überprüft werden.

Da die Stunde statt wie in der Planung dargestellt in der vierten nun in der fünften Stunde und damit nach dem Aufenthalt beim MPI gehalten wurde, war die Hausaufgabe eine andere geworden. Anstelle von vorbereitenden Referaten trat nun die Vervollständigung des Arbeitsblatts 1, welches die konkrete Stoffchemie weiter vertiefen sollte. Aufbauend auf dem MPI-Vorwissen über Methan und dem Experiment mit Butangas, sollten die Schülerinnen die Systematik hinter den ersten vier Alkanen (Methan, Ethan, Propan, Butan) erkennen und daraus die allgemeine Summenformel ableiten. In einer zweiten Hausaufgabe sollten die Schülerinnen Vorschläge zur Optimierung der eigenen CO₂-Bilanz in deren Alltag machen, sodass die durch diese

¹²⁴ Johannes Gutenberg Universität Mainz (2006).

Stunde verursachte Betroffenheit über das individuelle Verhalten der Schülerinnen wieder kompensiert werden kann.

6.7. Sechste & siebte Stunde: Troposphärisches & Stratosphärisches Ozon

Gerade in der Durchführung dieser Doppelstunde hat sich gezeigt, wie sinnvoll es war zuerst das bodennahe vom stratosphärischen Ozon abzugrenzen, in einem nächsten Schritt den natürlichen Auf- und Abbau von Ozon zu behandeln, um dann erst Störungen dieses Ozonkreislaufs, exemplarisch am Beispiel der CFKW's, zu thematisieren. Diese Vorgehensweise würde ich so jederzeit wiederholen.

Diese Stunde hat auch den impliziten Rückbezug auf Inhalte aus der MPI-Exkursion ermöglicht. Dies zeigte vor allem die zweite Problematisierung mit der Frage „Wie bildet sich stratosphärisches Ozon überhaupt?“. Eine Schülerin verwies dabei im Rahmen der Hypothesenbildung auf den Versuch von Dr. Uherek, der mittels einer UV-Lampe aus Luftsauerstoff Ozon herstellte. Den Zugang zu organisch-chemischen Reaktionsmechanismen (hier: Chapman-Zyklus) über ein Mechanismus-Puzzle würde ich auch jederzeit wiederholen, denn die Schülerinnen kamen bei allem Spaß innerhalb dieser Erarbeitungsphase zügig zu guten Ergebnissen. Auch der Ozon-Comic¹²⁵ wurde begeistert als vorbereitende Hausaufgabe wahrgenommen, sodass ich auch diesen wieder einsetzen würde. Ob sich das Rollenspiel, wenn es auch einen Methodenwechsel darstellte, positiv auf den Lernertrag der Schülerinnen ausgewirkt hat, ist fragwürdig. Ich würde dieses bei einer Wiederholung der Stunden aussparen und eher anderen Inhalten (wie FCKW-Verbot, Ozonloch über der Antarktis, Ozonloch und Hautkrebsverbreitung) vertiefend nachgehen. Bei der Rückbetrachtung des Tafelbilds¹²⁶ habe ich festgestellt, dass man dies noch systematischer und übersichtlicher hätte aufbauen können. Dies gilt vor allem in Bezug auf Überschriften (1. Radikalbildung, 2. Startreaktion, 3. Kettenreaktion, 4. Abbruchreaktion), die den Inhalt noch mehr gegliedert hätten.

6.8. Abschlussbesprechung und Ausblick

Im Zuge dieser Stunde habe ich auch die Ergebnisse der ersten Befragung auf Folie mitgebracht und nochmals um eine Einschätzung seitens der Schülerinnen in Bezug auf mögliche Korrelationen zwischen dem Treibhauseffekt und dem Ozonloch gebeten. Im Rahmen dieses Unterrichtsgesprächs bestätigte sich durch gute Beiträge erneut, dass die Schülerinnen ihre Hausaufgaben gemacht hatten. Eine Schülerin

¹²⁵ CD-Anhang.

¹²⁶ Siehe Anhang, S. 142.

fragte mich dann, was denn mit kritischen Aussagen zum Klimawandel sei. Sie hätte mit Familienmitgliedern darüber diskutiert und diese seien der Meinung, „dass der Klimawandel eine Erfindung der Medien sei“. Diese Frage gab ich ans Plenum weiter, woraufhin eifrig diskutiert wurde. Innerlich freute ich mich über den Beitrag, denn ich hatte immer noch die zur ersten Stunde vorbereitete Folie mit Aussagen von Klimaskeptikern aus einem Buch von Herrn Crutzen zur Hand, die ich nun einsetzen konnte. Zwei der Aussagen konnten die Schülerinnen dabei, anhand ihres neu erlernten Wissens, argumentativ widerlegen. Bei zwei anderen Aussagen bat ich sie, passende Textpassagen aus dem Buch vorzulesen. Sichtlich dankbar für diesen Einschub war mir vor allem die Schülerin, die zu Hause wohl Klima-Diskussionen angeregt hatte, was alleine auch zeigt, dass dieses Thema eine Verbreitung außerhalb von Klassenräumen und Chemiesälen gefunden hatte. Zusammenfassend nahm ich Herrn Professor Lesch (Alpha Centauri)¹²⁷ beim Wort, der mich mit folgendem Gleichnis begeisterte:

Eine Familie möchte im Winter über einen zugefrorenen See gehen. Dem Vater wird beim Anblick der Eisschicht etwas mulmig, denn er weiß nicht, ob die Eisschicht dick genug ist. Ein Anwohner der Region sagt: „Machen sie sich keine Sorgen, da können sie problemlos übergehen“, ein anderer „gehen sie besser um den See herum, damit sind sie und ihre Kinder auf der sicheren Seite.“ Es ist im Gesamtzusammenhang in jedem Fall besser den sicheren Weg zu wählen, denn wenn auch in zwanzig Jahren Forscher feststellen, dass der Klimawandel längst nicht so drastisch wie eingeschätzt ist, ist es doch lohnend globale Themen wie alleine schon unsere Energieversorgung im Kontext einer steigenden Weltbevölkerung und immer knapper werdenden Ressourcen zu überdenken. Dazu gehört auch ein rücksichtsvoller und eben sicherer Umgang mit der Erde und ihrer Atmosphäre – auch im Sinne kommender Generationen.

Im Anschluss an das Gleichnis bedankte ich mich bei der Gruppe für deren Aufmerksamkeit. Diese schenkte mir als Zeichen ihrer Anerkennung einen Baum. Sie waren der Meinung, man könnte durch Bäume etwas bewegen. Deshalb sei dieser auch gleichzeitig eine Einladung an mich, bei einer vom LK organisierten Baumpflanzaktion im Frühjahr, „zur Kompensierung unserer alltäglichen CO₂-Emissionen“, teilzunehmen.

¹²⁷ Im Anhang als Film-Datei.

7. Gesamtreflexion

7.1. Evaluation der Schülerleistungen

Den Lernerfolg versuchte ich vor allem in schriftlicher Form über Klausuraufgaben, Hausaufgaben und schriftliche Arbeitsaufträge in den Erarbeitungsphasen der Einzelstunden sowie über einige Wissensfragen in der Befragung, aber auch über eine Epochalnote zu erfassen. Dabei konnte ich durchweg gute Ergebnisse feststellen, die mir auf den ersten Blick zeigten, dass die Reihe einen messbaren Lernertrag hatte. Im Folgenden möchte ich knapp und auf das Wesentliche beschränkt einige Beispiele darstellen. Dabei habe ich insbesondere auf die Bewertung von Hausaufgaben und schriftlichen Arbeitsaufträgen in Erarbeitungsphasen verzichtet. Diese bestätigen nur das gute Bild der Lerngruppe und können im Anhang im Bereich der jeweiligen Einzelstunden eingesehen werden.

7.1.1. Klausuraufgaben

Drei Klausuraufgaben zur Atmosphärenchemie durfte ich, in Rücksprache mit Frau Langhauser, in deren Kursarbeit einbauen. Dabei habe ich Wert auf einen engen Bezug zu den Unterrichtsinhalten gelegt. Nahezu alle Aufgaben wurden von den Schülerinnen fast vollständig gelöst, was sich in überdurchschnittlich hohen Punktzahlen im Bereich dieser Aufgaben äußerte. Besonders hervorzuheben ist dabei die vorsichtige aber präzise Art der Formulierungen bei Aufgaben, die mit längeren Texten beantwortet werden mussten. Leider musste man bei anderen Aufgaben aber auch feststellen, dass besonders eine Schülerin immer noch die Ozonthematik mit dem Treibhauseffekt eng verbindet, was zeigt, dass es scheinbar länger braucht um falsche Schülervorstellungen zu korrigieren.

7.1.2. Epochalnoten

Während ich die Unterrichtsreihe hielt, verschaffte sich die Fachlehrerin sinnvollerweise einen Überblick über die Qualität der Schüleräußerungen. Sie hatte selbst festgestellt, dass die Schülerinnen bei dieser Unterrichtsreihe besonders motiviert waren, was sich gerade für diesen Beobachtungszeitraum, in Form von überdurchschnittlich guten Epochalnoten äußerte. Bei der Bewertung dieser mündlichen Leistung stimmten wir beide unsere sehr ähnlichen Notenvorschläge miteinander ab, sodass wir zu folgendem Ergebnis, mit dem ungewöhnlich hohen Durchschnitt von 11,7 Punkten, kamen.

Punkteverteilung-Epochalnoten								Ø
MSS Punkte	14	13	12	11	11	11	10	11,7
Anzahl	1	1	1	1	1	1	1	

7.1.3. Wissensfragen aus der Online-Befragung

Wie eingangs erwähnt sollte ein versteckter Wissenstest in der Online-Befragung¹²⁸, die vor Beginn der Reihe durchgeführt wurde, den Wissensstand der Schülerinnen testen. Dabei stimmten 71,4% der Befragten (bei n = 7 entspricht das 5 Schülerinnen) der Falschaussage „wegen des Ozonlochs kommen mehr Sonnenstrahlen in die Atmosphäre. Die ist der Grund für die Klimaerwärmung“ zu. Um einen Lernerfolg besser messen zu können, habe ich dieselbe Frage in einem neuen Fragebogen, nach dem Halten der Reihe, erneut gestellt. Die Ergebnisse der Gegenüberstellung sprechen dabei für sich. Nur noch eine Schülerin war dabei seltsamerweise immer noch der Meinung, dass der Grund für die Klimaerwärmung im Ozonloch liegt. Damit habe ich ein wichtiges übergeordnetes Lernziel der Reihe erreicht, das anstrebte falsche Schülervorstellungen zu korrigieren. Dass sich dabei das Wissen der Schülerinnen über dennoch erwiesene Korrelationen zwischen dem Ozonloch und dem Treibhauseffekt im Rahmen der Reihe vertieft hat, zeigen die Ergebnisse der zweiten Frage. Alle Schülerinnen stimmen dabei korrekterweise zu, dass eine verstärkte Einstrahlung von UV-B und UV-C Strahlen das Phytoplankton schädigt, was sich auf die Bindung von Kohlendioxid und die Abgabe von Sauerstoff

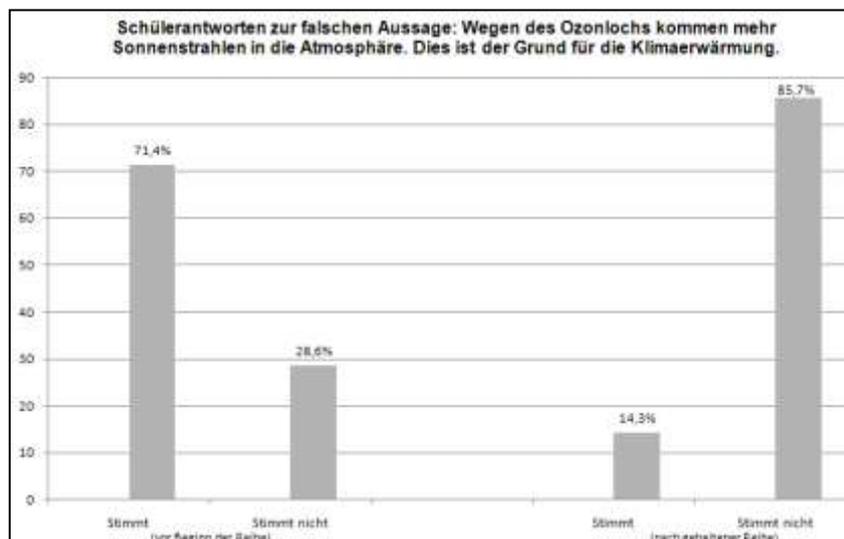


Abbildung 12: Vergleich von Schülerantworten vor und nach dem Halten der Unterrichtsreihe

¹²⁸Die Wissensfragen und deren Ergebnisse sind statistisch gesehen nicht auswertbar, da bei einer Stichprobe von nur sieben Teilnehmerinnen keine signifikante Aussage getroffen werden kann. Dennoch geben die Ergebnisse ein Bild, was sich qualitativ interpretieren lässt.

durch die Fotosynthese betreibenden Mikroorganismen auswirkt und treibhausverstärkend das Klima beeinflusst. Des Weiteren stimmten 71,4% der Befragten Schülerinnen der richtigen Aussage zu, dass die Erwärmung der Atmosphäre die Abkühlung der Stratosphäre zur Folge hat, was wiederum die Bildung von stratosphärischen Perlmutterwolken begünstigt, an deren Oberfläche verstärkt der Abbau von Ozon stattfindet. Damit begünstigt die Klimaerwärmung die Vergrößerung des Ozonlochs, was sich wiederum negativ auf die, durch Strahlung exponierte Biosphäre auswirkt.

7.2. Reflexion der gehaltenen Unterrichtsreihe

Die Gesamtreflexion möchte ich anhand eines Rückgriffs auf angestrebte Ziele der Unterrichtsreihe und qualitativer Schüleraussagen aus der anonymen Schülerbefragung vornehmen. Die übergeordneten Ziele **„Erarbeitung und Vermittlung von Wissen über die Chemie der Atmosphäre“**, **„Richtigstellung von falschen Vorstellungen“**, sowie **„Wissenschaftspropädeutik und Fachsprache“** konnten, wie bereits dargelegt und anhand von schriftlichen Lernprodukten bewiesen, erreicht werden. Den während der Einordnung in die Bildungsstandards aufgezeigten weiteren zwei Zielen der **„Stärkung der Kommunikationsfähigkeit gegenüber kontroversen Themen“** und der **„Stärkung der Handlungskompetenz“** konnte im Rahmen dieser Reihe ebenfalls erfolgreich nachgegangen werden. Vor allem im Bereich der Kommunikationsfähigkeit haben Schülervorträge, Referate, Kurzpräsentationen, Diskussionen, Unterrichtsgespräche oder auch Gespräche mit Wissenschaftlern des MPI gezeigt, dass sich die Schülerinnen selbstbewusst, fachlich aber auch kritisch mit den Inhalten der Unterrichtsreihe auseinandergesetzt haben. Darüber hinaus haben sie ein Fachwissen erlangt, was sie im Fachunterricht aber vor allem auch außerschulisch dazu befähigt, auf einem fachlich hohen Niveau über das im Alltag so präsenste Thema der Erderwärmung und eines geschehenden/drohenden Klimawandels mitreden zu können. Gerade die weiterführende und vertiefende Auseinandersetzung mit Argumenten der Klimakritiker stärkte diese gestiegene Kommunikationsfähigkeit erneut und war für diese Reihe nahezu verbindlich geworden.

Die Stärkung der Handlungskompetenz, im Sinne eines nachhaltigen und umweltgerechteren Handelns war mir ein besonders wichtiges Anliegen für diese Reihe, gerade auch in Bezug auf die nüchternen Ergebnisse vieler fachdidaktischer Publikationen im Bereich der schulischen Umweltbildung. Um diese Ziele in ihrer Erreichung zu überprüfen, muss ich mich fragen, ob es die Unterrichtsreihe über eine

reine Wissensvermittlung hinaus geschafft hat, Schüler vom Umweltwissen zum Umwelthandeln zu bewegen. Die Beantwortung der Frage 6¹²⁹ zeigt, dass zumindest konkrete, im Alltag einfach umsetzbare Handlungsmöglichkeiten von den Schülerinnen genannt werden. Dabei zeigen die Schülerinnen vor allem, dass sie als junge Autofahrerinnen ein Verantwortungsbewusstsein besitzen und um ökonomische wie ökologische Vorzüge eines sparsamen Fahrstils wissen. Darüber hinaus zeigen einige Schülerinnen, dass beispielsweise schon vor der Unterrichtsreihe Wert auf gewisse Aspekte im Alltag („Fahrrad fahren“, „kurze Wege zu Fuß zurücklegen“, „saisonales und regionales Obst und Gemüse essen“) gelegt wurde. Es ist auch von einer gewissen Überzeugung auszugehen, wenn Schülerinnen schreiben, dass sie „andere darauf aufmerksam machen“ wollen, die Umwelt zu schonen oder „versuchen, andere Menschen über Irrtümer (was die Atmosphärenchemie betrifft) aufzuklären“. Ein weiterer Aspekt der Umwelthandeln par excellence demonstriert ist der initiierte Vorschlag der Lerngruppe in einem zur Schule nahegelegenen Waldstück fünfhundert Bäume zu pflanzen und damit Teil der weltweiten Kampagne „Plant for the planet – trees for climate justice“¹³⁰ zu werden. Dabei hat eine Schülerin den Kontakt zu regionalen Förstern aufgenommen und diese schnell mit den Ideen der Lerngruppe begeistert. Derweil wird die Pflanzaktion, in Rücksprache mit der Schulleitung, wohl auf die Oberstufe (11./12. Jahrgangsstufe) ausgeweitet und ein Waldstück gesucht, das mit öffentlichen Verkehrsmitteln erreichbar ist. Die Kosten für die Bäume werden dabei von der Stadt übernommen. Eine Pflanzurkunde¹³¹ wurde unterstützend bereits von mir gestaltet, um das ehrenamtliche Engagement der Pflanzenden, die an einem Freitagnachmittag und einem Samstag pflanzen werden, zu loben. Dabei sollen die GPS-Koordinaten von je einem Baum einer jeden Teilnehmerin erfasst werden, sodass diese über Programme wie Google Earth schauen können, wie sich ihr Beitrag zum Klimaschutz langfristig entwickelt. Für mich ist mit dieser Pflanz-Aktion auch das anspruchsvolle Ziel der Stärkung der Handlungskompetenz mehr als erreicht worden.

Im Folgenden möchte ich auch das umgesetzte **Methodenkonzept** kritisch reflektieren. Handlungsorientierung, offener Unterricht und Schülerzentrierung sind Begriffe, die eng miteinander verzahnt sind und in der Planung wie Durchführung von der Makro- bis in die Mikroebene der Reihe umgesetzt wurden. Dabei habe ich vor allem Wert darauf gelegt, die Schülerinnen so selbstständig wie möglich an die

¹²⁹ Anhang, S.159.

¹³⁰ Plant-for-the-Planet-Foundation (2010).

¹³¹ Anhang, S.144.

Themen heranzuführen. Dazu gehörten ein vielseitiger Medieneinsatz genauso wie eine Vielfalt in den Sozialformen. Der Schwerpunkt lag dabei auf der Auswahl solcher Sozialformen, die Schülerinnen möglichst selbstständig und selbsttätig Inhalte erarbeiten ließen. Besonders die Wahl eines experimentellen Schwerpunkts hat diese Selbstständigkeit gefördert, für eine durchgehende Schülermotivation, bei gleichzeitiger Handlungsorientierung, gesorgt und sich gerade bei einer so kleinen Lerngruppe als überaus sinnvoll erwiesen. Bei den Medien waren die Schülerinnen vor allem von ungewöhnlichen, wie dem Pop-Song, dem Ozon-Comic, dem Mechanismus-Puzzle, den computergestützten Experimenten, den Animationen und dreidimensionalen Modellen, begeistert. Obwohl solche Medien in einem ‚modernen Chemieunterricht‘ häufig zur Anwendung kommen, haben viele der Schülerinnen hier methodisches Neuland betreten. Gerne möchte ich auch die neueren Schulbücher beim nächsten Mal stärker berücksichtigen und in den Unterricht einbinden. Im Gegensatz zu dem eingeführten gibt es in neueren Büchern mittlerweile sehr gute und auch längere Einheiten zur Atmosphärenchemie. Zusammenfassend und im Sinne der Schüler würde ich auch wieder methodisch so vielfältig vorgehen, ganz nach dem Motto „Mischwald statt Monokultur“¹³². Kritisch zu erwähnen ist, dass offener Unterricht in dieser Form zeitintensiv in Vorbereitung und Durchführung ist. Dabei ist vor allem die Vorbereitungszeit für den Lehrer, der sich in der Durchführung moderierend im Hintergrund hält, vor Beginn einer solchen Reihe intensiv. Für die Schüler selbst ist die Durchführungszeit gegenüber lehrerzentrierten Formen länger, was bei der Zeitplanung beim nächsten Mal besser berücksichtigt werden muss. Schülerzentrierung heißt auch die Inhalte auf das Lerntempo der Lerngruppe anzupassen, so dass aus sechs Unterrichtsstunden schnell sieben werden können. Dies zeigt, dass gerade offen konzipierte Stunden/ Reihen nicht immer minutiös planbar sind. Bei der Auswahl der Unterrichtsinhalte und vor allem bei der Anordnung der Stunden würde ich ebenfalls wieder so vorgehen wie aufgezeigt und erläutert. Der Lehrplan macht hier gute Vorgaben und deckt wesentliche Inhalte ab, an denen man sich als Lehrer orientieren kann. Beim nächsten Mal würde ich noch die Methode der IR-Spektroskopie einführen, die während dem Halten der Reihe mehrmals das Verständnis für die Wechselwirkung zwischen Strahlung und den Treibhausgasen hätte vertiefen können. Bei der Operationalisierung der Inhalte hat es sich bewährt, die didaktische Mitte auf die ausgewählten klimawirksamen Treibhausgase zu legen.

¹³² Meyer, H. (2010).

Diese bieten als inhaltlichen Schwerpunkt der Unterrichtsreihe eine hervorragende fachliche Basis, auf der alle anderen Themen aufbauen können.

Der induktive Weg über das allgemeine Phänomen des Klimawandels und seine sichtbaren Auswirkungen hat sich ebenfalls bewährt und ist nach wie vor für diese Lerngruppe das Unterrichtsverfahren meiner Wahl. Gerade dieser Weg hatte immer wieder für Neugierde und Spannung bei den Schülerinnen gesorgt, was bei atmosphärenchemischen Inhalten nicht immer der Fall sein muss. Auch die Anordnung der Einzelstunden unterstütze diesen Verlauf, sodass auch die individuelle Ebene langsam und sukzessive angesprochen werden konnte. Die Vorgehensweise erst von natürlichen Prozessen (Treibhauseffekt/ Auf- und Abbau von Ozon) auf vom Menschen verursachte Störungen dieser Kreisläufe hinzuführen war dabei hilfreich. Eine andere Anordnung kommt für mich nach wie vor nicht in Frage, sofern die Exkursion integriert ist. Die Anordnung wie die gesamte Reihe muss natürlich besonders überdacht werden, wenn diese Reihe in einer anderen Lerngruppe gehalten werden würde, da hier andere fachliche Voraussetzungen gelten.

Weiterhin sollte diese Reihe fächerübergreifend gehalten werden. Dabei muss ich zugeben, dass die Literaturrecherche lange gedauert hat, sich dafür aber eine Materialfülle ansammelte, die zum Verschaffen eines weiten fachlichen Überblicks sowie bei der Erstellung von Arbeitsblättern enorm hilfreich war. Besonders die Geographie hat mit fachwissenschaftlichen und fachdidaktischen Beiträgen diese Unterrichtsreihe bereichert. Auch die Physik hat in fachdidaktischen Artikeln gute experimentelle Umsetzungen des Themas aufgezeigt und mich vor allem im Bereich der Stationenarbeit inspiriert. Es braucht genügend Vorbereitungszeit um fächerübergreifend zu arbeiten, aber die inhaltliche Bereicherung zahlt sich aus. Zudem war und ist eine fächerübergreifende Herangehensweise an ein solch interdisziplinär arbeitendes Forschungsfeld einfach angebracht und notwendig.

Allgemeines

Die Darstellung der Frage 3¹³³ zeigt, wie die Schülerinnen die Unterrichtsreihe nach ausgesuchten Kriterien bewertet haben. Dabei haben nahezu alle Kriterien überwiegend mit gut bis sehr gut abgeschnitten, was sicherlich auch einen gewissen Wohlwollen der Schülerinnen zeigt. Umso kritischer muss man aus diesem Grund mit Wertungen im befriedigenden Bereich umgehen. Am problematischsten ist in diesem Punkt wohl der „Umfang des Materials“ gewesen. Dies zeigen vor allem die qualitativ

¹³³ Anhang, Seite 158.

erfassten Äußerungen, die in einer offenen Reflexionsfrage zur Geltung kamen. Darin haben die Schülerinnen genau diesen Punkt angesprochen: „Zu viel Material“, „zu viele Hausaufgaben (auch, wenn wir ein LK sind!)“ und „zu wenig Zeit“. Würde ich diese Reihe heute noch einmal wiederholen können, würde ich auch genau diese Kritik beherzigen. Die Schülerinnen haben im Unterricht und über E-Mail Arbeitsaufträge erhalten, was ihnen gerade in der Klausurphase nicht immer gefallen hat. In einem Leistungskurs halte ich es für sinnvoll Hausaufgaben in jeder Stunde aufzugeben, jedoch hätte es etwas weniger sein dürfen und die Vergabe auch nicht über zwei Kommunikationswege stattfinden müssen. Das Material für die Stunden, würde ich bis auf einige sinngemäße Kürzungen und Auslassungen („es waren ein wenig zu viel Arbeitsblätter“), die den Umfang etwas schmälern, beibehalten, denn in jeder Stunde konnten fast alle Lernziele über die Materialien erreicht werden, wenn auch die Stunden Lehrprobencharakter besaßen und die Schülerinnen gleichermaßen förderten wie auch forderten. Die Hauptkritik lag wie bereits erwähnt an der zeitlichen Einbettung der Unterrichtsreihe. Das habe ich selbst spätestens bei der Stationenarbeit erkannt und die Schülerinnen durch Aussagen wie „außerdem finde ich, dass die Unterrichtsreihe hätte länger sein müssen“ oder „ich hatte mich gerade erst in das Thema eingefunden, als die Reihe endete“ deutlich machen. Dabei sehe ich hier klare Wege zur Optimierung:

Man muss den Zeitrichtwert von acht Schulstunden den der Lehrplan für die vermittelten Inhalte vorgibt modifizieren. Genauer gesagt, lassen sich die hier umgesetzten Themengebiete in acht Stunden umsetzen, wenn dies in einem eher lehrerzentrierten Unterricht geschieht. Diese acht Stunden reichen nicht mehr aus, wenn der Unterricht methodisch geöffnet und über Schülerexperimente ein entdeckendes Lernen angestrebt wird. Hätte ich dies vorher erkannt, wäre wahrscheinlich die Ozonthematik für diese Reihe nicht mehr thematisiert worden, wobei dann weder der Ozonversuch im MPI, die fachlichen Verdienste von Prof. Crutzen, noch die Richtigstellung von Fehlvorstellungen zum Tragen gekommen wären. Kurz gesagt, hätte es einfach ein bisschen weniger sein dürfen, denn am Ende ist es bei allen vermittelten und gelernten Inhalten schade, wenn Schülerinnen das Gefühl von Zeitdruck verspürt haben.

Zur Stationenarbeit ist zu sagen, dass es mit Blick auf ein volles Deputat nicht mehr möglich sein wird Unterrichtsmodelle von Hannover nach Speyer zu bringen. Rückblickend würde ich diese lange Autofahrt nicht mehr auf mich nehmen. Anstelle von dieser würde ich, mit noch mehr Vorlauf in der Planung, das favorisierte Modell

mit anderen Mitteln nachbauen und auch gegebenenfalls noch mehr Rat von ‚Tüftlern‘ einholen. Alternativ würde ich mich mit einem weniger anschaulichen Versuch zufriedengeben und mich damit auf ein höheres Abstraktionsniveau bei den Schülerinnen verlassen. Dies wäre bei einem Leistungskurs Chemie durchaus legitim, soll im Sinne der Wissenschaftspropädeutik auch eine abstrakte Denkweise geschult werden. Hinzu kommt, dass ich mich als Lehrer (Vorbildfunktion), der sich für Umweltbildung einsetzt ungläubwürdig mache, wenn ich so viele Kilometer mit dem Auto fahre. Aus diesem Grund habe ich auch den Schülerinnen die Herkunft des Modells verschwiegen, was mir aber trotz allem in Bezug auf die Vorbildfunktion widersprüchlich erscheint.

Die Methode der direkten Evaluierung über einen Fragebogen, vor allem mit der Möglichkeit über offene Fragen individuelle Antworten zu erhalten, würde ich jederzeit wieder verwenden. Auf diesem Wege habe ich von den Schülerinnen eine Menge wichtiger und neuer Aspekte im Bereich der Unterrichtsplanung und Unterrichtsdurchführung lernen dürfen.

8. Literaturverzeichnis

Fachwissenschaftliche Literatur

BUCHAL, C. & SCHÖNWIESE, C.D. (2010). Klima. Die Erde und ihre Atmosphäre im Wandel der Zeiten. Helmholtz Gemeinschaft.

CRUTZEN, P.J. & GRAEDEL, T.E. (1994). Chemie der Atmosphäre. Bedeutung für Klima und Umwelt. Spektrum Verlag.

CRUTZEN, P.J. & GRAEDEL, T.E. (1995). Atmosphäre im Wandel. Die empfindliche Lufthülle unseres Planeten. Spektrum Verlag.

CRUTZEN, P. J. (1996). Mein Leben mit O₃, NO_x und anderen YZO_x-Verbindungen (Nobel-Vortrag). *Angewandte Chemie*. 108/16, S.1878-1898.

DAMERIS, M. (2010¹). Abbau der Ozonschicht im 21. Jahrhundert. *Angewandte Chemie*, 122, 499-501.

DAMERIS, M. (2010²). Klimawandel und die Chemie der Atmosphäre - wie wird sich die stratosphärische Ozonschicht entwickeln? *Angewandte Chemie*, 8268-8279.

FABIAN, P. (1996). Kohlenstoffdioxid und andere Treibhausgase: Luftverschmutzung und ihre Klimawirksamkeit. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie*, 2/45, 2-14.

FEICHTER, J., SCHURATH, U. & ZELLNER, R. (2007). Luftchemie und Klima. *Chemie unserer Zeit*, 138-150.

HUG, H. (2000). Zweifel am anthropogenen Treibhauseffekt. *Chemie im Kontext (Chemkon)*, 1, 6-14.

KOHL, H. (2008). Vierter Sachstandsbericht des IPCC. Der Mensch ändert das Klima. *Physik unserer Zeit*, 39, 176-181.

RASCHKE, E. & STUHLMANN, R. (2001). Zweifel am anthropogenen Treibhauseffekt? Eine Stellungnahme. *Chemie im Kontext (Chemkon)*, 8, 99-102.

RIEDEL, E. (2002⁵). Anorganische Chemie. Walter de Gruyter. Berlin.

SCHUMANN, U. (2008). Atmosphärenforschung. Luftverkehr und Klima. *Physik unserer Zeit*, 39, 143-149.

STRAHLER, A. & STRAHLER, A.N. (2009⁴). Physische Geographie. Ulmer/UTB. Stuttgart.

Fachdidaktische Literatur

ASSELBORN, W., JÄCKEL, M., RISCH, K.T. (1998¹). Chemie heute – Sekundarbereich II. Schroedel, Hannover.

BAHR, M. (2007). Bildung für nachhaltige Entwicklung - ein Handlungsfeld (auch) für den Geographieunterricht?! *Praxis Geographie* 9/2007, 10-13.

BLUME, R. *ET AL.* (2005). Chemie für Gymnasien. Organische Chemie, Themenheft 2. Brennstoffe (Erdöl, Erdgas, Kohle, Biomasse). Cornelsen Verlag. Berlin.

BOHL, R. (1997). Möglichkeiten der Nutzung des Internet im Chemieunterricht. Erfassung und Austausch experimenteller Daten zum Reifungsprozess von Weintrauben. Eine Unterrichtsreihe in einem Leistungskurs der Jahrgangsstufe 13. Pädagogische Hausarbeit. (Interne Publikation, Studienseminar Speyer).¹³⁴

DE HAAN, G. (2007). Bildung für nachhaltige Entwicklung als Handlungsfeld. *Praxis Geographie*, 9, 4-9.

DEMUTH, R. (1996). Umweltbereich Luft. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie*. Heft 2/45.

DEMUTH, R., PARCHMANN, I. & RALLE, B. (2006). Chemie im Kontext. Sekundarstufe II. 4. Kohlenstoffdioxid im Blickpunkt. Berlin, Cornelsen Verlag.

DGFG (Hg.) (2008⁵). Bildungsstandards im Fach Geographie für den Mittleren Schulabschluss – mit Aufgabenbeispielen. Berlin.

GEÖRG, J. & KARCH, C. (2003). Globale Zusammenhänge verstehen. Ein Lernzirkel zur CO₂-Problematik. In: Unterricht Chemie. Kohlenstoffdioxid in Natur und Alltag. Nr. 78.

GERMANWATCH (2008). Das Abschmelzen der Gletscher. Bonn/Berlin.

GRAF, E. (2002). Modelle. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*. Heft 67/1.

HABRICH, W. (1999). Umweltbildung. Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. *Geographie heute*, 20, 2-6.

HEMMER, M. & HEMMER, I. (2002). Mit Interesse lernen – Schülerinteresse und Geographieunterricht. *Geographie Heute*, 202, 2-7.

¹³⁴ Die Arbeiten von Herrn Bohl und Frau Widerstein wurden zur Gliederung der eigenen Arbeit herangezogen.

- HOFFMANN, R. (2002). Umweltbildung im Geographieunterricht: Von Umwelterziehung zu Bildung für nachhaltige Entwicklung. *Geographie und ihre Didaktik*, 4, 173-188.
- HOFFMANN, T. & KORBY, W. (2009). Terra Global, SII Arbeitsmaterial. Klima im Wandel. Klett-Verlag. Stuttgart.
- HÖTTECKE, D., MAISEYENKA, V., RETHFELD, J. & MROCHEN, M. (2009). Den Treibhauseffekt verstehen. Ein Lernzirkel zur Erarbeitung des komplexen Phänomens „Treibhauseffekt“. S. 24-36. In: MÜLLER, W., MÜLLER, A. & KUHN, J. (2009). Klimawandel. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*. Heft 111/112.
- JOHANNES GUTENBERG UNIVERSITÄT MAINZ (2006). Skript zum Fachdidaktikseminar Chemie, Fachbereich Chemie und Pharmazie. Abteilung für Lehramtskandidaten der Chemie.
- KIRCHBERG, G. (1998). „Fächerübergreifender“ Geographieunterricht. Zu den Möglichkeiten, Formen und Grenzen des fachoffenen Lernens. *Geographie und Schule*, 20(114), 2-8.
- KÖCK, H. (Ed.) (2000). Warum umweltbewusstes Raumverhalten so schwer fällt - und wie der Geographieunterricht dem gegensteuern könnte. Bretten, Verband Deutscher Schulgeographen e.V.
- KUCKARTZ, U. (2008). Umweltbewusstsein und Umweltverhalten. Informationen zur politischen Bildung. H. 287, S. 4-8.
- KULTUSMINISTERKONFERENZ, KMK (2004): Bildungsstandards Im Fach Chemie für den Mittleren Bildungsabschluss.
- LENZ, T. (2008). Handlungsorientiert im Geographieunterricht. *Geographie Heute*. Sammelband Geographie unterrichten. Didaktische und Methodische Wegweiser, S. 106-111. Friedrich-Verlag.
- LUTZ, B., PFEIFER, P. & SCHMIDKUNZ, H. (1999). Methodenvielfalt. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*. Heft 5.
- MAISCH, M. & HAEBERLI, W. (2003). Die rezente Erwärmung der Atmosphäre – Folgen für die Schweizer Gletscher. *Geographische Rundschau* 55. Jg., 2/8.
- MENNERICH, I. (2007) CO₂ und H₂O in der Atmosphäre - Grundlagen und Experimente zum Treibhauseffekt - 1. *Unterrichtsprojekte Natur und Technik , Arbeitshilfe 19.43 "Treibhauseffekt". Zum Experimentieren im Unterricht, in Arbeitsgemeinschaften und Projektwochen. Schulbiologiezentrum Hannover*, 1-29.
- MINISTERIUM FÜR BILDUNG, WISSENSCHAFT UND WEITERBILDUNG (1998). Lehrplan Chemie für die Sekundarstufe II. Mainz.

MÜLLER, W., MÜLLER, A. & KUHN, J. (2009). Klimawandel. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*. Heft 111/112.

NIEBERT, K. (2009). Es wird wärmer, weil mehr Sonne auf die Erde scheint! Wie Lernende sich die globale Erwärmung vorstellen. In: *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*. 111/112, S. 20-23.

OBST, H. (1997). „Fächerübergreifender“ Unterricht. Chemieunterricht fächerübergreifend und Chemie im fächerverbindenden Unterricht. *NiU-Chemie* 8, 40.

OTTO, K.H. (2008). Experimentieren im Geographieunterricht. *Geographie Heute*. Sammelband Geographie unterrichten. Didaktische und Methodische Wegweiser, S. 118-123. Friedrich-Verlag.

PETERMANN, K., FRIEDRICH, J. & OETKEN, M. (2008). Das an Schülervorstellungen orientierte Unterrichtsverfahren. Inhaltliche Auseinandersetzung mit Schülervorstellungen im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Chemie im Kontext (Chemkon)*, 15, 110-118.

PFEIFER, P. ET AL. (2002³). Konkrete Fachdidaktik Chemie. Oldenbourg Schulbuchverlag. München.

Kapitel 3.1.4. Modelle und Modellvorstellungen in der Chemie und im Chemieunterricht

Kapitel 8.2. Die Wissenschaft Chemie im Vordergrund

Kapitel 8.3. Die Lebenswelt im Vordergrund

Kapitel 9.6. Prinzip der Systematik und der fachübergreifenden Koordinierung

Kapitel 11.2.3. Das forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren

Kapitel 14.6. Demonstrationsexperiment oder Schülerexperiment – Was ist vorzuziehen?

REINFRIED, S., SCHULER, S., AESCHBACHER, U., HUBER, E. (2008). Der Treibhauseffekt – Folge eines Loches in der Atmosphäre? *Geographie Heute*, 265, 24-33.

RINSCHEDI, G. (2007³). Geographiedidaktik. Schöningh/ UTB. München.

SCHENZER, M. (1994). Chemieunterricht ohne Entsorgungsproblem – Experimentalunterricht in der Sekundarstufe II. Dissertation, Kiel, in: Pfeifer et al. (2002).

SCHULER, S. (2005). Globales Lernen. *Praxis Geographie*. 4/2005.

STÄUDEL, L. (2002). Offene Lernformen. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*. Heft 70/71.

STÄUDEL, L. (2003). Der Aufgabencheck. Überprüfen Sie Ihre „Aufgabenkultur“. In: Aufgaben. Lernen fördern – Selbstständigkeit entwickeln. Friedrich Jahresheft 2003.

STEINER, D. UND LUTZ, B. (1995). Computereinsatz im Chemieunterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*. 3/96, 6. Jahrgang, Heft 28, S. 4-10.

REINFRIED, S., SCHULER, S., AESCHBACHER, U., HUBER, E. (2008). Der Treibhauseffekt – Folge eines Loches in der Atmosphäre? *Geographie Heute*, 265, 25.

VON BORSTEL, G. & BÖHM, A. (2004). ChemZ - Chemieunterricht mit medizintechnischem Gerät. *Naturwissenschaft im Unterricht Chemie*, Heft 81.

VON BORSTEL, G. & BÖHM, A. (2006). Le Chatelier einmal anders, Gleichgewichtsverschiebungen am Kontext Sprudelwasser. *Naturwissenschaft im Unterricht Chemie*, Heft 96, Sicher Experimentieren, 6/2006, S. 34-37

WIDERSTEIN, S. (2005). Ausgewählte Aspekte zu Körperbau, Verhalten und Ökologie der Spinnen. Unterrichtsversuch zur Überwindung von Ekel und Angst in einer Mädchenklasse der 7. Jahrgangsstufe. (Interne Publikation, Studienseminar Speyer).

WILHELMI, V. (2000) Umweltbildung - Umwelterziehung 2000. Theoretische Anforderungen und praktische Konsequenzen. *Umweltkommunikation*, 3.

WILHELMI, V. (2006) Nachhaltigkeitserziehung und Umwelterziehung. Leitbilder des Geographieunterrichts. *Praxis Geographie*, 2, 4-8.

WILHELMI, V. (2009). Das Tafelbild lebt! *Praxis Geographie*, 7-8, S. 58-59.

Allgemein-pädagogische Literatur

AMERI-SIEMENS, A. (2008). Ab ins Grüne! Das Naturheft. Magazin der Bundeszentrale für Politische Bildung, 26, 24-29.

GROBER, U. (2010). Die Entdeckung der Nachhaltigkeit. Kulturgeschichte eines Begriffs. Kunstmann.

GUDJONS, H. (1997⁵). Handlungsorientiert lehren und lernen. Bad Heilbrunn. Verlag Julius Klinkhardt.

GUDJONS, H. (2003). Pädagogisches Grundwissen. Bad Heilbrunn. Verlag Julius Klinkhardt.

KLAFKI, W. (1996⁵). Kap. 2: Grundzüge eines neuen Allgemeinbildungskonzepts. Im Zentrum: Epochaltypische Schlüsselprobleme. In: Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Zeitgemäße Allgemeinbildung und kritisch-konstruktive Didaktik. Weinheim.

MEYER, H. (1994⁶). Unterrichtsmethoden I und II: Theorieband/Praxisband. Cornelsen Verlag. Frankfurt am Main.

MEYER, H. (2010⁷). Was ist guter Unterricht? Cornelsen Verlag. Berlin.

SPITZER, M. (2002). Lernen. Gehirnforschung und die Schule des Lebens. Heidelberg/Berlin. Spektrum Akademischer Verlag.

STAATLICHES STUDIENSEMINAR FÜR DAS LEHRAMT AN GYMNASIEN SPEYER. (o.A.). Das „Speyerer Profil“, Aspekte zur Unterrichtsdurchführung.

TULODZIECKI, G., HERZIG, B., BLÖMEKE, S. (2009²). Gestaltung von Unterricht. Eine Einführung in die Didaktik. Klinkhardt/UTB. Bad Heilbrunn.

Sonstige

AMERI-SIEMENS, A. (2008). Langsam wird's eng. Der Klimawandel ist längst messbar uns sichtbar. Das Verhalten von Politikern und Gesellschaft ändert sich aber kaum. *Fluter. Magazin der Bundeszentrale für politische Bildung*, 26, 26-29.

BETHGE, P. (2001). Umwelt. Trommelfeuer der Hufe. In: Der Spiegel. 6/2001, S. 214-218.

BOVET, P. ET AL (2007). Klima. Le monde diplomatique. Atlas der Globalisierung (spezial).

BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (BMBF) (2003). Referat Öffentlichkeitsarbeit, Herausforderung Klima. Bonn, S.16-17.

BUNDESVERBAND DER UNFALLKASSEN & KMK-ARBEITSGRUPPE (2003). Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht. Empfehlungen der Kultusministerkonferenz.

KOHLHAMMER, K. (o.A.). Ran ans CO₂-Problem. *Eine Sonderpublikation von Bild der Wissenschaft in Zusammenarbeit mit dem Verband der Chemischen Industrie e.V.*

LLOYD, J. (o.A.). Das Wetter. Klima, Meteorologie, Naturgewalten. Parragon Books Ltd, Bath (UK).

MICHAEL, T. (2008). Diercke Weltatlas. Westermann Verlag. Braunschweig.

Internetquellen

ALFRED-WEGENER-INSTITUT FÜR POLAR- UND MEERESFORSCHUNG (AWI). Klimaerwärmung trifft besonders die Arktis, http://www.awi.de/de/aktuelles_und_presse/pressemitteilungen/detail/item/klimaerwaermung_trifft_besonders_die_arktis/?cHash=63aa121ec67fa9100fa2820dac84cdbc, Zugriff am 12.09.2010.

ATMOSFAIR GMBH. Nachdenken – Klimabewusst reisen, <https://www.atmosfair.de/>, Zugriff am 02.09.2010.

BILDUNGSSERVER. Klimawandel, <http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Eisschilde>, Zugriff am 30.08.2010.

BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (Österreich). Footprint – Next Generation, www.footprintrechner.at, Zugriff am 11.08.2010.

BURGESS, V. & WRIGHT, P. Carbon Footprint Toolkit (Klima & Co.) Hintergrundinfos. Der Treibhauseffekt, http://.onlinebp.de/carbon_footprint_toolkit, Zugriff am 11.09.2010.

CHRISTLICH DEMOKRATISCHE UNION (CDU). Wachstum. Bildung. Zusammenhalt. Der Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und FDP, <http://www.cdu.de/doc/pdfc/091026-koalitionsvertrag-cducsu-fdp.pdf>, Zugriff am 07.08.2010.

DEMOEX GMBH. Produkte. Treibhauseffekt, <http://www.demoex.ch/cms/index.php>, Zugriff am 30.08.2010.

DEUTSCHE UNESCO-KOMMISSION E.V. Bildung für nachhaltige Entwicklung. <http://www.bne-portal.de/>, Zugriff am 30.08.2010.

DEUTSCHER WETTERDIENST (DWD). www.deutscher-wetterdienst.de, Zugriff am 12.09.2010.

FACHSEMINAR CHEMIE. Der Treibhauseffekt. Engelskirchen, http://www.ps-chemieunterricht.de/chemiefachseminare/chemiemobil/thema7/infotext_treibh.pdf, Zugriff am 30.08.2010.

FAZ ONLINE. Emissionsquellen von Treibhausgasen, [www.faz.net.](http://www.faz.net), Zugriff am 13.08.2010.

FOCUS ONLINE. Special: Klima und Energie. http://www.focus.de/wissen/wissenschaft/klima/un-welttag-kampf-gegen-die-verwuestung_aid_520382.html, Zugriff am 11.09.2010.

FRITSCH, U. & EBERLE, U. Treibhausgasemissionen durch Erzeugung und Verarbeitung von Lebensmitteln. Arbeitspapier. Öko-Institut e.V.(Hg). Darmstadt/Hamburg, <http://www.oeko.de/oekodoc/328/2007-011-de.pdf>, Zugriff am 03.09.2010.

INSTITUT DR. FLAD. Modellversuch zum Treibhauseffekt.
<http://www.chf.de/eduthek/treibhauseffekt.html>, Zugriff am 03.10.2010.

IPCC (2007). Climate Change 2007. Working Group I: The Science of Climate Change, Table 4.1, http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch4s4-1.html, Zugriff am 30.08.2010.

LANDESREGIERUNG RHEINLAND-PFALZ. Verfassung von Rheinland-Pfalz vom 18.Mai 1947, http://rlp.juris.de/rlp/gesamt/Verf_RP.htm, Zugriff am 7.08.2010.

NASA (2005).
http://modisatmos.gsfc.nasa.gov/IMAGES/MOD08D3H/_BROWSE_FIXEDSCALE/2005.030/Atmospheric, Zugriff am 19.09.2010.

NASA (2010). <http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/>, Zugriff am 19.09.2010.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). NOAA: 210 Tied For Warmest Year on Record.
http://www.noaanews.noaa.gov/stories2011/20110112_globalstats.html, Zugriff am 16.01.2011.

PLANT-FOR-THE-PLANET-FOUNDATION. Plant for the Planet – Trees for climate justice,
<http://plant-for-the-planet.org/de/activities/academies>, Zugriff am 02.09.2010.

POTSDAM INSTITUTE FOR CLIMATE IMPACT RESEARCH. <http://www.pik-potsdam.de/>, Zugriff am 11.09.2010.

Sk8. Benzin sparen. Sparen kann acht Kapitel füllen,
<http://sk-8.de/energie/eneBenzinsparenPkw.php>, Zugriff am 11.09.2010.

SPIEGEL ONLINE. Nachhaltigkeit? Nein, danke!
<http://www.spiegel.de/wirtschaft/soziales/0,1518,703358,00.html>, Zugriff am 12.09.2010.

THE PEW CHARITABLE TRUSTS. Environment. [www.net.org](http://www.pewcharitabletrusts.org), Zugriff am 11.09.2010.

UHEREK, E. ENVIRONMENTAL SCIENCE PUBLISHED FOR EVERYBODY ROUND THE EARTH. (ESPERE), www.atmosphere.mpg.de/enid/2s7.html, Zugriff am 17.09.2010.

UNITED NATIONS (UN). Our Common Future. <http://www.un-documents.net/ocf-02.htm>, Zugriff am 24.06.2010.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). Ozone comic.
<http://www.epa.gov/ozone/science/missoz/missri.pdf>, Zugriff am 11.09.2010.

UNIVERSITY OF COLORADO. Greenhouse effect. Animation.
http://www.leifiphysik.de/web_ph08_g8/umwelt_technik/04treibhauseffekt/animationen.htm, Zugriff am 18.09.2010.

ZEIT ONLINE. Umwelt: Nobelpreisträger im Gespräch. <http://www.zeit.de/wissen/2010-09/nobelpreistraeger-paul-crutzen>, Zugriff am 4.11.2010.

ZICKMANN, H. & RAKOW, B. Treibhauseffekt. http://www.the-threat.de/geo/climate_change/impressum.php, Zugriff am 14.09.2010.

9. Anhang

Folgend sind alle Materialien der Reihe in chronologischer Anordnung aufgeführt.

„Nicht die Aufgaben sollen einem über den Kopf wachsen, sondern der Kopf soll über den Aufgaben wachsen.“

Gerhard Uhlenbrock

9.1. UNTERRICHTSMATERIAL

9.1.1. Erste Stunde: Atmosphärenaufbau und chemische Zusammensetzung

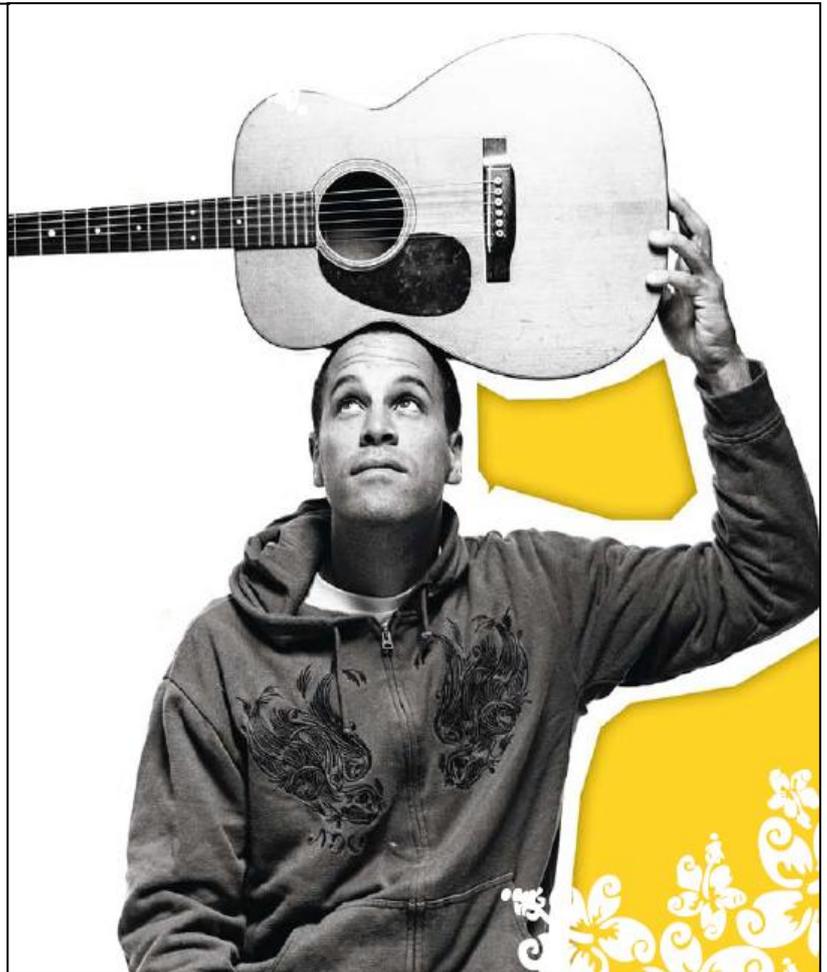
Erarbeitungsphase 1 – Arbeitsblatt (Songdatei im CD-Anhang)

JACK JOHNSON – All At Once

All at once,
The world can overwhelm me
There's almost nothing that you
could tell me
That could ease my mind

Which way will you run
When it's always all around you
And the feeling lost and found
you again
A feeling that we have no control
Around the sun
Some say
There's gonna be the new hell
Some say
It's still too early to tell
Some say
It really ain't no myth at all

Keep asking ourselves are we
really strong enough
There's so many things that we
got too proud of
We're too proud of

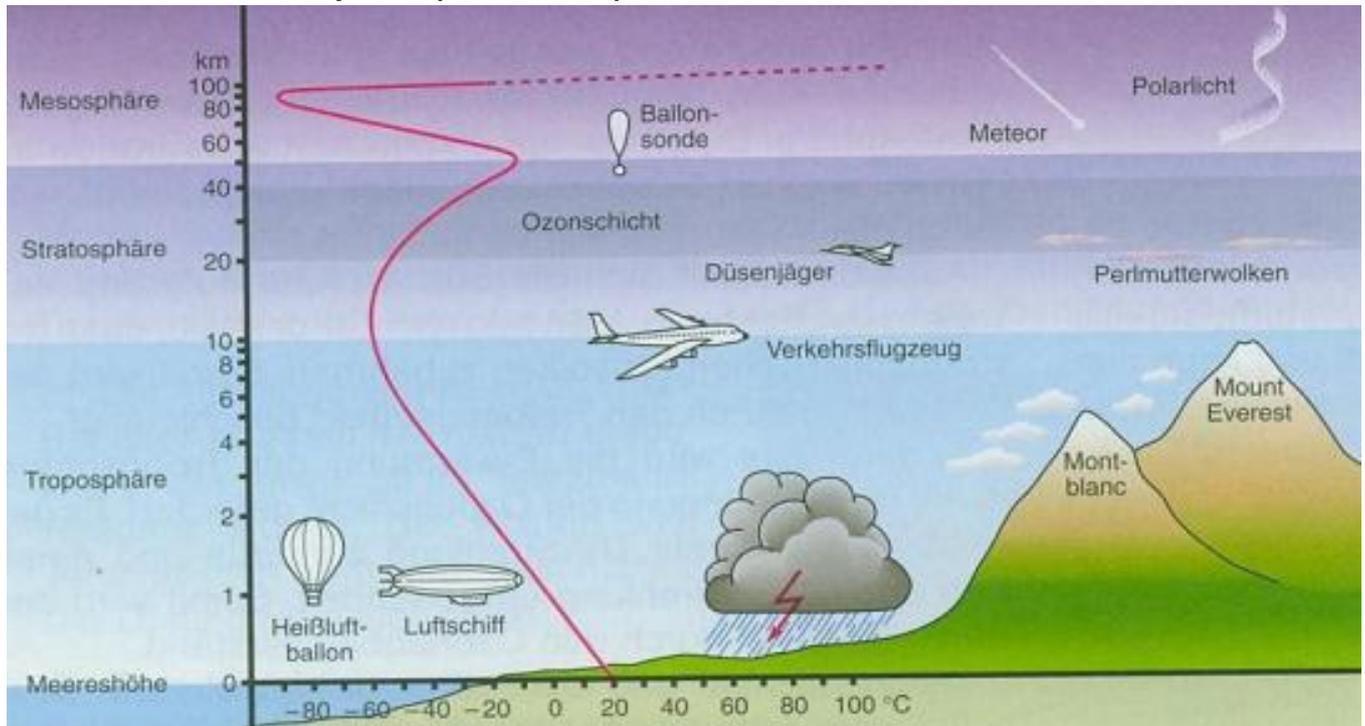


Arbeitsauftrag: Unterstreiche die für Dich wichtigen Passagen im Textausschnitt und interpretiere sie.

Interpretation (stichwortartig):

Erarbeitungsphase 2 – Arbeitsblätter (umseitig folgend)

M1: Aufbau der Atmosphäre (vereinfacht)



Quelle: Blume, R. et al. (2005). Chemie für Gymnasien. Organische Chemie, Themenheft 2. Brennstoffe (Erdöl, Erdgas, Kohle, Biomasse), S. 65. Cornelsen Verlag, Berlin.

M2: Wie dick ist unsere Atmosphäre?

Gerade bei Schriften mit Bezug zum Umweltschutz wird die Atmosphäre als eine dicke Schicht dargestellt. Aber sind die Erdkruste und die Atmosphäre wirklich so dick wie uns suggeriert wird? Immerhin ist die Erdkruste 60km dick und die Troposphäre (unsere „Wetterschicht“; vgl. M1) 10km hoch! Ein einfacher Vergleich zum Erddurchmesser beantwortet die Frage: Der Erddurchmesser beträgt 12.000 km. Würde man sich ein Modell der Erde im Maßstab $1:10^7$ bauen, erhält man eine Kugel von 1,20m Durchmesser. In diesem Modell ist die Erdkruste nur 6mm dick. Das Himalaja Gebirge wäre demnach eine etwas erhöhte raue Stelle mit einigen 1mm hohen „Pickeln“ (z.B. Mount Everest). In diesem Modell reicht die Troposphäre nur noch 1 mm hoch! Die etwa 35 Kilometer dicke Stratosphäre ist in diesem Modell nur noch 4mm dick! In einem Satellitenbild der Raumstation ISS (rechts) kann man diese dünnen Schichten bei Sonnenuntergang ansatzweise erkennen: Unten zeigt sich die orangefarbene Troposphäre sowie die Stratosphäre und die Mesosphäre (beide hellblau). Darüber geht die Atmosphäre kontinuierlich in die „Schwärze des Weltalls“ über.

Obwohl sie sehr dünn ist, hat die Atmosphäre lebenswichtige Eigenschaften für das Leben auf unserem Planeten:

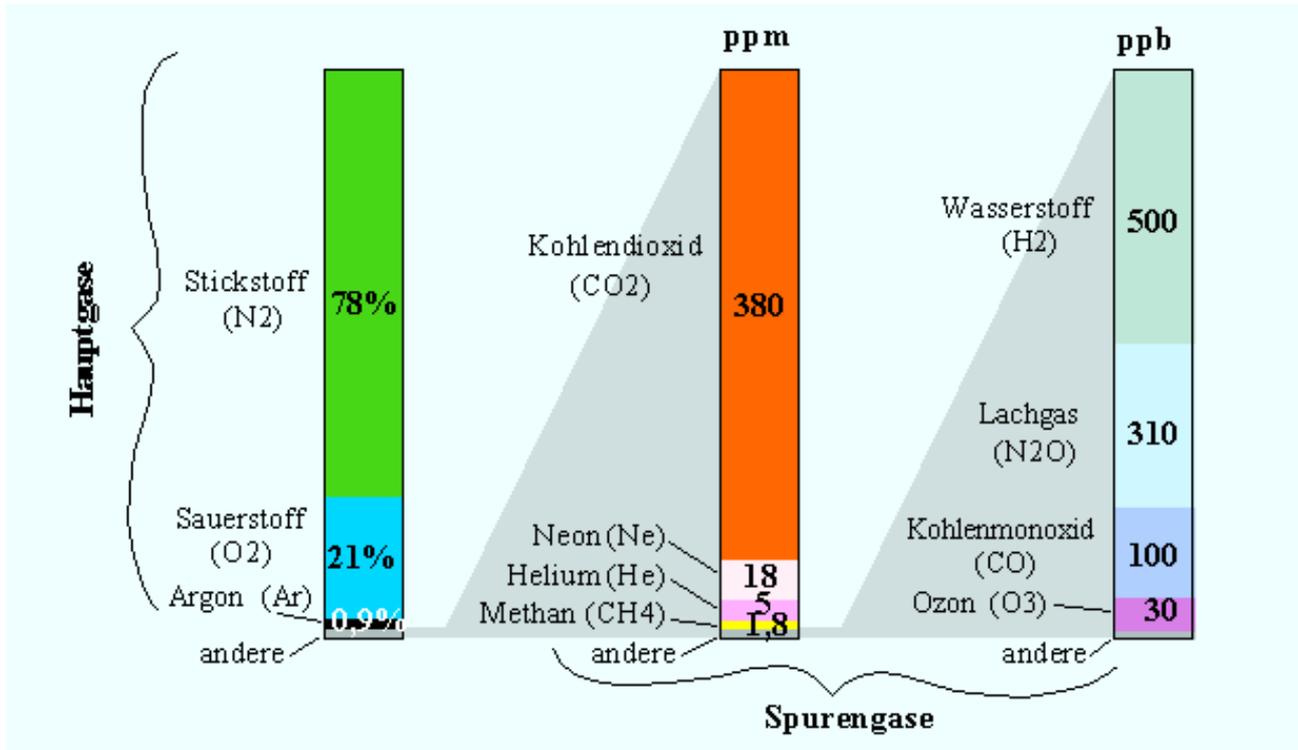
- sie versorgt uns mit Sauerstoff
- sie hält hochenergetische Weltraumstrahlung und kleinere Meteoriten von uns ab
- sie „puffert“ die Energie, die von der Sonne kommt (ohne Atmosphäre würden wir bei Nacht erfrieren und bei Tag verbrennen)
- sie garantiert im Zusammenspiel mit der Hydrosphäre ein gleichmäßiges Klima.

Das Klima wird aber vom Menschen beeinflusst, da dieser unsere dünne Schutzhülle als Raum zur Beseitigung diverser Stoffe nutzt. Sichtbar wird dieser Prozess kaum, da meist unsichtbare Gase in die Atmosphäre entlassen werden (vgl. M3).

Quelle: NASA (o. D.). Satellitenbild der ISS, in: Lloyd, J. (o.D.). Das Wetter. Klima, Meteorologie, Naturgewalten, S.34f. Parragon Books Ltd, Bath (UK). Quelle (Text): Verändert nach Blume, R. et al. (2005), S.65f.



M3: Die chemische Zusammensetzung der heutigen Atmosphäre (für trockene Luft)



Quelle: http://www.the-threat.de/geo/climate_change/2.treibhauseffekt.php

M4: Erläuterung zu den Einheiten ppm & ppb

Spurengase sind Gase, die nur einen sehr kleinen Anteil an der Luft ausmachen. Dies kann ein Molekül unter einer Milliarde oder noch mehr Luftmolekülen sein.

ppm (parts per million)

$\mu\text{mol} / \text{mol} = 10^{-6}$

(Mikromol / mol)

1 Molekül unter 1.000.000

ppb = (parts per billion)

$\text{nmol} / \text{mol} = 10^{-9}$

(nanomol / mol)

1 Molekül unter 1.000.000.000

1 Inder in Indien

1 Sekunde in 32 Jahren

Quelle: Verändert nach Uherek, E. ESPERE. (2007). www.atmosphere.mpg.de/enid/2s7.html

Arbeitsauftrag:

Bereitet mithilfe der ausstehenden Materialien ein **Kurzreferat** [max. 5-10 Minuten] vor.

1. Beschreibt dazu den Aufbau und die Temperaturverteilung in der Atmosphäre (M1 & M2).
2. Überträgt das Modell der Erde (M2) auf eine Zwiebel und erklärt daran die Größenverhältnisse zwischen Erddurchmesser und der Atmosphäre.
3. Beschreibt euren Mitschülerinnen die Zusammensetzung der Atmosphäre. Zeigt dabei auch den Anteil an Spurengasen.

Thema: Klimawandel – ein globales Problem!?

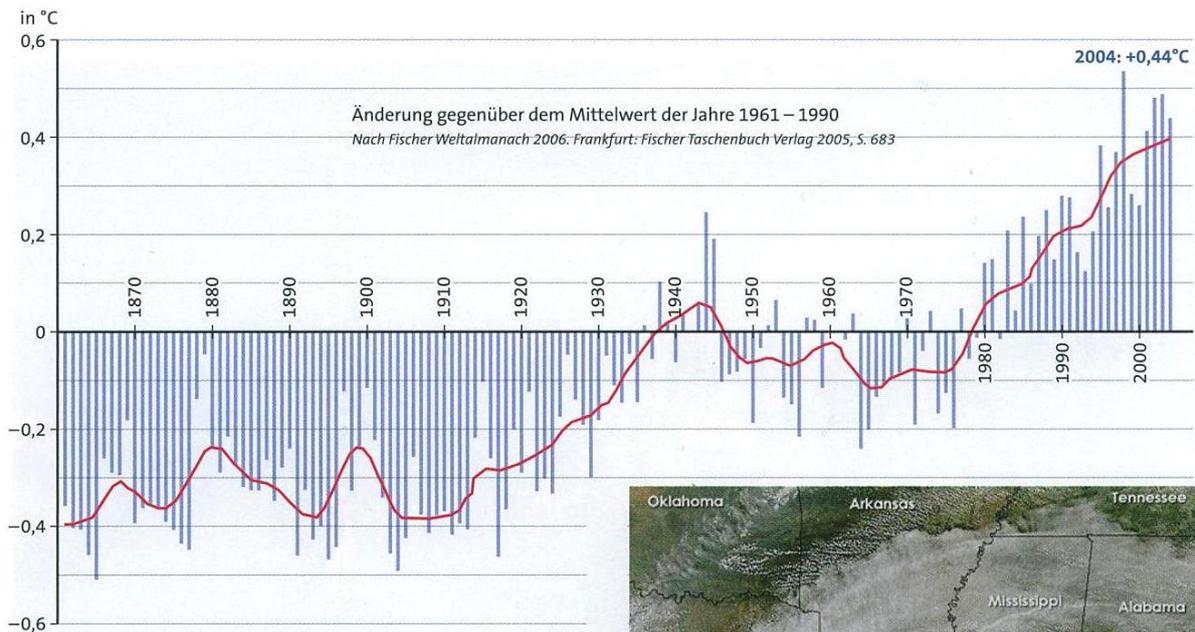
Fach: Chemie (Wi)

12CH

Datum: 27.10.2010



M1: Wetterextreme – Indikatoren für ein sich veränderndes Klima



Der globale Klimawandel



Quelle: Hoffmann, T., Korby, W. (2009). Terra Global, SII Arbeitsmaterial. Klima im Wandel., S. 3. Klett-Verlag, Stuttgart, Leipzig)

UN-Welttag

Kampf gegen die Verwüstung

Donnerstag 17.06.2010, 10:21 · von FOCUS-Online-Autorin [Stefanie Reiffert](#)



Etwa ein Drittel der Erdoberfläche ist von Wüstenbildung bedroht

colourbox

Die Wüsten breiten sich aus. Unaufhaltsam verwandeln sich große Teile des fruchtbaren Bodens in ödes Land – auch Europa bleibt nicht verschont.

Das Land verdörrt unter den Händen der Menschen. Fast ein Drittel der Erdoberfläche ist von der sogenannten Desertifikation bedroht. Vor allem sind es die ärmsten Länder in Afrika, die um ihren fruchtbaren Boden fürchten müssen. Aber auch Mittelmeer-Anrainerstaaten gehören zu den bedrohten Gebieten – unter anderem Spanien. 1994 unterzeichneten 193 Staaten das

Abkommen gegen das weitere Ausbreiten von

Wüsten (UNCCD) und erklärten den 17. Juni zum Welttag zur Bekämpfung von Wüstenbildung.

Spätestens bei der Unterzeichnung des Abkommens war klar, dass nicht nur Afrika mit dem Problem der Austrocknung von Böden zu kämpfen hat. „Brasilien bringen die meisten Menschen mit der Zerstörung des Tropenwaldes in Verbindung, aber der Nordosten Brasiliens leidet sehr stark unter Desertifikation“, erklärt Anneke Trux von der Deutschen Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). Genau wie Teile Zentralasiens, der Vordere Orient, die Sahelzone in Afrika, das südliche Afrika sowie Teile Lateinamerikas, Mittelamerikas und Mexikos. Die GTZ arbeitet im Auftrag des Bundesministeriums für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung an Projekten im Kampf gegen die Wüstenbildung.

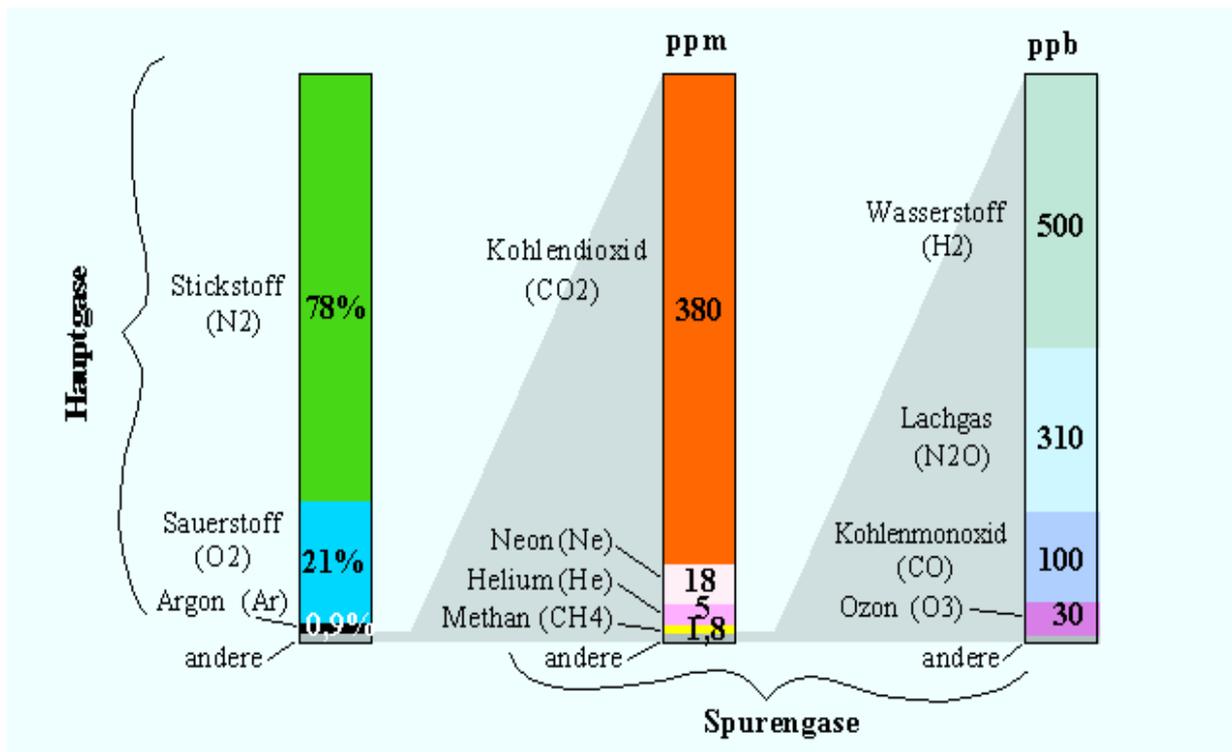
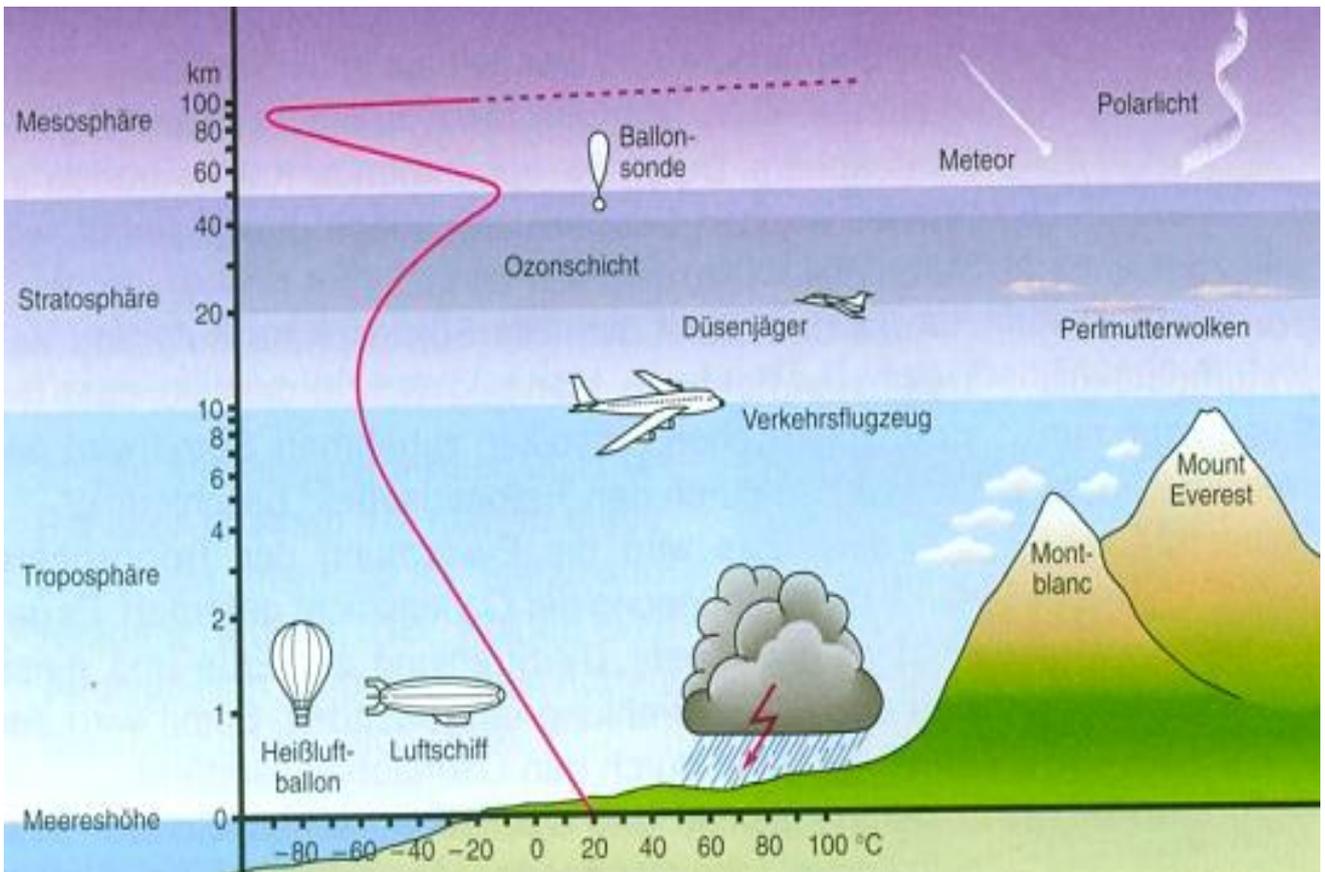
Quelle: http://www.focus.de/wissen/wissenschaft/klima/un-welttag-kampf-gegen-die-verwuestung_aid_520382.html

Arbeitsauftrag:

Bereitet mithilfe der ausstehenden Materialien ein **Kurzreferat** [max. 5-10 Minuten] vor.

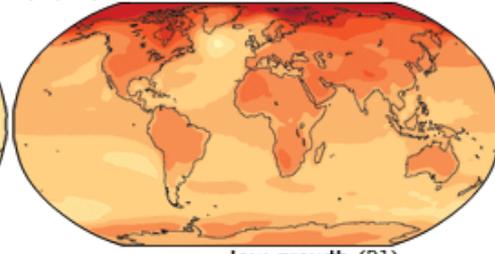
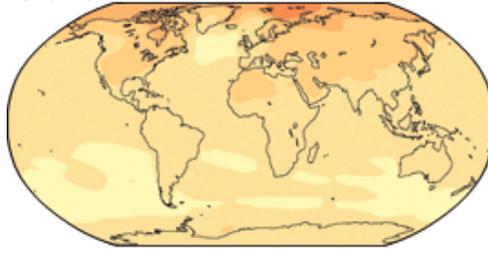
1. Beschriftet vorher die vier Fotos in M1 mit einer passenden Bildunterschrift.
2. Erklärt euren Mitschülerinnen, was genau Jack Johnson mit der „*neuen Hölle*“ gemeint haben könnte und begründet eure Argumentation mithilfe der ausliegenden Materialien.

Präsentationsfolien (Quellenangabe siehe Arbeitsblätter)

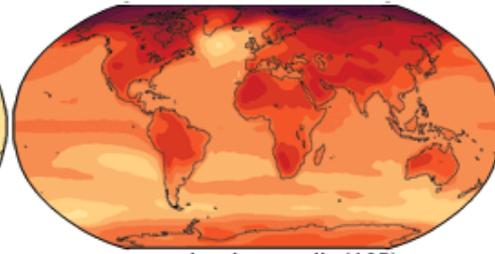
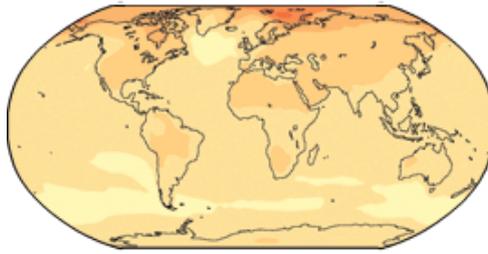


2020-2029

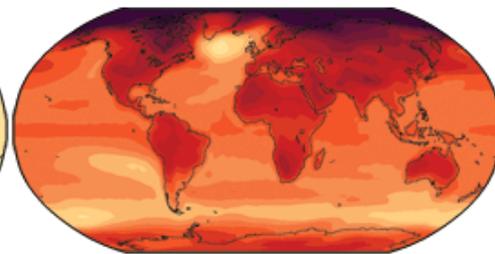
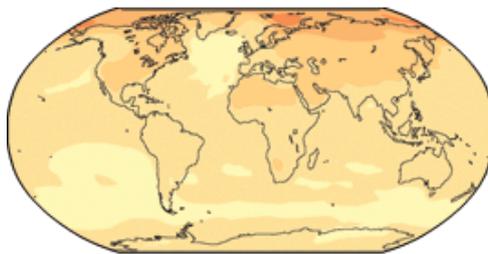
2090-2099



low growth (B1)



moderate growth (A1B)



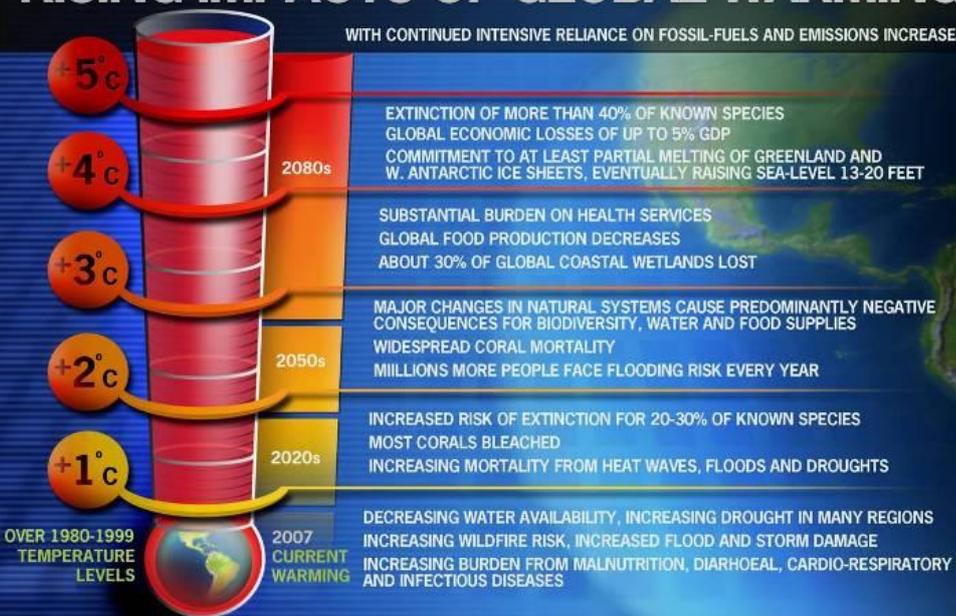
high growth (A2)

Surface Temperature Change (°C)



RIISING IMPACTS OF GLOBAL WARMING

WITH CONTINUED INTENSIVE RELIANCE ON FOSSIL-FUELS AND EMISSIONS INCREASES



www.net.org

Source: IPCC Fourth Assessment Report, Working Group II Summary for Policymakers. Timing of temperature increases based on IPCC scenarios that assume continued intensive reliance on fossil-fuels and emissions increases. Emissions reductions would reduce the amount and rate of warming. Conversion of temperature increases—Celsius to Fahrenheit: 1°C = 1.8°F; 2°C = 3.6°F; 3°C = 5.4°F; 4°C = 7.2°F. Produced by National Environmental Trust.



Station 1 – Meeresspiegelanstieg

Fach: Chemie (Wi)

12CH

Datum: 27.10.2010

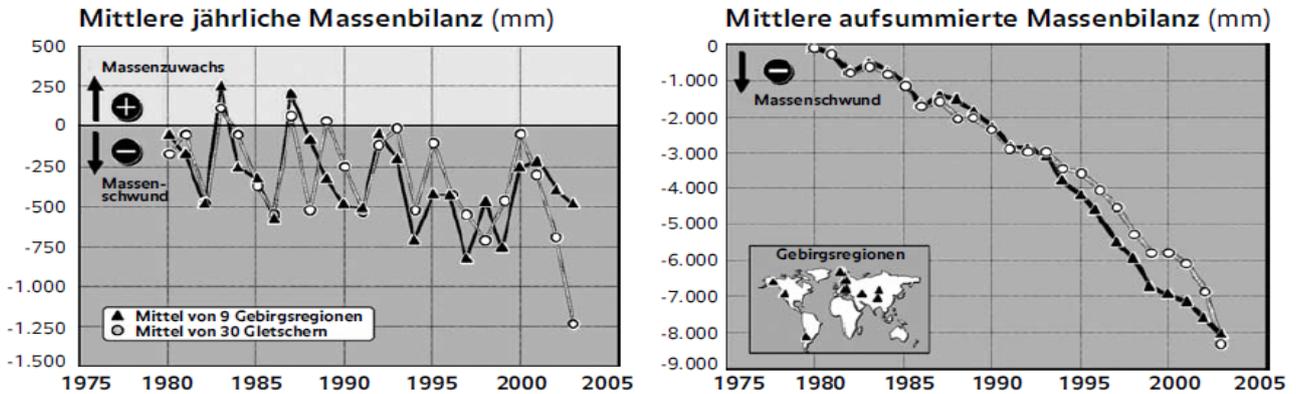


FAKTEN

Der Meeresspiegel ist im letzten Jahrhundert um 15 cm angestiegen. Bis zum Ende dieses Jahrhunderts ist ein Anstieg von 9 cm bis maximal 88 cm zu erwarten. Ein so hoher Anstieg kann fatale Folgen für die Bewohner von Meeresregionen, wie zum Beispiel den Pazifischen Inseln haben, denn diese leben fast auf Meereshöhe. Die Eismassen gehen in vielen Bereichen der Erde zurück (M1-M3; vgl. Atlas M5). Gerade die Gletscher nennt man in Bezug zur Klimaerwärmung auch die: „Fieberthermometer der Atmosphäre“.

M 2

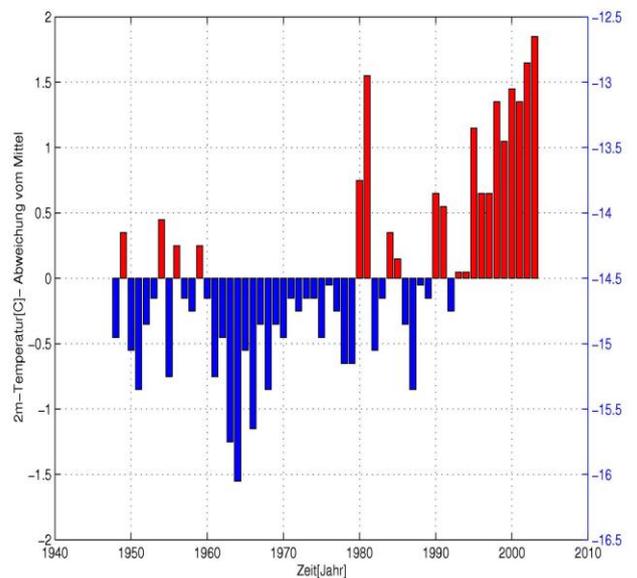
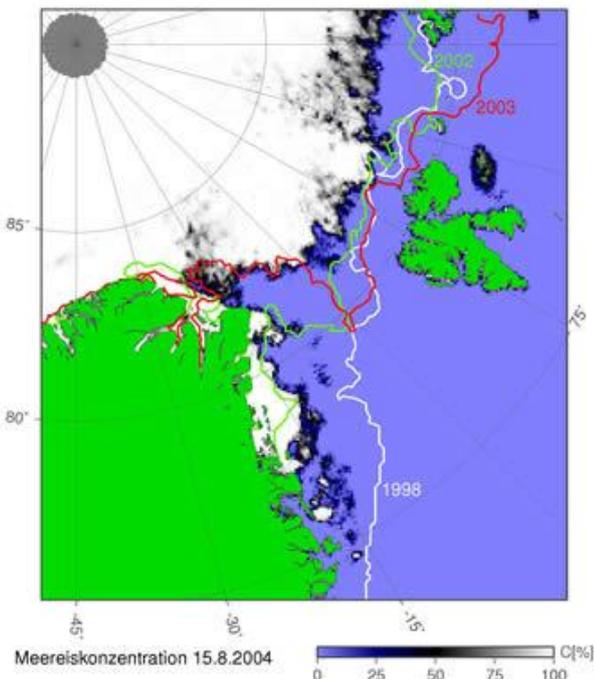
Massenbilanzen von 30 Gletschern und 9 Gebirgsregionen der Erde (Zeitraum 1975-2003)



(Quelle: Maisch, M./Haeberli, W. (2003): Die rezente Erwärmung der Atmosphäre - Folgen für die Schweizer Gletscher. In: Geographische Rundschau 55. Jg. H. 2, S. 8, nach Daten des WGMS, World Glacier Monitoring Service, Zürich; aktualisiert bis 2003)

Links: M2, Abnahme der Meereiskonzentration seit 1998; **Rechts:** M3, Abweichung der mittleren Jahrestemperatur.

(Quelle: Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung. http://www.awi.de/de/aktuelles_und_presse/pressemitteilungen/detail/item/Klimaerwaermung_trifft_besonders_die_arktis/?cHash=63aa121ec67fa9100fa2820dac84cd8bc)

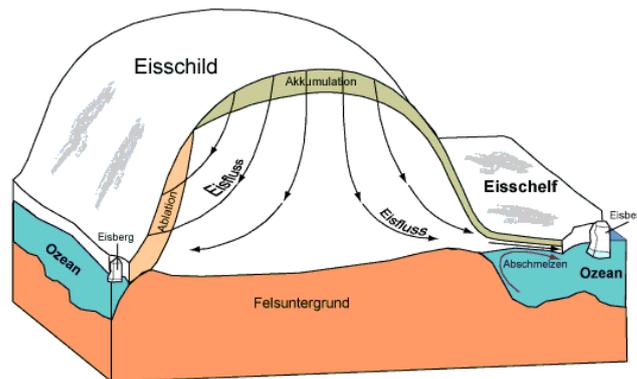


Alpine und polare Gletscher:

Der Gletscherschwund trägt jährlich mit 0,8 mm zum Meeresspiegelanstieg bei, da das Schmelzwasser schlussendlich in die Weltmeere gelangt. Würden die gesamten Gletscher mit einem Eisvolumen von etwa 0,18 Mio. km³ schmelzen, wäre ein Meeresspiegelanstieg von 0,5 m zu erwarten. (Quelle: Germanwatch (2008). Das Abschmelzen der Gletscher. Bonn/Berlin)

Westantarktischer- und grönländischer Eisschild (siehe Atlas):

Beim westantarktischen und grönländischen Eisschild¹ wurde in den letzten Jahrzehnten ein Verlust der Masse durch Abschmelzen oder Abbruch von Eismassen beobachtet. Daher tragen die Eisschilde jährlich mit 0,4 mm entscheidend zum Meeresspiegelanstieg bei.



(Quelle: Bildungsserver Klimawandel, <http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Eisschilde>)

Die **Antarktis** trägt allgemein nicht entscheidend zum Meeresspiegelanstieg bei, da nur Teile der Randgebiete (v.a. westantarktischer Eisschild) an Eisbedeckung verlieren und in der Antarktis selbst sogar eine leichte Zunahme des Eises gemessen wurde. Das liegt daran, dass wärmere Luft, bedingt durch die erhöhte Luftfeuchtigkeit, mehr Niederschläge in die sonst niederschlagsarmen Eiswüsten der Antarktis transportiert. Diese Niederschläge in Form von Schnee könnten sogar den Meeresspiegel um 0,18 mm pro Jahr absenken, jedoch überwiegt der Meeresspiegelanstieg mit 1,8 mm pro Jahr. Würden die beiden Eisschilde (Antarktis und Grönland) mit einem Eisvolumen von ca. 27,6 Mio. km³ abschmelzen, hätte dies einen Meeresspiegelanstieg um bis zu 64 m zur Folge.

(Quelle: IPCC (2007): Climate Change 2007, Working Group I: The Science of Climate Change, Table 4.1)

Arktis

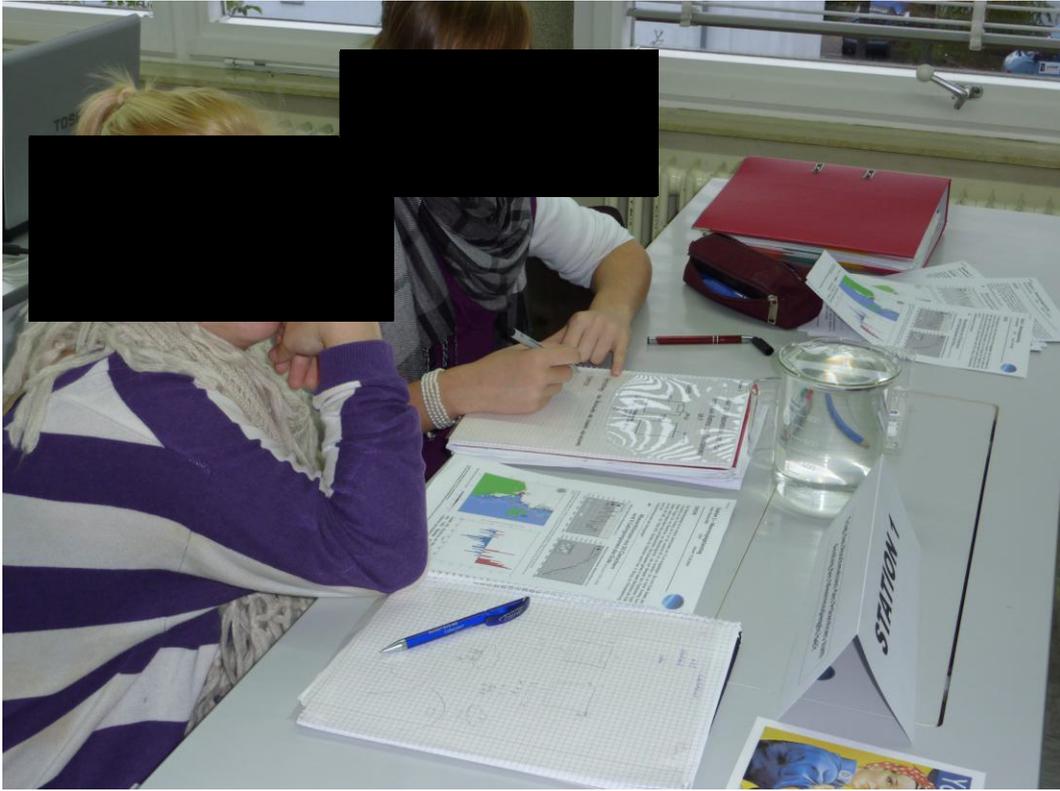
Wie viel mm Meeresspiegelanstieg sich durch das Abschmelzen des arktischen Eises ergeben, soll der Versuch klären: Füllt dazu ein großes Becherglas **randvoll** mit Eis und Wasser und beobachtet.

Was vermutet Ihr? _____

Beobachtung: _____

Interpretation: _____

¹ Als **Eisschild** oder **Inlandeis** bezeichnet man einen ausgedehnten, festes Land bedeckenden Gletscher mit einer Fläche von mehr als 50.000 km². Er begräbt das vorhandene Relief nahezu vollständig unter sich.



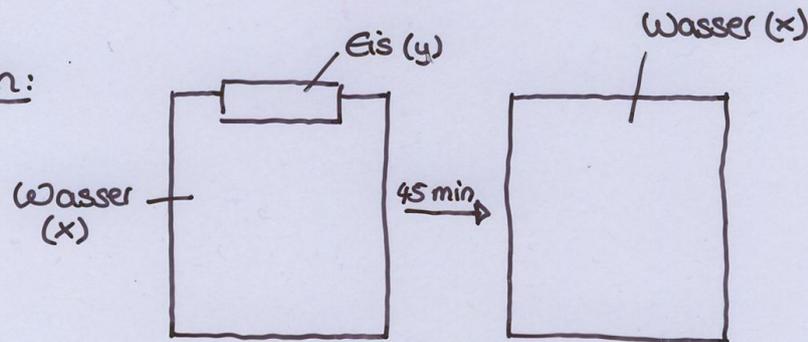
Sch [redacted] Ergebnisse



Station 1

TRÄGT DAS ABSCHMELZEN DES POLAR-
EISES ZUM ANSTIEG DES MEERESSPIEGELS
BEI?

Versuch:



$$V = x + y \xrightarrow[\lim_{y \rightarrow 0}]{\text{Schmelzvorgang}} V = x$$

$y \rightarrow 0$

Beobachtung: kein Überlaufen des Wassers wie erwartet

Ergebnis: Das Eis nimmt genauso viel Volumen ein wie das Schmelzwasser



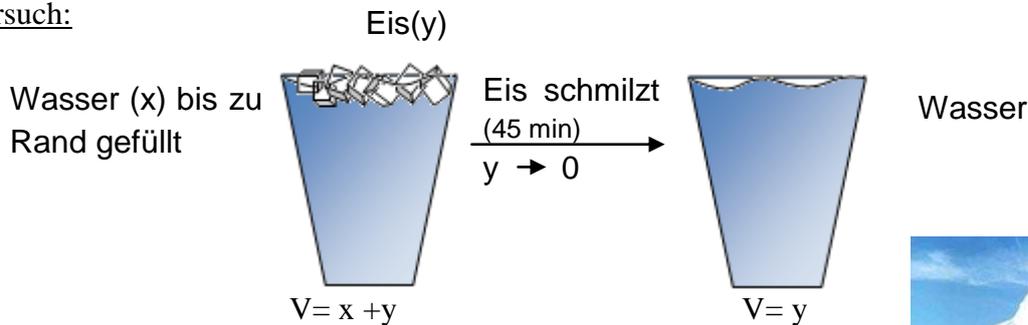
NEIN es trägt nicht zum Anstieg des Meeresspiegels bei!

Schülerergebnisse (Ausarbeitung/ Handout)

Station 1- Meeresspiegelanstieg

Trägt das Schmelzen des Polareises zum Anstieg des Meeresspiegels bei?

Versuch:

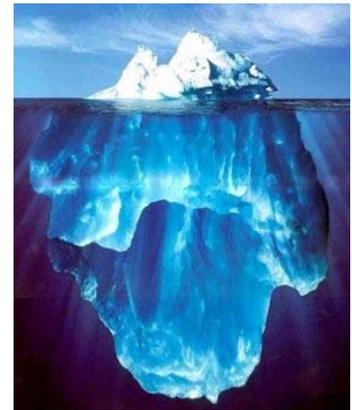


Beobachtung:

Das Eis schmilzt und wird zu Wasser, jedoch findet kein(kaum) Anstieg des Wasserspiegels statt, sodass das Wasser nicht überläuft.

Ergebnis:

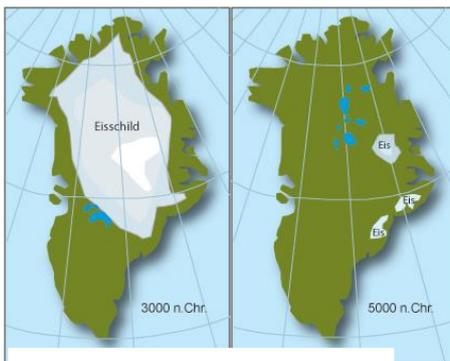
Das Eis und das Wasser bilden das gesamte Volumen, welches das Gefäß füllt. Nach Schmelzen des Eises nimmt das geschmolzene Wasser den Platz von dem Eis ein. Das zuvor verdrängte Wasser dehnt sich aus, jedoch bleibt das Gesamtvolumen, das sich im Gefäß befindet, konstant bzw. das Gleiche, sodass auch kein Wasseranstieg erzielt wird.



Eisberg der Arktis Quelle: www.klimaforschung.net

➡ Das Schmelzen des schwimmenden Polareises bzw. der schwimmenden Eismassen trägt nicht zum Anstieg des Meeresspiegels bei. Die Arktis ist nicht ausschlaggebend für diesen Umweltfaktor, da sie aus Eis besteht, die das Nordpolarmeer bedeckt.

Aber was ist stattdessen für den Anstieg des Meeresspiegels verantwortlich?



Schwinden des grönländischen Eisschildes
Quelle: wiki.bildungsserver.de

Der Anstieg des Meeresspiegels beruht auf einer Zunahme des Wasservolumens der Meere. Jedoch wird das Wasser nicht von der schwimmenden Eismasse gewonnen, sondern von dem Landeis in Form von Gletschern und Eisschilden. Die steigenden Temperaturen der Luft führen zu diesem Prozess, denn das Eis der Eisschilde und Gletscher schmilzt und füllt die Ozeane, sodass der Meeresspiegel ansteigt, da das Schmelzwasser nicht den Platz des ursprünglichen Eises ein-

nehmen kann. Die entscheidenden Landeisregionen für den Meeresspiegelanstieg sind zurzeit das westantarktische und grönländische Eisschild, die jährlich ein Anstieg von 0,4mm verursachen, sowie die Alpine und Gletscher, die jährlich 0,8mm zum Meeresspiegelanstieg beitragen.

Das Abschmelzen und die Zunahme des Eises sind jedoch temperaturabhängig, wodurch kein „direkter“ Beitrag der Antarktis am Anstieg des Meeresspiegels erkenntlich wird, da dort durch die erhöhte Luftfeuchtigkeit und durch die zunehmenden Niederschläge in Form von Schnee sogar eine Zunahme des Eises festgestellt werden konnte, die den Meeresspiegel um 1,8mm pro Jahr reduzieren.

Jedoch ist die Masse der Landeisentstehung im Vergleich zur Landeisschmelzung so gering, dass kein Ausgleich möglich ist, was zur Folge den Meeresspiegelanstieg hat, der zwar durch die Landeisentstehung „verlangsamt“, jedoch nicht gebremst wird. Folglich führt diese globale Veränderung zur Überschwemmung von tiefliegenden Gebieten, zur Erosionen von Stränden und Steilküsten, zu erhöhten Flut- und Sturmschäden und zu einem erhöhten Grundwasserspiegel.

Materialinterpretation

M1 Massenbilanzen von 30 Gletschern und 9 Gebirgsregionen der Erde (1975 – 2003)

- a) Mittlere jährliche Massenbilanz (mm)

Beschreibung: -

- b) Mittlere aufsummierte Massenbilanz (mm)

M2 Meereseiskonzentration

Beschreibung: - Darstellung der Antarktis
- weiß: Eis , grün: Land , blau: Meer
- Linien (1998, 2002, 2003) zeigen die ursprüngliche Form des Eises in diesen Jahren

Erklärung: - große Veränderungen
- 1998 sehr viel Eis noch vorhanden, 2002 schon weniger, 2003 noch weniger
- Eis geht zurück, Land tritt in Erscheinung

↓

Antarktis: Eis auf Land → Eis schmilzt, Land kommt hervor → Wasserspiegel steigt, da das Schmelzwasser nicht den Platz des Eises einnehmen kann

(↔ Arktis → große Eisscholle → kein Anstieg des Meeresspiegels, da Schmelzwasser den Platz des geschmolzenen Eises einnehmen kann)

M3 Abweichungen der mittleren Jahrestemperatur in der Arktis

Beschreibung: - x-Achse: Zeit(Jahr), y-Achse 1: Temperaturabweichung vom Mittelwert, y-Achse 2: tatsächliche Temperatur

- 1949, 54,56,59, 80/81, 84/85, 90/91, 93 – 2003: Temperatur liegt über dem Durchschnittswert der Jahrestemperatur (-14,5°C); ab 1980 extremer Anstieg

- zwischen 1960 und 1979 liegen die Werte stark unter dem Mittelwert (kleinster Wert liegt bei -16,1°C → Abfall um 1,6)

- ab 1993 liegen die Werte stark ansteigend über dem Mittelwert (größter Wert liegt bei -12,6°C → Anstieg um 1,9)

Erklärung: - starke Temperaturschwankungen

- im Ganzen steigt die Temperatur, da nur 1,6 Abfall und 1,9 Anstieg bei den maximalen Werten (Differenz von + 0,3)

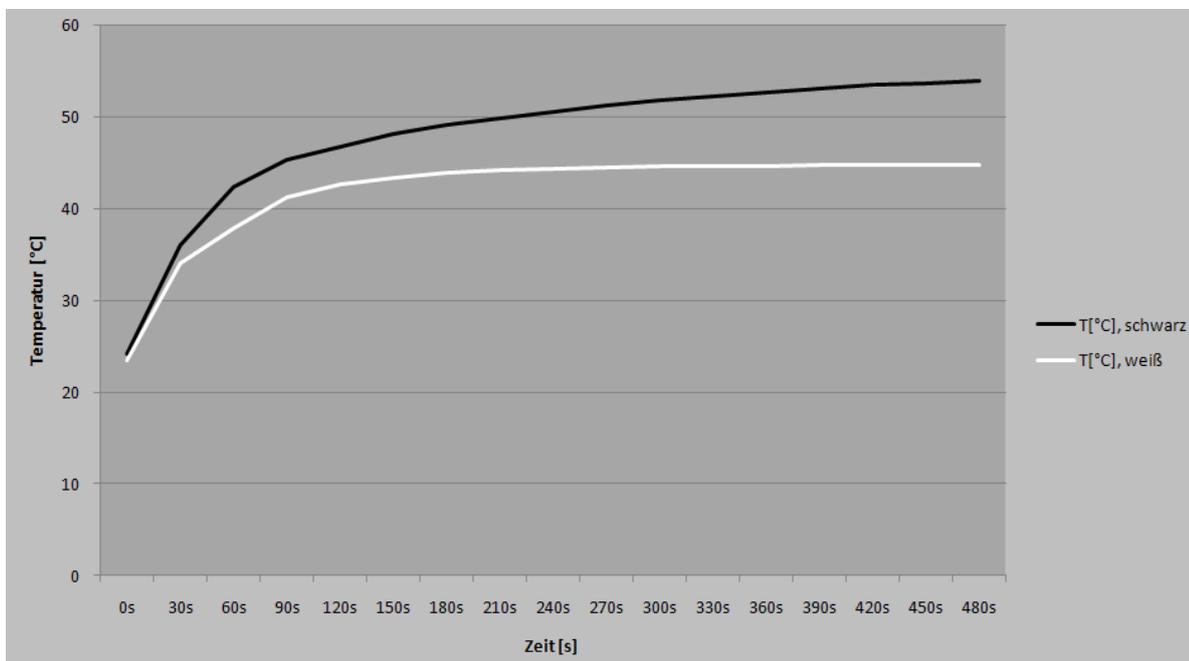
- steigt kontinuierlich ab 1993 → Klimaerwärmung

STATION 2 – Reflexionsvermögen verschiedener Oberflächen (Albedo)

Messung

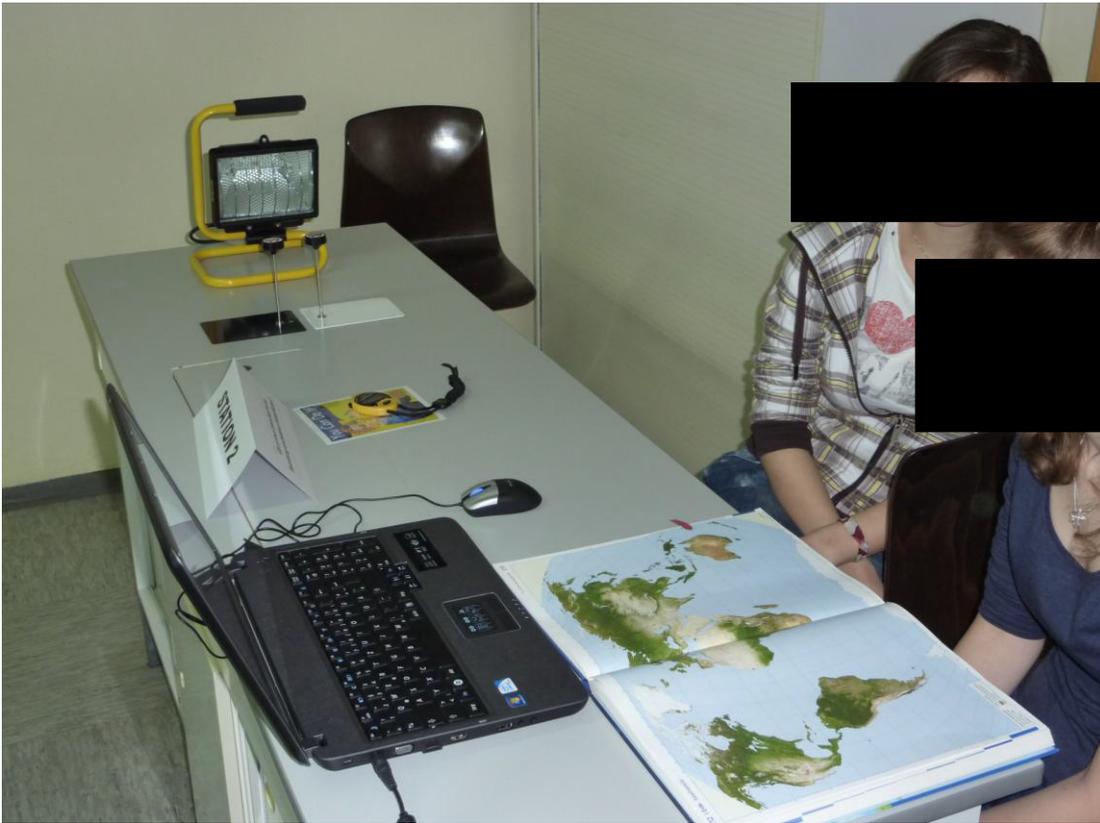


Messreihe der Schülerinnen



Labor (Modell)	Realität
Helle Fläche	Eis
Dunkle Fläche	z.B. Landmasse

Schülerinnen bei der Messwertinterpretation

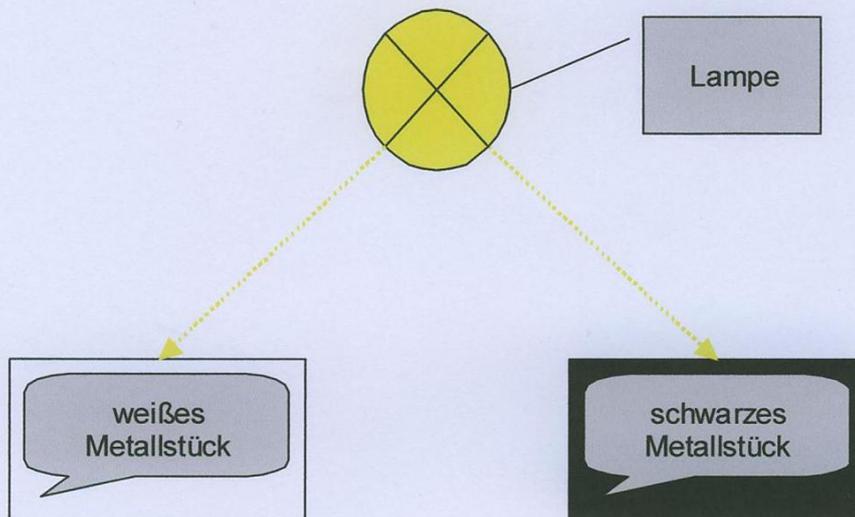


STATION 3 – Kohlenstoffkreislauf (siehe CD-Anhang, Ordner: Stationenarbeit)

Schülerergebnisse (Ausarbeitung/ Handout)

Reflexion der Sonnenstrahlung und die Albedo- Rückkoppelung

Versuch:



Durchführung: Wir haben ein schwarzes und ein weißes Metallstück in gleicher Entfernung vor eine Lampe gelegt und dann für 8 Minuten alle 30 Sekunden die Temperatur gemessen.

Beobachtung: Das schwarze Metallstück hat sich schneller und stärker erwärmt.

Erklärung: Das schwarze Metallstück absorbiert die Strahlung von der Lampe und wird warm. Das weiße Stück Metall jedoch reflektiert den größten Teil der Strahlung und erwärmt sich dadurch langsamer und nicht so stark.

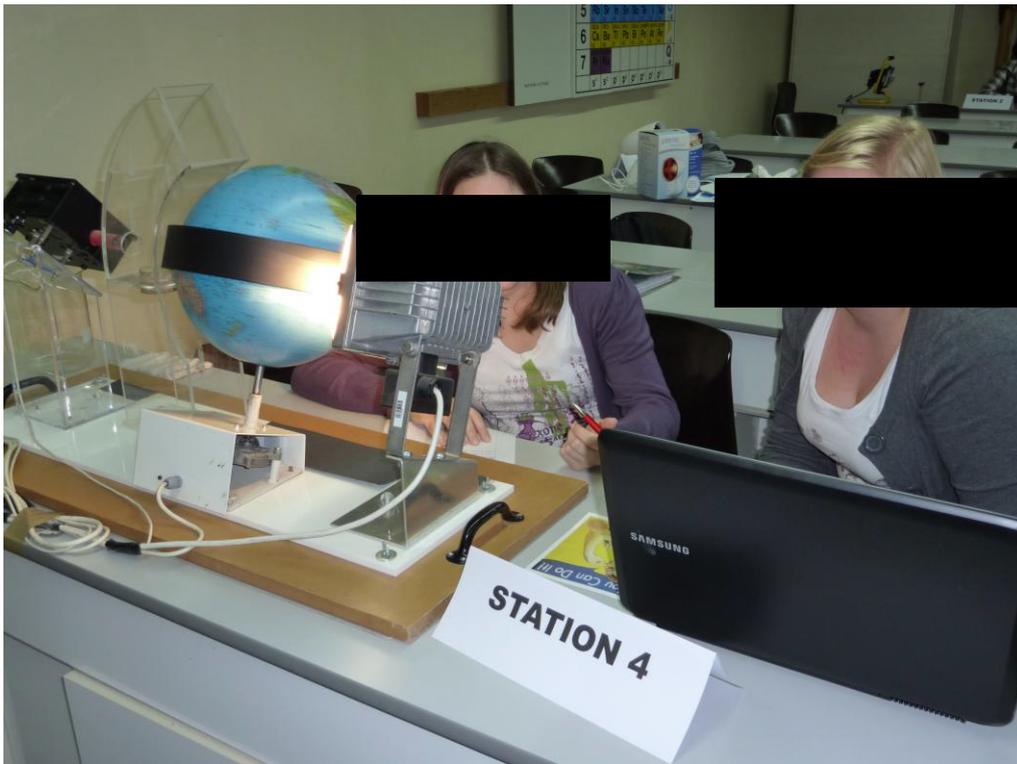


Wenn man diese Erkenntnis auf die Realität überträgt, kann man sagen, dass sowohl am Nordpol, als auch in der Antarktis der größte Teil der Sonnenstrahlung reflektiert wird. Durch die zunehmende Temperaturerhöhung jedoch schwinden diese weißen Flächen nach und nach. Also kann weniger Sonnenstrahlung

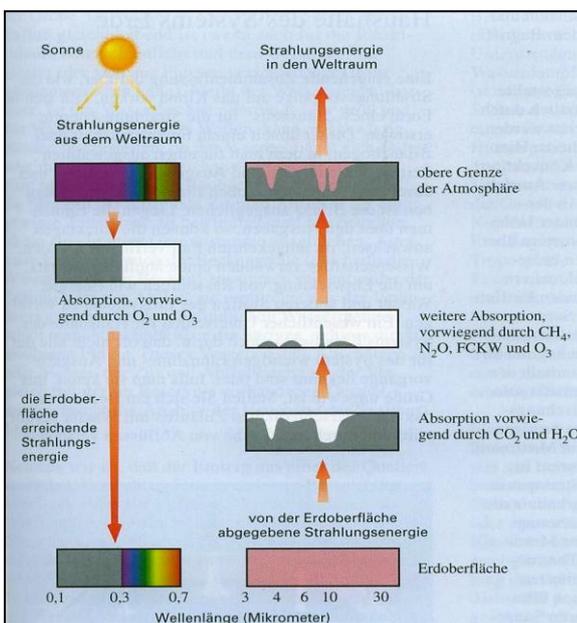
reflektiert werden und es wird wärmer. Das nennt man die Albedo- Rückkoppelung. Je wärmer es wird desto weniger Schnee- und Eisflächen haben wir auf unserer Erde. Das bedeutet, weniger Sonnenstrahlung kann reflektiert werden.

STATION 4 – Der natürliche Treibhauseffekt am Beispiel von Kohlendioxid

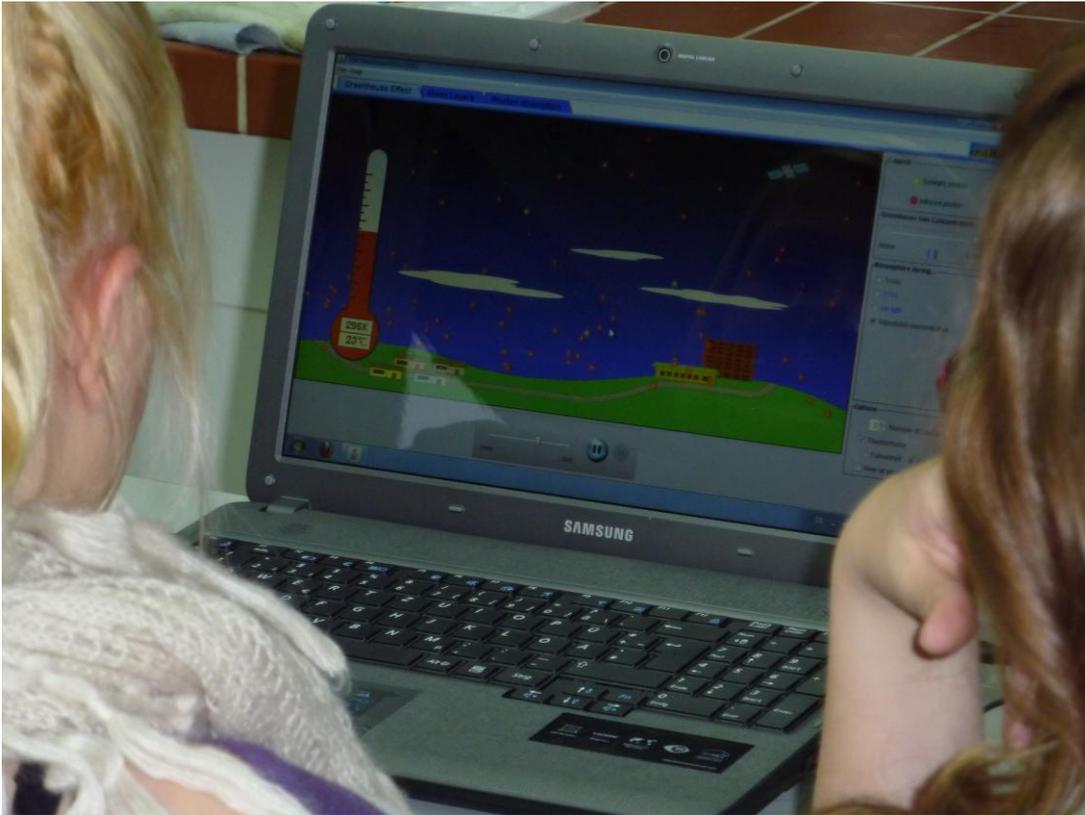
Schülerinnen bei der Durchführung



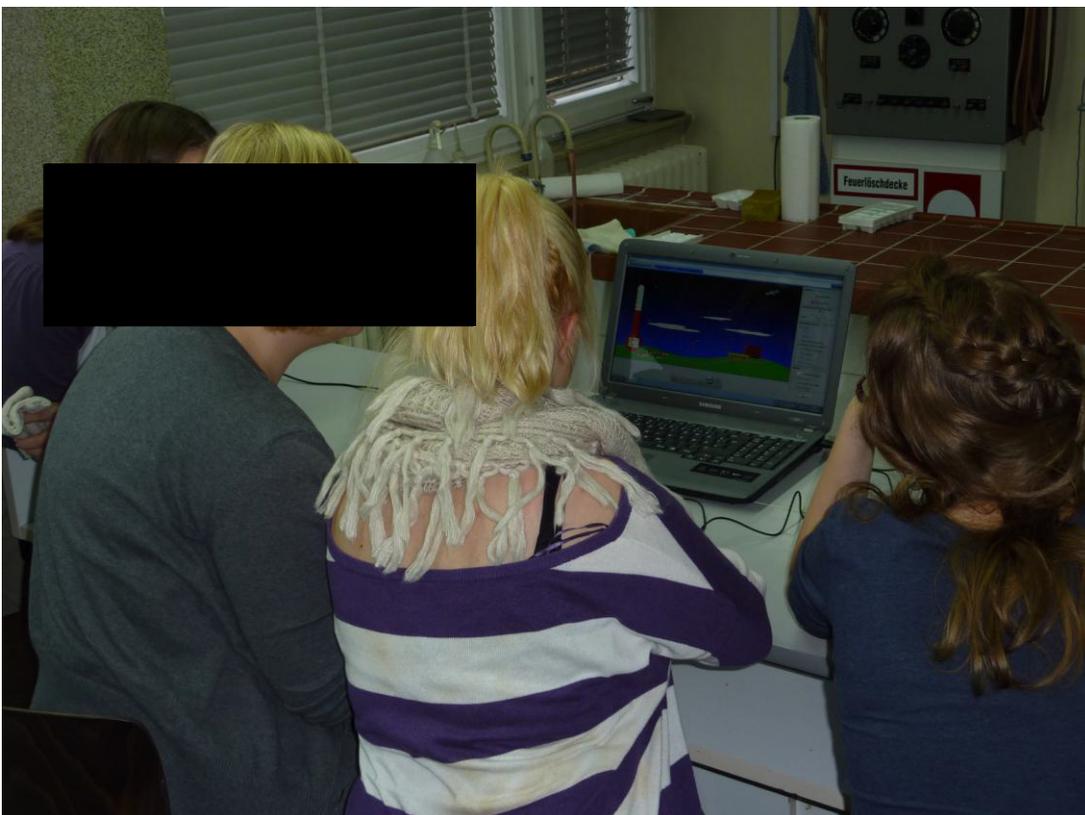
Modell	Realität
Lampe	Sonne
Globus	Erde
Kunststoffbehälter	Atmosphäre
Messgerät	Satellit
Kohlendioxid	Treibhausgas
Waschlappen	Wasser als Treibhausgas



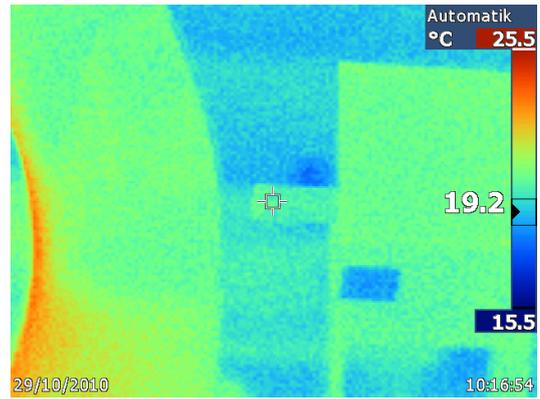
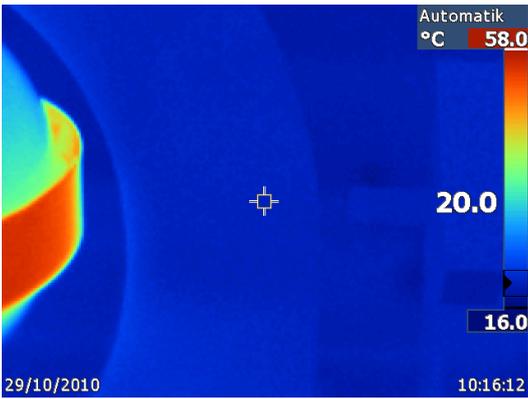
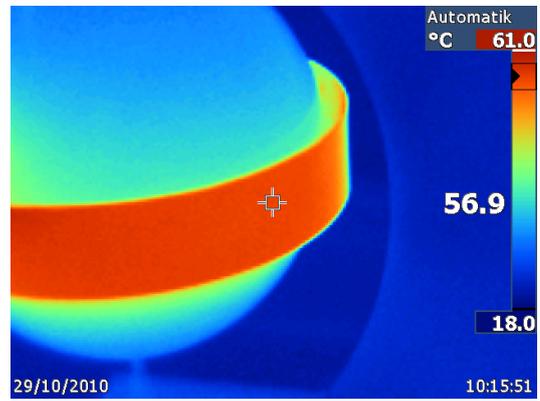
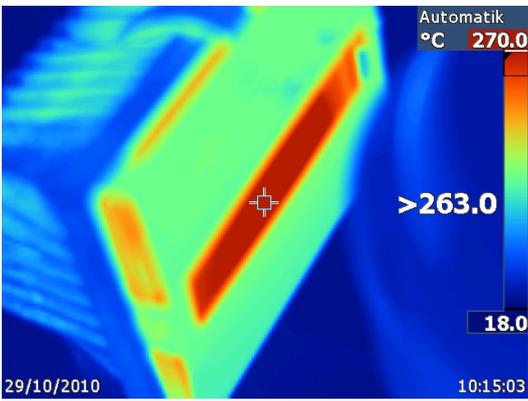
Animation zur Station



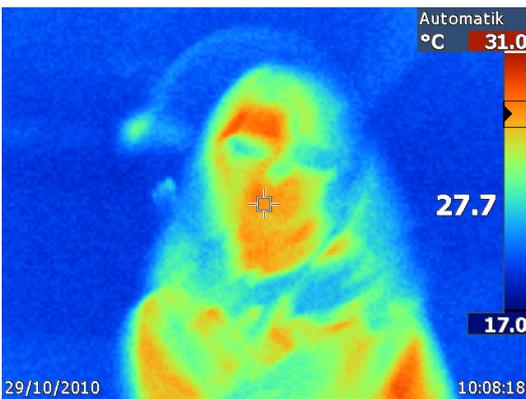
Ergebnispräsentation mithilfe der Animation



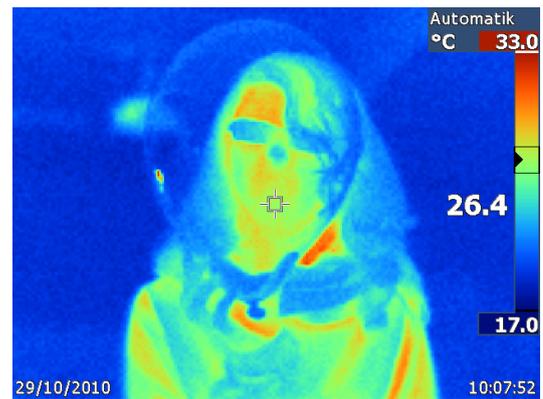
Aufnahmen der Schülerinnen mit Wärmebildkamera (nachträglich)



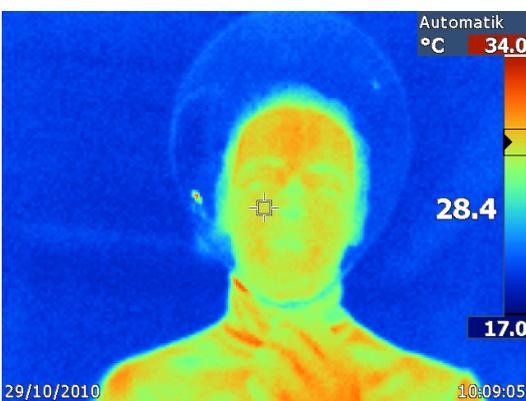
Schülerin mit a) Luftballon



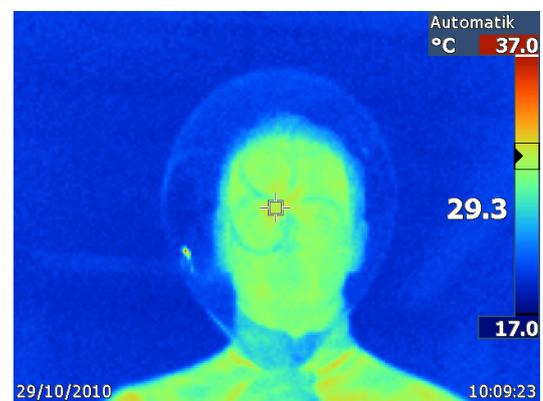
b) CO₂-gefülltem Ballon



Lehrer mit a) Luftballon²



b) CO₂-gefülltem Ballon

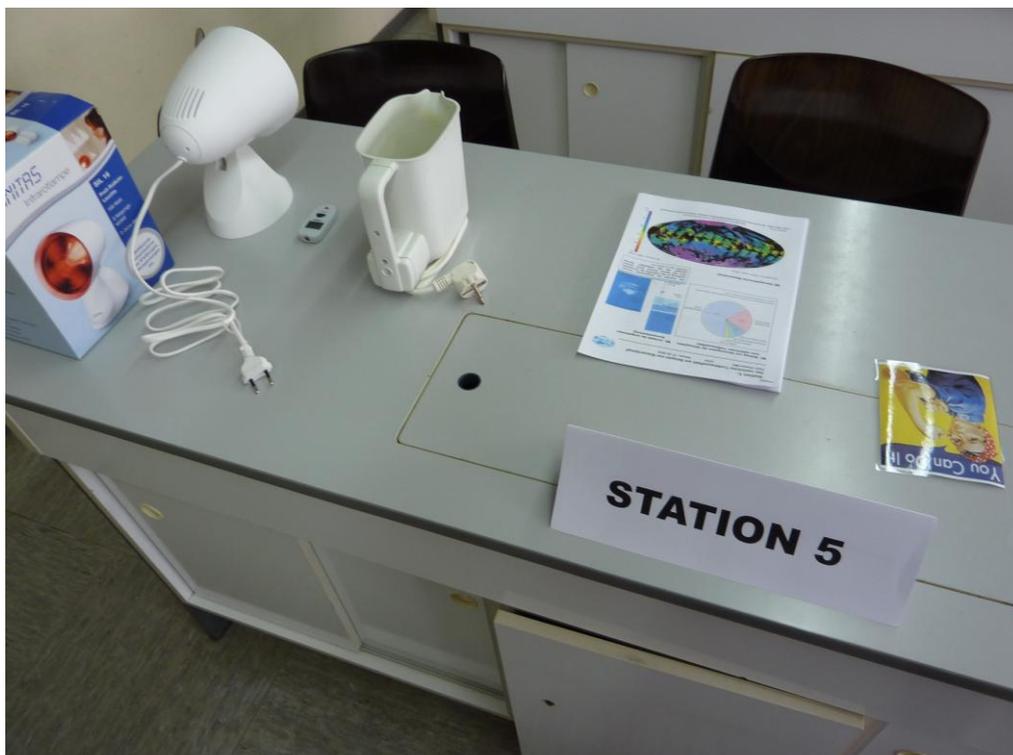


²Um noch einmal die Präsentation der Gruppe von Station 4 als Video festzuhalten, kamen die Schülerinnen in einer Freistunde in den Chemisaal. Als das Modell auch mit der Wärmebildkamera fotografiert wurde, kamen die Schülerinnen auf die Idee, Kohlendioxid in einen herumliegenden Luftballon zu füllen, um zu sehen, ob die abgehende Wärmestrahlung des Gesichts durchkommen kann. Eine klasse Idee, die zu interessanten Ergebnissen führte.

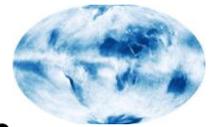
Schülerinnen hantieren mit der Wärmebildkamera



STATION 5 – Der natürliche Treibhauseffekt am Beispiel von Wasserdampf



Station 5: Der natürliche Treibhauseffekt am Beispiel von Wasserdampf

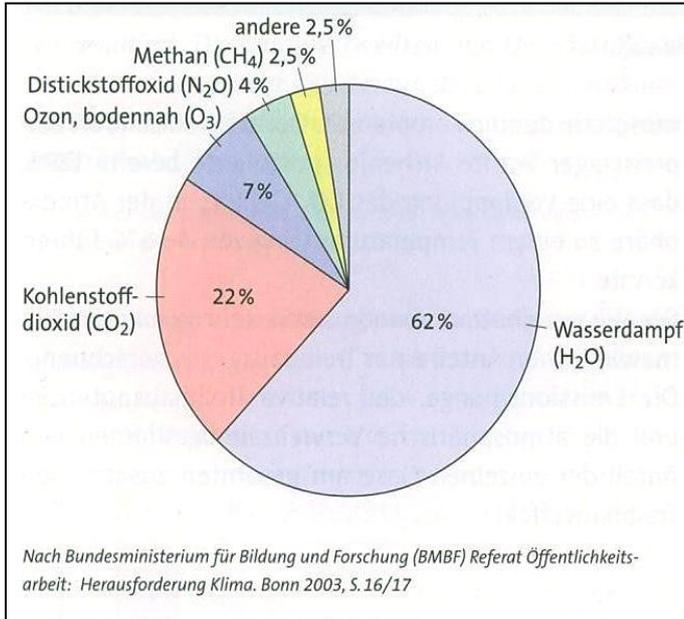


Fach: Chemie (Wi)

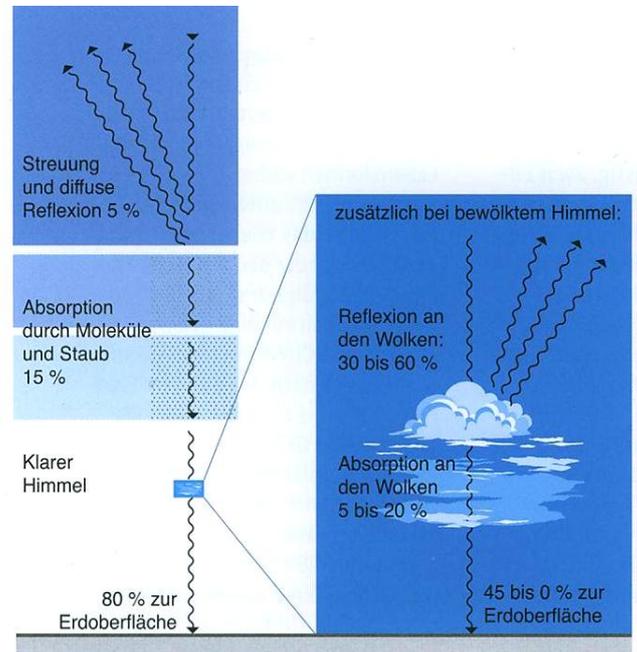
12CH

Datum: 27.10.2010

M1 Beitrag von Spurengasen der Atmosphäre zum natürlichen Treibhauseffekt



M2 Verbleib der eingehenden Sonnenstrahlung



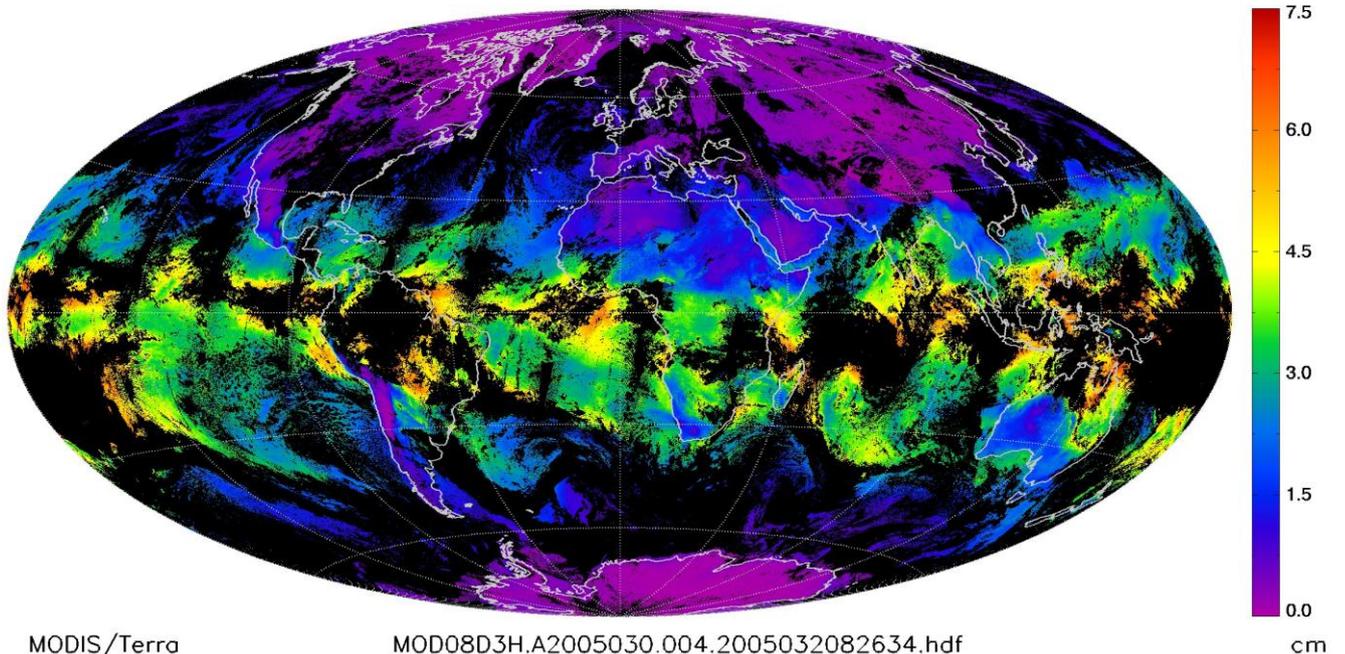
Die Verluste der eingehenden Sonnenstrahlung an der Oberseite der Atmosphäre sind bei klarem Himmel (links) deutlich geringer als bei bedecktem Himmel (rechts). Nach A.N. Strahler, S.82.

M3 Atmosphärischer Wasserdampf

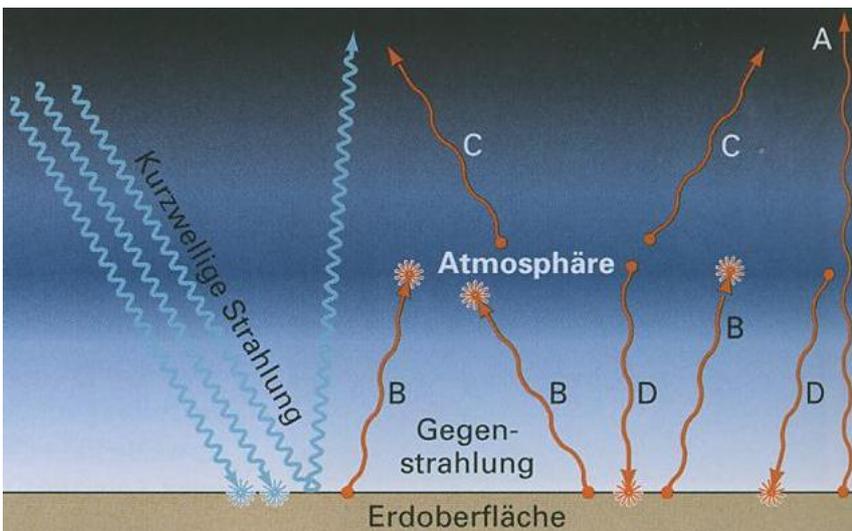
Quelle: NASA (2005). http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/IMAGES/MOD08D3H/_BROWSE_FIXEDSCALE/2005.030/Atmospheric

Atmospheric_Water_Vapor_Mean

30 January 2005 (030)



M4 Gegenstrahlung und Treibhauseffekt



... anders formuliert „Die Gegenstrahlung [Infrarotstrahlung] von der Atmosphäre zur Erdoberfläche trägt dazu bei, die Erdoberfläche zu erwärmen. Sie ist für den Treibhauseffekt verantwortlich. Dieser wird im Wesentlichen durch Kohlendioxid, Wassertropfen und Wasserdampf in der Atmosphäre gesteuert.“

Quelle: Nach A.N. Strahler, S.83.

→ Kurzwellige, energiereiche Strahlung (links) passiert die Atmosphäre und wird von der Erdoberfläche absorbiert, wobei sich diese erwärmt. Die Erdoberfläche emittiert langwellige, energieärmere Strahlung. Ein Teil dieser Strahlung gelangt direkt bis ins All (A). Der größte Teil wird allerdings durch die Atmosphäre und ihre **Treibhausgase** absorbiert (B). Als Reaktion strahlt die Atmosphäre langwellige Energie zurück zur Erdoberfläche, die so genannte **Gegenstrahlung (D)**, und einen geringeren Teil ebenfalls ins All hinaus (C). Der Rückfluss der von der Erdoberfläche emittierten langwelligen Strahlung (Wärmestrahlung) (B) durch Gegenstrahlung (D) bildet den sogenannten **Treibhauseffekt**.

Versuch: Wechselwirkung von Wasserdampf und Infrarotstrahlung

Materialien: Infrarotlampe, Wasserkocher, Infrarotthermometer; *Chemikalien:* Wasser

Wofür stehen Infrarotlampe und Wasserdampf? _____

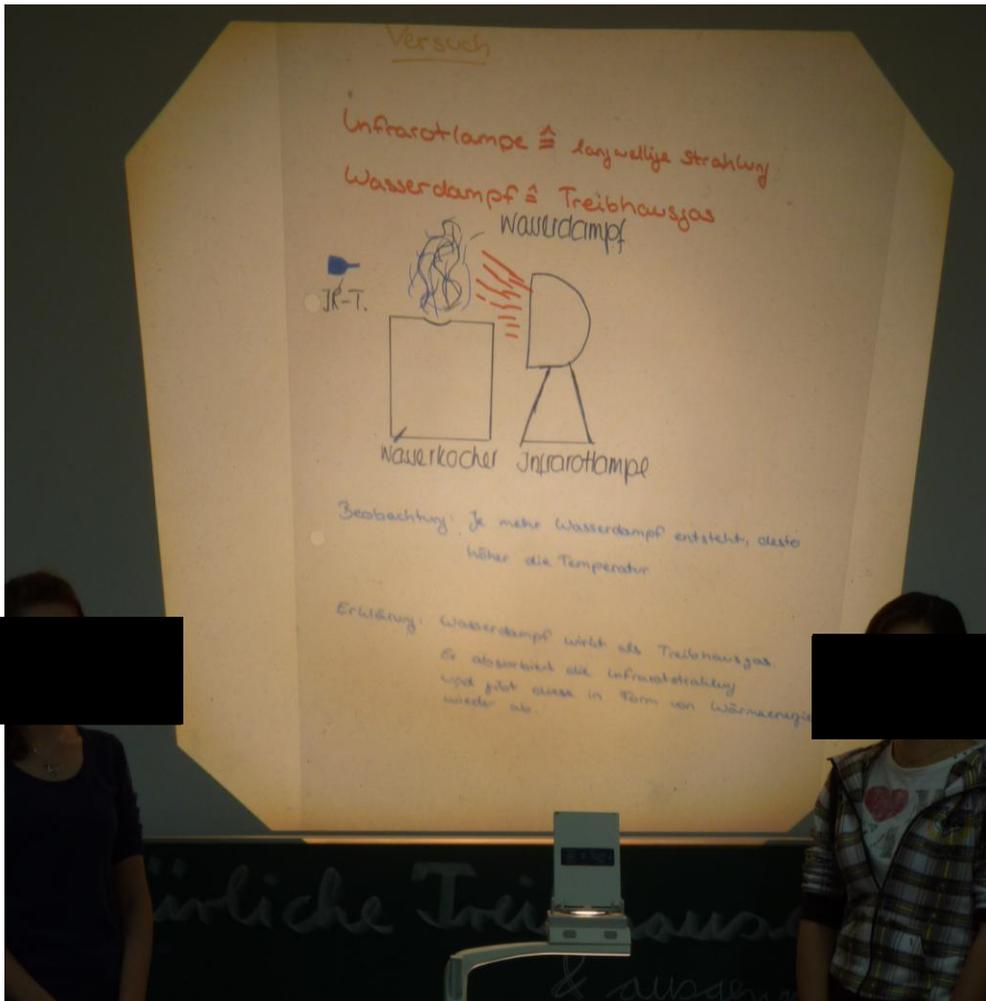
Durchführung:

1. Schließt die Lampe und den mit Wasser halbvollgefüllten Wasserkocher an.
2. Stellt den Wasserkocher mit der breiten Seite direkt vor die Lampe und richtet sie so aus, dass sie in den aufsteigenden Wasserdampf strahlt.
3. Geht mit dem IR-Thermometer möglichst nah (circa 30cm Abstand) an die Lampe (Lampenmitte) und misst die Temperatur (dafür den Wasserkocher wegnehmen).
4. Haltet nun genau diese Position bei. Eine Mitschülerin muss nun vorsichtig den Wasserkocher zwischen Lampe und Messgerät schieben.

Beobachtung: _____

Erklärung: _____

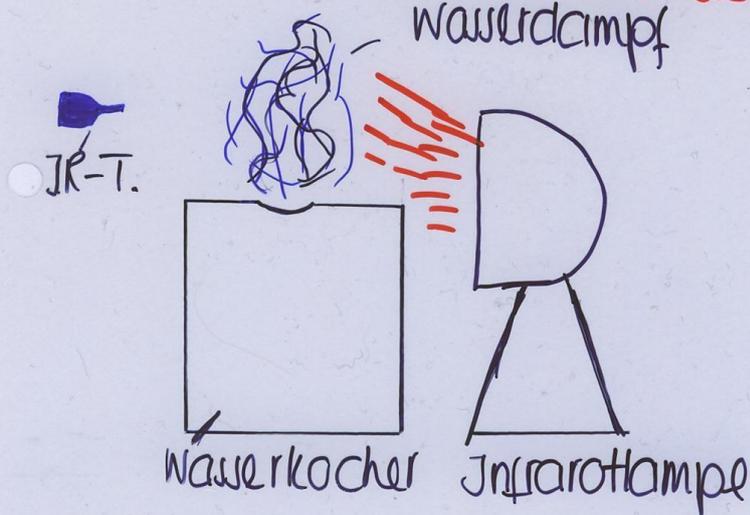
Präsentation der Schülerergebnisse



Versuch

Infrarotlampe $\hat{=}$ langwellige Strahlung

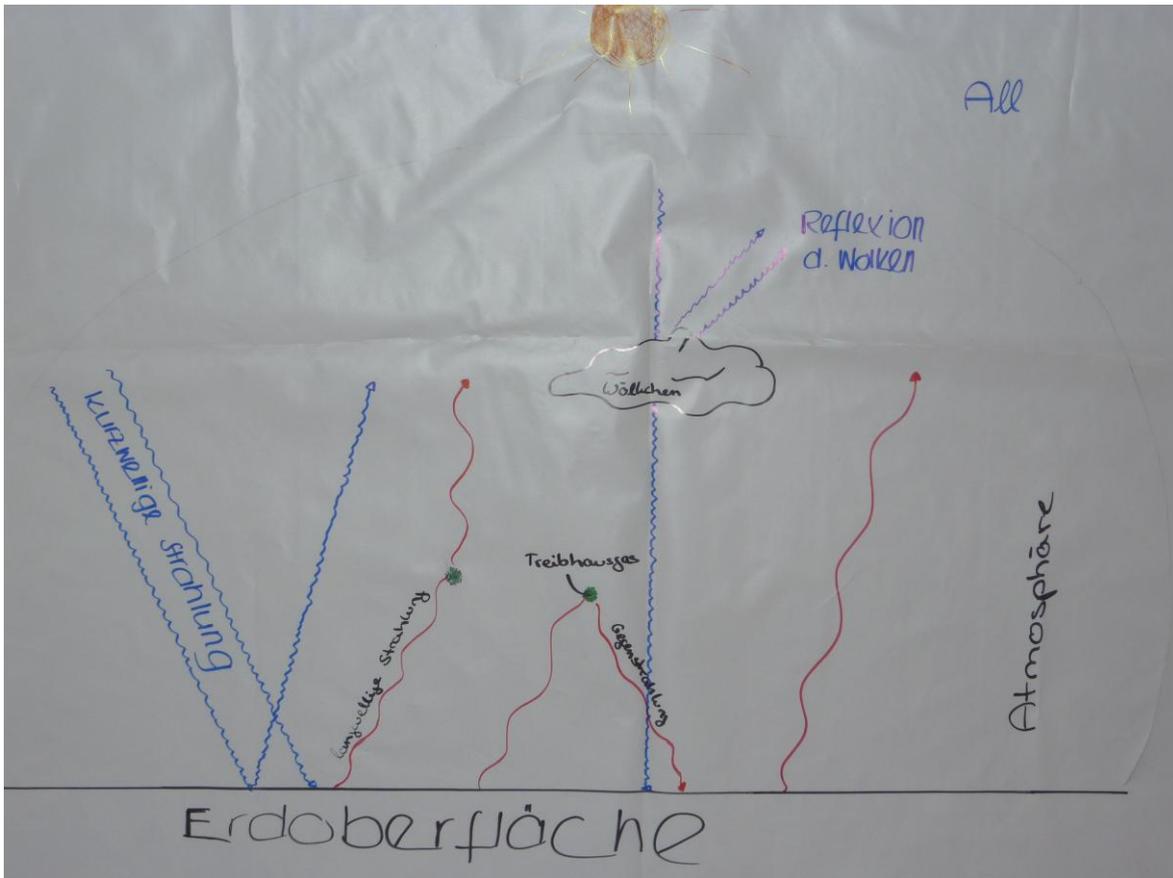
Wasserdampf $\hat{=}$ Treibhausgas



Beobachtung: Je mehr Wasserdampf entsteht, desto höher die Temperatur

Erklärung: Wasserdampf wirkt als Treibhausgas. Er absorbiert die Infrarotstrahlung und gibt diese in Form von Wärmeenergie wieder ab.

Plakat (Magic Folie)



Allgemeines zur Stationenarbeit

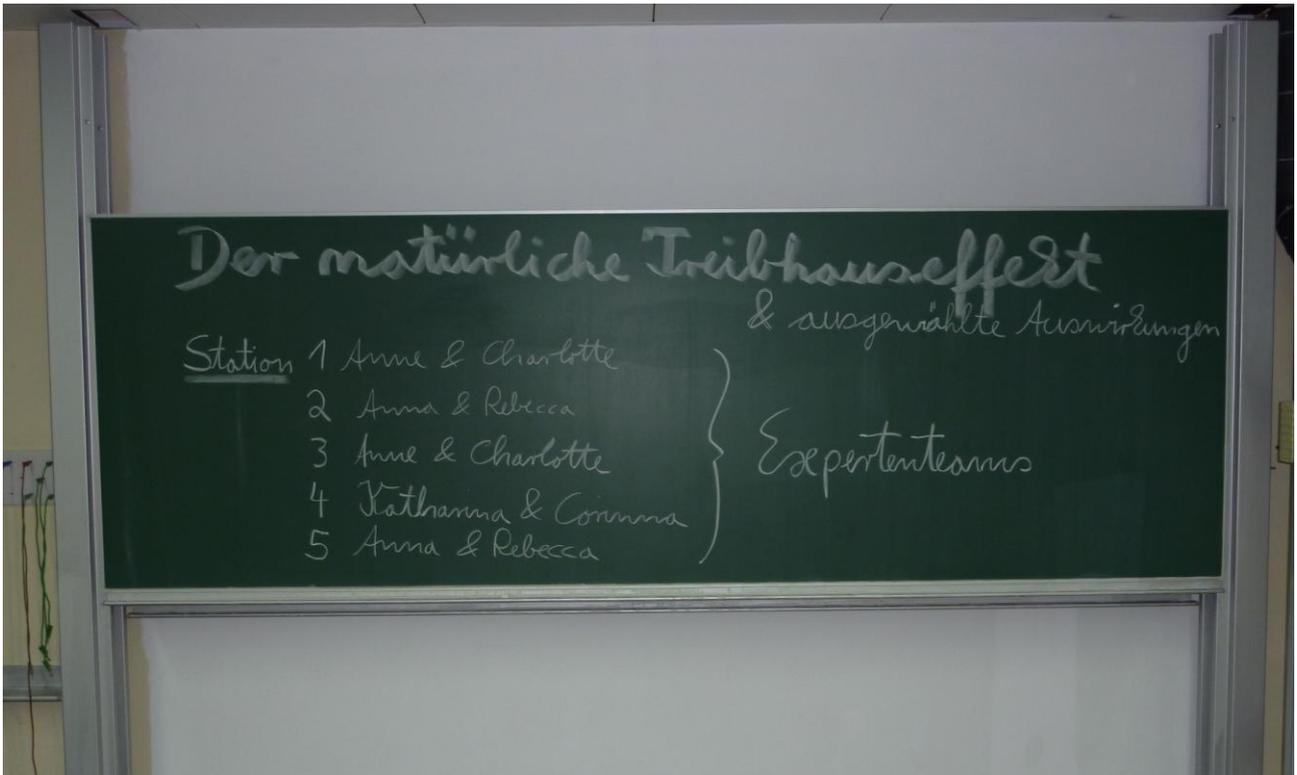
Präsentationsmaterial (zur freien Auswahl)



Überblick (vorher)



Einteilung in Expertenteams



Hausaufgaben



STATION 1

Trägt das Abschmelzen des Polareises zum Anstieg des Meeresspiegels bei?

STATION 2

Gibt es einen Unterschied bei der Bestrahlung verschiedener Erdoberflächen?

STATION 3

Lässt sich ein großes Volumen an Kohlendioxid in den Ozeanen lösen?

STATION 4

Wie funktioniert der natürliche Treibhauseffekt chemisch betrachtet?

Betrachtung der Wirkweise von Kohlendioxid

STATION 5

Wie funktioniert der natürliche Treibhauseffekt chemisch betrachtet?

Betrachtung der Wirkweise von Wasserdampf



HAUSAUFGABE

Autofahren und CO₂

1 Liter Diesel verbrennt zu 2,62 kg CO₂ also 26,2 g CO₂/km

1 Liter Benzin entspricht 2,32 kg CO₂ also 23,2 g CO₂/km

Ein durchschnittlicher Dieserverbrauch von 5,6 Liter entspricht also 131g CO₂/km.

Der von der Europäischen Kommission vorgeschlagene Richtwert von 130g CO₂ pro km entspricht einem Verbrauch von 5,0 l/100 km Diesel bzw. 5,6 l/100 km Benzin. Das Molekulargewicht von Kohlenstoff (C) ist 12, von Sauerstoff (O) 16 und somit von Kohlendioxid 44. Damit ist die Molmasse 44g/mol

1mol eines Gases entsprechen unter Normalbedingungen einem Volumen von 22,4 Litern.

130g CO₂/km entsprechen 2,98mol CO₂. 2,98 mol CO₂ sind 66,7 Liter.

Daraus lässt sich leicht die CO₂-Menge einer Autofahrt von x Kilometern berechnen.

1. Berechne den **Schulweg** (Hin- und Rückfahrt) mit (Deinem) Auto. Steht Dir selbst kein Fahrzeug zur Verfügung, nimm einfach einen der oben angegebenen Durchschnittswerte. Rechne Deinen CO₂-Ausstoß auf einen Monat (20 Werktage) hoch.
2. Informiere Dich unter www.atmosfair.de in der Rubrik „Über uns“ was ‚Atmosfair‘ machen.
3. Berechne den CO₂-Fußabdruck Deiner letzten Flugreise. Wenn Du noch nicht geflogen bist, nimm eines Deiner Wunschziele.

Schülerergebnis

Autofahren und CO₂

1.

Fahrzeug	Mazda Mx5 ;1,6
Strecke	Weingarten => Speyer 2* 16,7 km
Leistung	110Ps
Höchstgeschwindigkeit	191 km/h
Treibstoff	Benzin
Tankvolumen	50l
Schadstoffklasse	EU3
CO ₂ -Ausstoß	188g/km
<u>Getestete Werte (www.atoplenum.de)</u>	28 Autofahrer
Verbrauch	8,5l/100km
CO ₂ -Ausstoß	198g/km

2. Rechnung :

CO₂-Ausstoß

$$1,88\text{g/km} * 16,7\text{km} * 2 = \underline{6279,2\text{g}}$$

$$20 \text{ Tage} : 125584\text{g} = 125,584 \text{ kg}$$

CO₂-Ausstoß (getestete Werte)

$$\underline{6613,2\text{g}}$$

$$20 \text{ Tage} : 132264\text{g} = 132,264 \text{ kg}$$

3.

1) zukünftiger Flug

Die Emissionen einer Person auf einem einfachen Flug von "Frankfurt/Main Int'l" nach "Shanghai - Pu Dong" entsprechen der Klimawirkung von etwa 3060 kg CO₂, insgesamt auf Hin- und Rückflug etwa 6120 kg CO₂.

Diese Menge CO₂ kann atmosfair für Sie in einem Klimaschutzprojekt für 142,00 Euro einsparen.

2) vergangenes Ziel

Die Emissionen einer Person auf einem einfachen Flug von "Frankfurt/Main Int'l" nach "London - City Airport" entsprechen der Klimawirkung von etwa 190 kg CO₂, insgesamt auf Hin- und Rückflug etwa 380 kg CO₂.

Diese Menge CO₂ kann atmosfair für Sie in einem Klimaschutzprojekt für 10,00 Euro einsparen.

Aber: Verwendung vom Eurotunnel oder Fähre.

9.1.3. Vierte Stunde: Wechselwirkung Atmosphäre/Hydrosphäre

→ CD-Anhang/ Stationenarbeit

9.1.4. Vorbereitung auf Max Planck Institut (MPI)

Handouts



A

lfred Bernhard Nobel

Zeittafel

21.10.1833	Geburt Alfred Nobels in Stockholm
1843	Umzug zu seinem Vater nach Russland, er hatte Privatunterricht in Chemie Später arbeitete er in der Maschinenfabrik seines Vaters, außerdem begann er, sich mit der Entwicklung von Sprengstoffen (mit Nitroglycerin) zu beschäftigen
1863	Einführung der „Initialzündung für Nitroglycerinsprengstoff“ (durch seine Arbeit)
1864	
1865	Explosion in der Fabrik seines Vaters
1867	Wiederaufbau zur ersten Nitroglycerinfabrik der Welt
1875	Herstellung des späteren Dynamits Erfindung der Sprenggelatine und später des Ballisits Außerdem arbeitete er an der Weiterentwicklung von Panzerplatten, elektrolytischer
1895	Alkalimetallherstellung, synthetischen Edelsteinen und der Fotografie Verfassung seines Testaments, in dem er den größten Teil seines Vermögens dem „Nobel-Fond“ (finanziert den Nobel-Preis) vermacht hat Tod Alfred Nobels in Italien Verleihung des ersten Nobelpreises
10.12.1896	
10.12.1901	

* 21. Oktober 1833; † 10. Dezember 1896

Alfred Nobels Erfindungen

- Entwicklung der Initialzündung: interessierte sich sehr für Nitroglycerin und wollte es (1863) sauber und sicher sprengen → **Kontrolle von Explosion**



früher: Nitroglycerinpatrone

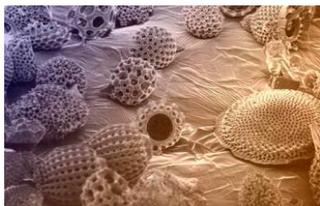
heute: Zündhütchen mit Knallquecksilber
(Quecksilberfulminat) oder Bleiazid

- Entwicklung des Dynamits:
(1867)

will die Gefährlichkeit des Nitroglycerins bei gleichbleibender Sprengkraft verringern



Mischung von Kieselgur u. Nitroglycerin = Dynamit



(Kieselgur (Diatomeenerde)= natürliche Ablagerungen der Kieselsäuregerüste von Kieselalgen mit großen Poren und hohem Aufsaugvermögen)

Zusammensetzung Dynamit: 75,0% Nitroglycerin
24,5% Kieselgur
0,5% Natriumcarbonat

Elektronenmikroskopaufnahme v. Diatomeenerde

- **Entwicklung der Sprenggelatine:** Verbesserung des Sprengstoffes; **Nitroglycerin mit Nitrocellulose aufzusaugen = Sprenggelatine** (1887)
(Nitrocellulose = weiße, faserige Masse, verbrennt nach Entzündung und ist in Alkohol/Ether gut löslich. Man erhält Nitrocellulose, indem man Baumwolle (Cellulose) in Nitriersäure gibt)

Zusammensetzung Sprenggelatine: 92% Nitroglycerin
8% Nitrocellulose

- **Entwicklung des Ballistits:** durch Veränderung der Zusammensetzung der Sprenggelatine entwickelt er das **rauchschwache Pulver** (1887)
→ ausschließlich für militärische Zwecke
(hat langsam abbrennende Eigenschaften, die benötigt werden, um einem Geschoss den wirksamen Antrieb zu verleihen, ohne dass im Gewehr ein zu hoher Druck entsteht)

Zusammensetzung Ballistit: 49% Nitroglycerin
49% Nitrocellulose
2% Anilin/Diphenylamin

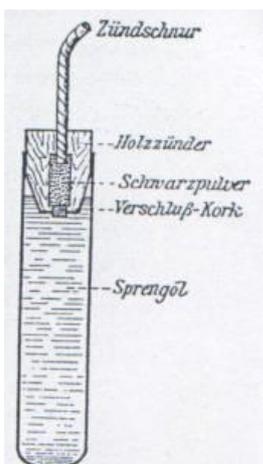
Weitere Entwicklungen:

- automatische Bremse für Lokomotiven
- explosions sicherer Dampfkessel
- Verfahren zur Reinigung von Gusseisen
- Nutzung von Erdöl und Erdöldestillation
- künstliches Gummi
- Verbesserungen an Phonographen, Telefonen und Batterien
- Herstellung von Kunstseide
- Weiterentwicklung von Panzerplatten
- elektrolytischer Alkalimetallherstellung
- synthetischen Edelsteinen
- Verbesserung am Gasometer (Erstes Patent)
- beschäftigte sich mit Problemen der Luftfahrt, der Atomtheorie, der Aluminiumherstellung, und machte fotografische Luftaufnahmen mit Kameras, die von einer Rakete in die Luft befördert wurden und dann mit einem kleinen Fallschirm zur Erde zurückkamen

→ Alfred Nobel entwickelte noch viele weitere Dinge und meldete insgesamt 355 Patente an

Er war jedoch nicht nur in der Wissenschaft tätig, sondern war auch literarisch interessiert. Er schrieb und veröffentlichte Theaterstücke, Novellen und Gedichte, u.a. „Die Schwestern“ (1862) und „Der Patent-Bazillus“ (1895).

Ebenso züchtete er Orchideen und spielte Schach und Billard.

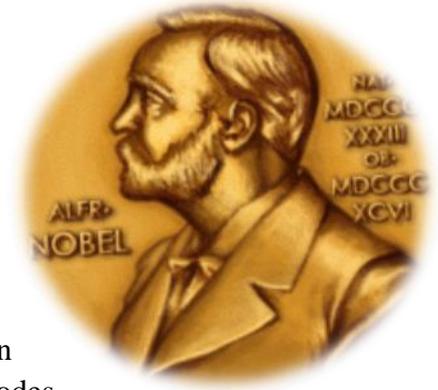


Nitroglycerinpatrone



Der Nobelpreis

Ein von Alfred gestifteter internationaler Geldpreis, der für Physik, Chemie, Physiologie oder Medizin, Literatur und Friedensbemühungen verliehen wird.



- ☞ Am 29. Juni 1900 wird die Nobelstiftung gegründet.
- ☞ 1901 wird der Nobelpreis erstmals verliehen (fünf Jahre nach Alfreds Tod).
- ☞ Der Nobelpreis gilt heute, als die höchste Auszeichnung in den berücksichtigten Disziplinen und wird jedes Jahr an Nobels Todestag, dem 10. Dezember, verliehen.
- ☞ Die Nobelpreisnominierung untersteht grundlegenden Bestimmungen der Stiftung.
- ☞ Die Nobelpreisgewinner erhalten eine Urkunde, eine Goldmedaille und einen Geldbetrag. (zurzeit: 10 Millionen schwedische Kronen)
- ☞ Alle Preise werden vom schwedischen König in Stockholm übergeben, bis auf den Friedensnobelpreis, der in Oslo übergeben wird.
- ☞ 1969 wird von der schwedischen Reichsbank der Wirtschaftsnobelpreis eingeführt (Grund: Gedenken an Alfred Nobel und 300-jähriges Bestehen der Stiftung)
- ☞ Das Durchschnittsalter der Nobelpreisträger beträgt 62 Jahre. (Ältester: 90 Jahre; Jüngster: 25 Jahre)

Chemienobelpreis: „die wichtigste chemische Entdeckung oder Verbesserung“

- ☞ Erster Nobelpreisträger ist der Niederländer Jacobus Henricus van 't Hoff für die Entdeckung der Gesetze der chemischen Dynamik und des osmotischen Druckes in Lösungen.
- ☞ 1911 wird Marie Curie für die chemischen Elemente Polonium und Radium

Zahlen im Überblick:

insgesamt verliehen	157 (156 Chemiker)
für Deutschland	28
Männer: 152	Frauen: 4
nicht verliehen	8
aufgeteilt	39

Quellen:

Internetseiten:

- www.Wikipedia.de
- www.uni-beyreuth.de
- www.gymnasium-moellen.de
- www.planet-wissen.de
- www.inventors-day.com
- www.rambow.de
- www.whoswho.de
- www.nobelpreise.info
- www.nobelprize.org
- www.whoswho.de
- Das Bertelsmannlexikon Universallexikon 2006

Literatur:

- Das Bertelsmann Lexikon Band 16 (Herausgeber: Lexikographischen Institut, München)



Paul J. Crutzen

Paul Josef Crutzen (* 3. Dezember 1933 in Amsterdam) ist ein niederländischer Wissenschaftler. Er war von 1980 bis 2000 Direktor am Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz und erhielt 1995 den Nobelpreis für Chemie.

Werdegang

Nach verschiedenen Anstellungen im Baubereich ging er nach Schweden, promovierte und lehrte an der Universität Stockholm an der Fakultät für Meteorologie. 1970 veröffentlichte Crutzen eine grundlegende Arbeit zur Fähigkeit von Stickoxiden, Ozon abzubauen und beschrieb die dabei ablaufenden Reaktionen. Zwischen 1974 und 1980 forschte Crutzen an verschiedenen Einrichtungen in Boulder (Colorado). 1980 wurde er an das Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz berufen und leitete dort die Abteilung Atmosphärenchemie. 1982 veröffentlichte er dort zusammen mit John Birks die erste Publikation zum Thema *Nuklearer Winter*.



Zusammen mit Mario J. Molina und Frank Sherwood Rowland erhielt er als einer der Pioniere der Erforschung des Ozonlochs 1995 den Nobelpreis für Chemie, da er den Einfluss der Polaren Stratosphärenwolken dabei klärte.

In seiner 2007 vorveröffentlichten Studie *N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels* weist Crutzen auf klimaschädliche Folgen des Anbaus von Agrarenergiepflanzen hin.

- 1994: Deutscher Umweltpreis der Umweltstiftung
- 1994: Ausländisches Mitglied der U.S. National Academy of Sciences;
- 1994: Max-Planck-Forschungspreis (mit Mario J. Molina, U.S.A.).
- 1995: Nobelpreis für Chemie (mit Mario J. Molina und Dr. F. S. Rowland, U.S.A.);
- 1995: Global Ozone Award for "Outstanding Contribution for the Protection of the Ozone Layer" by UNEP (Umweltprogramm der Vereinten Nationen).
- 1996: Mitglied der Pontifical Academy of Sciences (Vatikan);
- 1996: Bundesverdienstorden
- 2002: Weltweit meistzitiertes Autor in den Geowissenschaften mit 2911 Zitierungen aus 110 Veröffentlichungen im Verlauf des Jahrzehnts 1991-2001, ISI (Institute for Scientific Information, Philadelphia, USA), issue Nov./Dec. 2001.

Quellen:

<http://www.mpch-mainz.mpg.de/~air/crutzen/>

http://de.wikipedia.org/wiki/Paul_J._Crutzen

Max Planck

- Am 23. April 1817 in Kiel geboren
- Seine Familie zog um nach München, wo er als guter Schüler ein Gymnasium besuchte
- Mit 16 Jahren bestand er als Viertbester des Jahrgangs das Abitur
- 1874-1879 studierte er in München und Berlin
- Schloss in Berlin Studium mit der Promotion „Über den 2.Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie“ ab
- Mitte der 1890er Jahre beschäftigte er sich mit Strahlungsgleichgewichten und der Theorie der Wärmestrahlung
- 1900 präsentierte er eine Formel, die die Strahlung schwarzer Körper korrekt beschrieb („schwarzer Körper“: ist in der Physik ein Körper, der auf ihn treffende elektromagnetische Strahlung bei jeder Wellenlänge vollständig absorbiert)
- Er legte den Grundstein für die Quantenphysik und führte das **plancksche Wirkungsquantum** ein
- 1894 wird er Mitglied der Preußischen Akademie der Wissenschaften
- 1912 wurde er zum beständigen Sekretär und später Präsident der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft (KWG) zur Förderung der Wissenschaften gewählt
- Um diese Zeit wurde Planck zunehmend zur physikalischen Zentralfigur
- 1913 wird er Rektor der Berliner Universität
- 1918 erhielt er den **Nobelpreis für Physik**, als Anerkennung, dass er durch die **Begründung der Quantentheorie** die Entwicklung der Physik vorangebracht hat
- 1936 endet Plancks Präsidentschaft der KWG, da er sich während des 2. WK unbeliebt bei den Nazis gemacht hatte
- Nach Kriegsende lebte er in Göttingen
- Planck wurde dann auch wieder Präsident der KWG, allerdings trug die Gesellschaft jetzt den Namen Max-Planck-Gesellschaft
- Am 4. Oktober 1947 starb er in Göttingen
- 1949 wird die KWG in der Bundesrepublik Deutschland als Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften zugelassen und entwickelt sich zur bedeutendsten außeruniversitären Forschungseinrichtung

Quellen:

- www.wikipedia.de
- www.dhm.de
- www.mpg.de

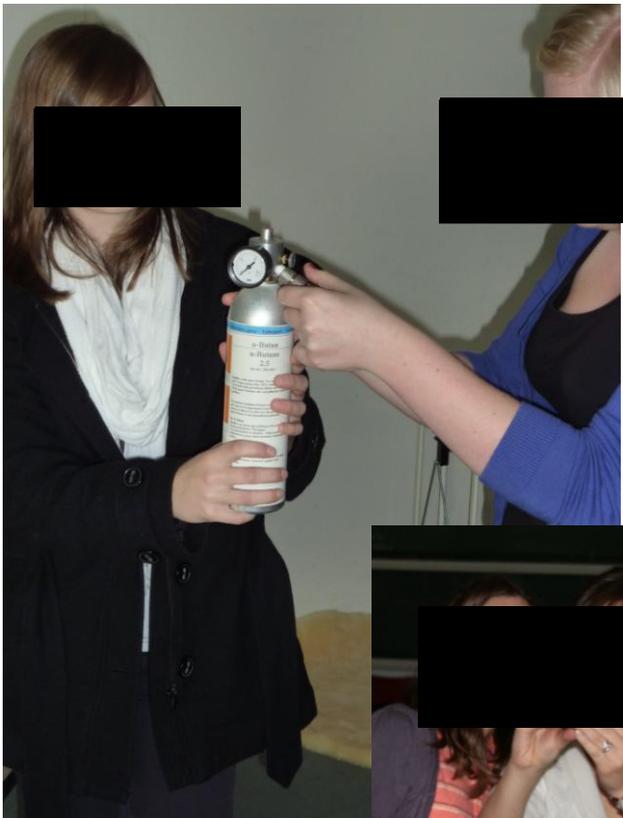
Zu untersuchende Reingase



„Gaschromatographie für Einsteiger“



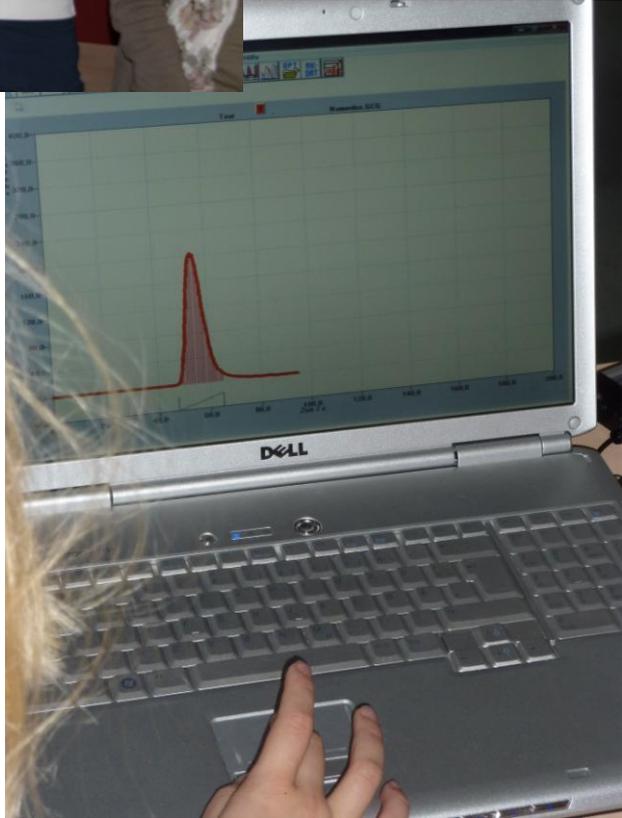
Abfüllen der Gasprobe



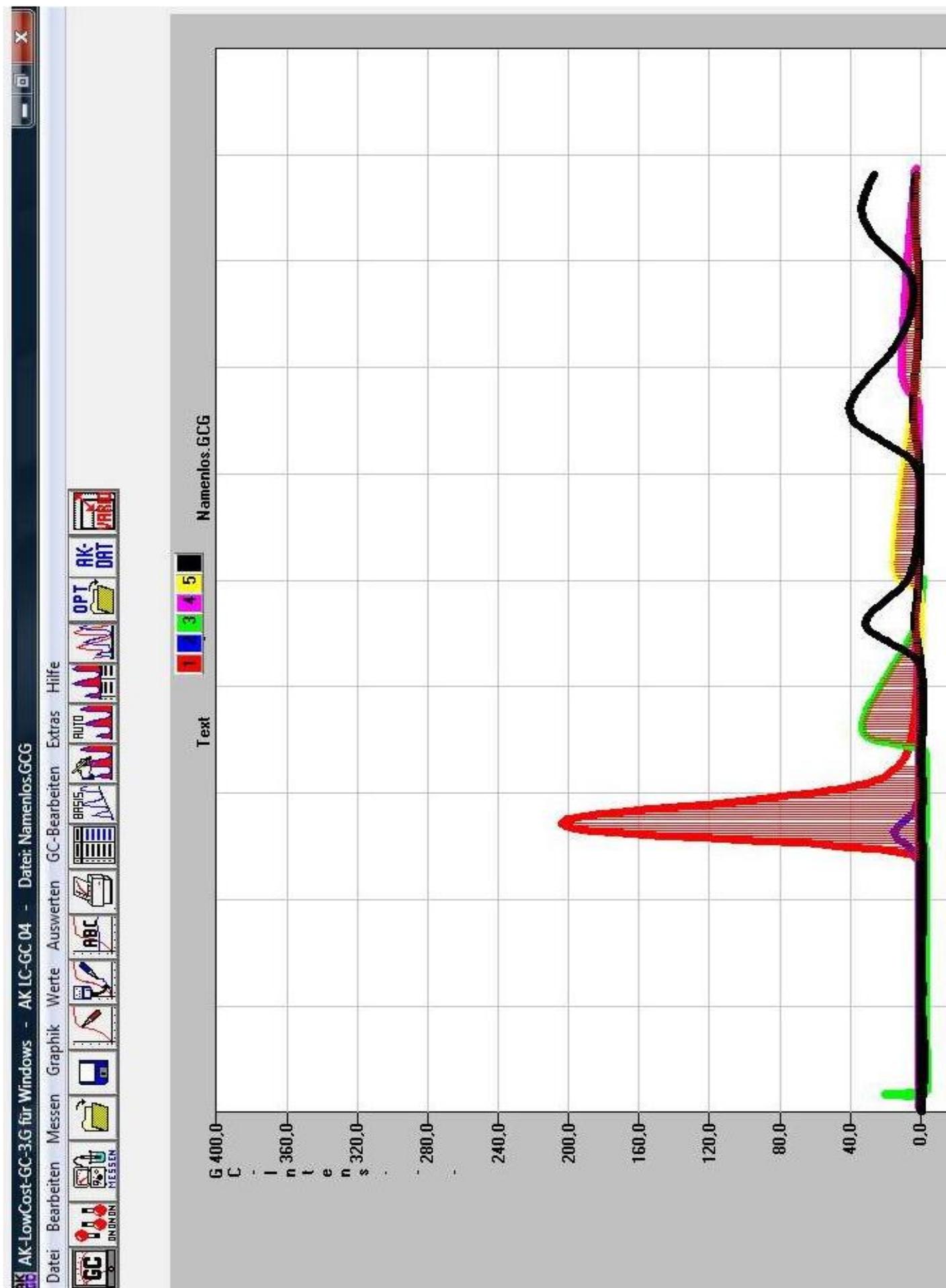
Einfüllen

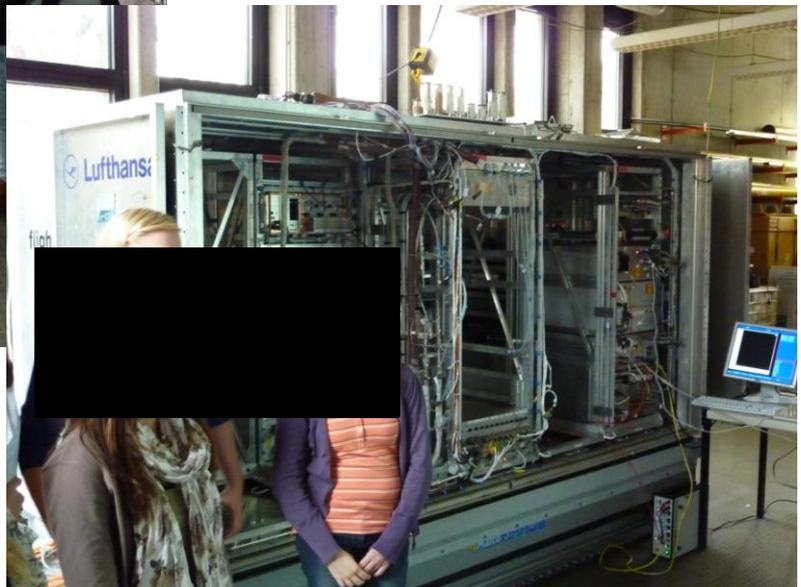
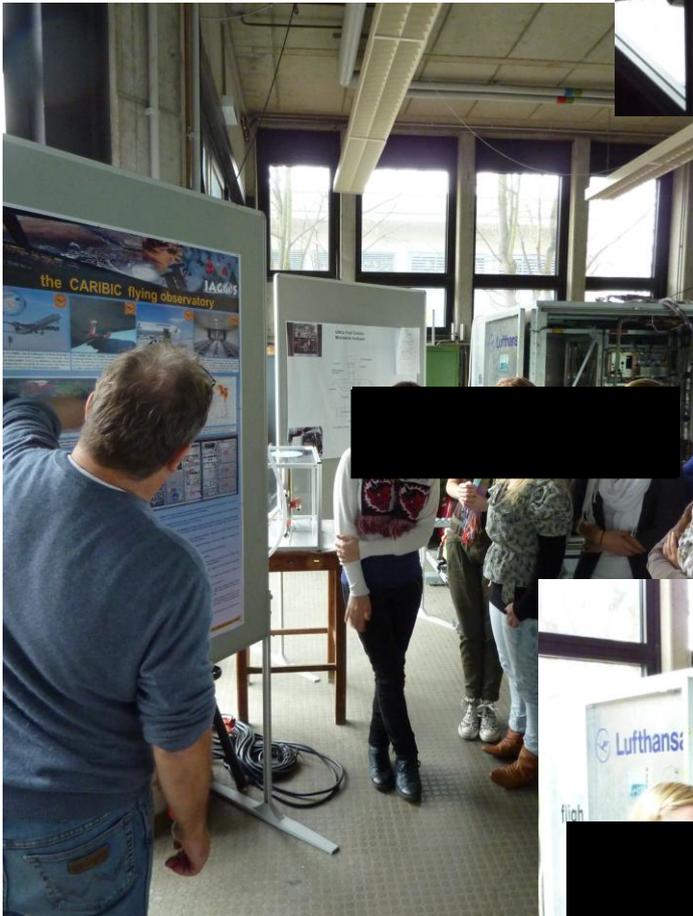
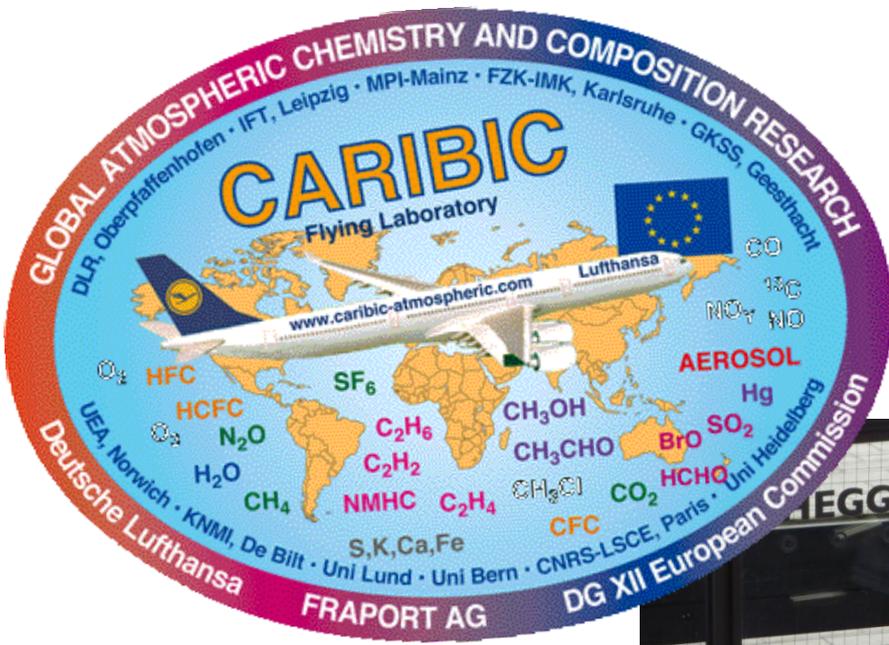


Digitale Datenerfassung

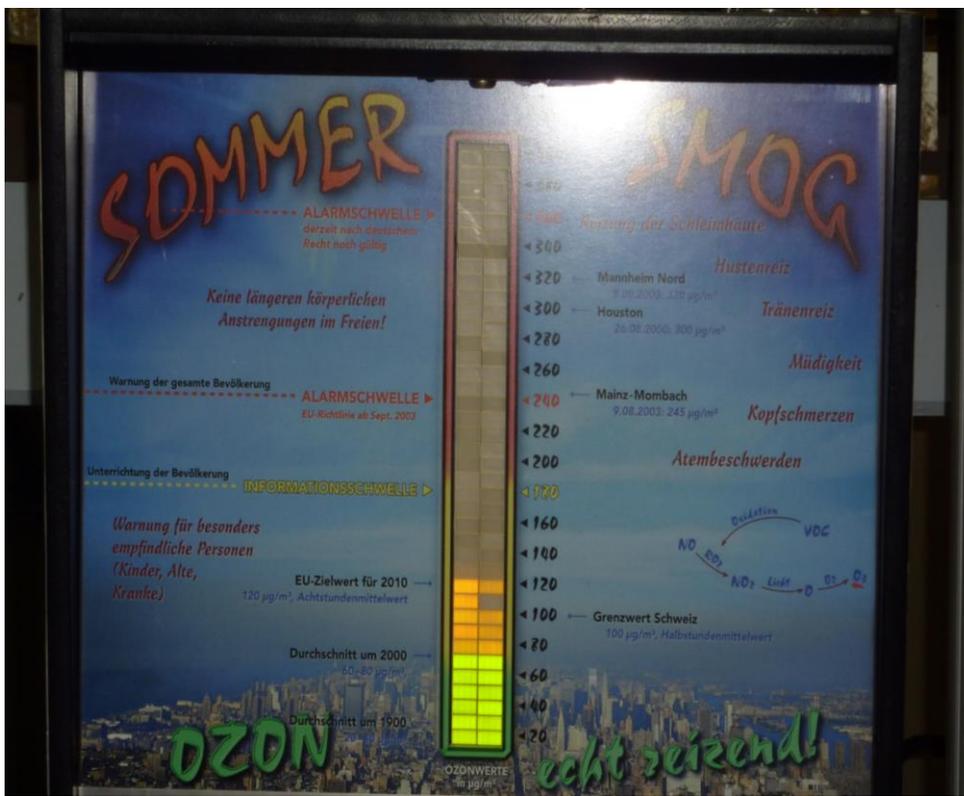


Schülerergebnisse – Vorübung mit Reingasen





Der ‚Ozon-Flipper‘



Messungen am „großen Gaschromatographen“



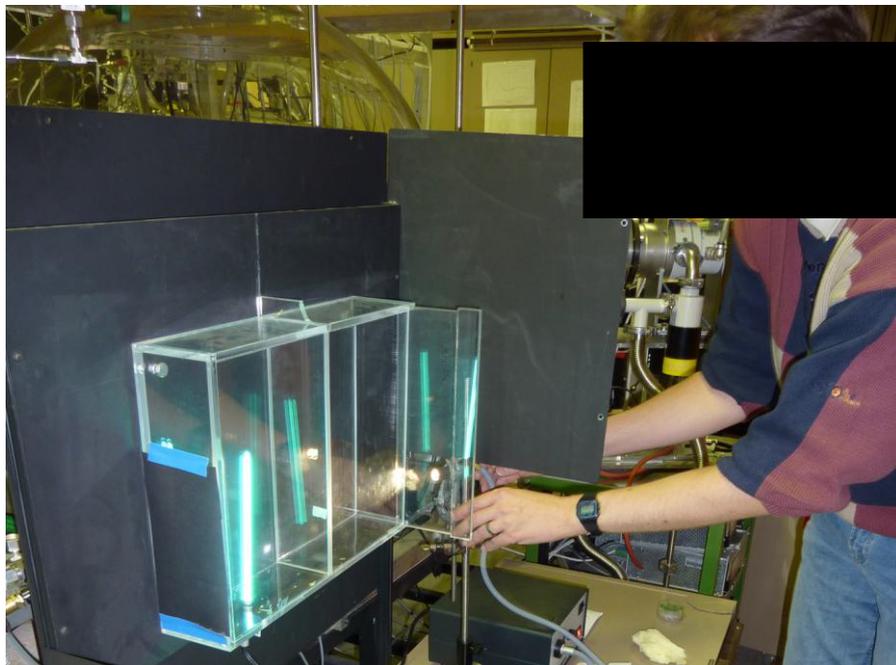
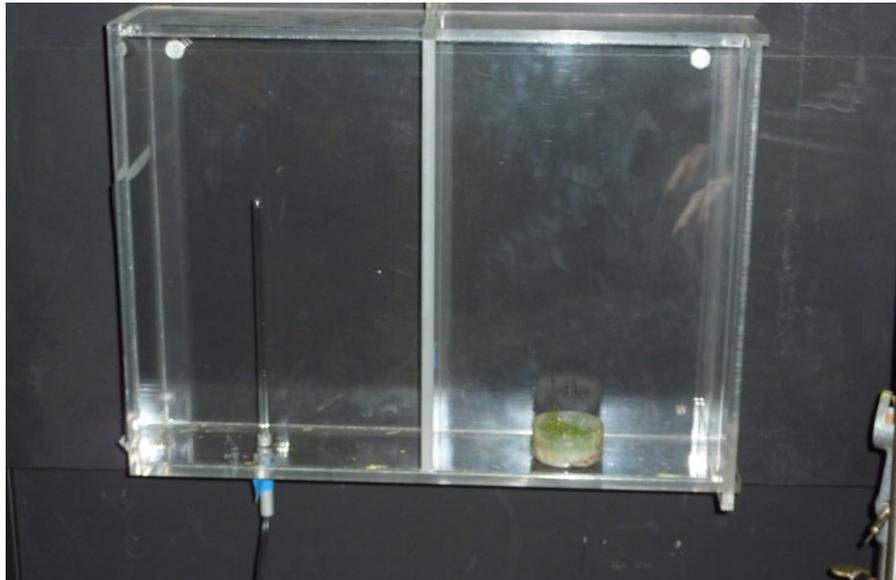
Schülerergebnisse

Auswertung Methan Messungen

Max-Planck-Institut für Chemie, Mainz

Probe	Fläche	Konzentration
Eichgas	$1,202 \cdot 10^5$	8,905 ppmv
Mainz	$2,479 \cdot 10^4$	1,837
Eisbohrkern (Antarktis)	$1,944 \cdot 10^4$	1,44
Atemluft	$2,49 \cdot 10^4$	1,845
Labor	$2,488 \cdot 10^4$	1,843

‚Ozonversuch‘ (mit frischen Tannennadeln)



**Herstellung
von Ozon
mittels UV-
Lampe**



**Partikel
werden
sichtbar**

Mobiles Labor des MPI



Abschlussgespräch mit Professor Dr. Paul J. Crutzen & Dr. Elmar Uherek



Berichterstattung (ESG-Homepage)

ESG-Schülerinnen besuchen Uni Mainz und treffen Nobel-Preisträger

04.11.2010 – Klimawandel und Treibhauseffekt – zwei Begriffe, die beim Leistungskurs Chemie am Edith-Stein-Gymnasium in diesem Schuljahr im Mittelpunkt stehen. Ganz tief in die Materie eintauchen durften die Schülerinnen am Mittwoch, den 4. November 2010. Bei einer Exkursion zum Max-Planck-Institut für Atmosphärenchemie an der Johannes-Gutenberg-Universität in Mainz durften sie selbst als Forscherinnen tätig werden und außerdem den dortigen Wissenschaftlern – darunter Nobelpreisträger Prof. Dr. Paul Crutzen – ein wenig über die Schulter blicken.



Christian Wittlich, der Chemielehrer des Kurses, hatte von persönlichen Zugfahrplänen bis hin zum aufregenden Tagesprogramm alles perfekt vorbereitet. Das Programm bestand unter anderem aus einem ausführlichen Vortrag zum „Treibhausgas“ Methan, sowie diversen Rundgängen und eben auch einer groß angelegten Laborarbeit. Betreut wurde die Gruppe von Dr. Elmar Uherek, im Institut mit verantwortlich für die Didaktisierung der Atmosphärenchemie, d.h. für die Zusammenarbeit von Forschung und Lehre, unter anderem zeichnet er sich für viele Veröffentlichungen zu diesem Thema verantwortlich.

Als „absolutes High Light“ innerhalb der von den Schülerinnen selbst durchgeführten Versuchsreihe wurde einstimmig die Methanmessung an einem urzeitlichen Eisblock eingestuft. Im Labor des Instituts verglich der Gruppe den Methangehalt von Laborluft, eigener Atemluft und der Luft „draußen“ mit der im Eisblock – mit dem Ergebnis, der Methangehalt in der Luft „draußen“ „erschreckend hoch“ ist.

Besonders beeindruckt waren die Schülerinnen auch vom „Caribic-Container“. Der Messcomputer, der die Größe eines Kleintransporters hat, wird im Lagerraum bestimmter Flugzeugtypen eingesetzt. Mit ihm kann man Methanmessungen in großer Höhe durchführen. „Da wird einem erst klar, wie brisant dieses Thema eigentlich ist“, so die Gruppe einstimmig.

Die Schülerinnen nutzen im Anschluss an die Labortätigkeit dann auch die Gelegenheit für ein eingehendes Gespräch mit Prof. Dr. Crutzen. Der Wissenschaftler hatte 1995 den Nobelpreis in Chemie für seine Forschungen im Bereich der Ozonchemie erhalten. Er beeindruckte seine Zuhörerinnen nicht nur durch private Anekdoten – „Stellen Sie sich vor, die Nachricht über die Verleihung hielt ich fälschlicherweise für Arbeit, und ich wollte sie erst nach dem Urlaub lesen...“ – sondern auch mit klaren Aussagen zum Thema „Treibhauspolitik“. Sinngemäß erklärte er, dass die Politik zwar heute für das Thema sensibilisiert sei, der „richtige“ Umgang mit den Forschungsergebnissen aber längst noch nicht stattfindende. Alle Kursteilnehmerinnen zeigten sich stark beeindruckt von diesem „lebendigen“ Unterricht, bevor sie müde und auch erschöpft nach Speyer zurückkehrten. (afs)

[Hier noch ein weiterer Text zu dieser Exkursion.](#)

[Startseite](#)[Termine](#)[Nachrichten **aktuell**](#)[Nachrichtenarchiv](#)[Kontakt](#)[Schulleitung](#)[Stufenleitung](#)[Lehrer](#)[Eltern](#)[SV](#)[Freundeskreis](#)[Schulstiftung](#)[Schulprofil](#)[Musikprofil](#)[Methodenschulung](#)[Suchtprävention](#)[Schulpastoral](#)[Gebetsschule](#)[Ruanda](#)[Schulträger](#)[Geschichte](#)[Impressum](#)

Klimawandel an der Uni Mainz analysiert

Chemie Leistungskurs beschäftigt sich mit dem Klimawandel und besucht das Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz



Klimaerwärmung und Treibhauseffekt sind zwei Begriffe, die beim Leistungskurs Chemie der MSS 12 am Edith-Stein-Gymnasium in diesem Schuljahr im Mittelpunkt stehen. Dabei haben sich die sieben Schülerinnen des Leistungskurses von Frau Langhauser vor allem mit klimawirksamen Treibhausgasen, wie Wasser und Kohlendioxid im Rahmen einer Stationenarbeit beschäftigt. Ganz tief in die Materie eintauchen durften die Schülerinnen dann am Mittwoch, den 3. November 2010. Bei einer Exkursion zum Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz durften sie selbst als Forscherinnen tätig werden, den dortigen

<http://esg-speyer.bildung-rp.de/KlimawandelUniMZ2010.htm>

Klimawandel an der Uni Mainz analysiert

Chemie Leistungskurs beschäftigt sich mit dem Klimawandel und besucht das Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz

Klimaerwärmung und Treibhauseffekt sind zwei Begriffe, die beim Leistungskurs Chemie der MSS 12 am Edith-Stein-Gymnasium in diesem Schuljahr im Mittelpunkt stehen.

Dabei haben sich die sieben Schülerinnen des Leistungskurses von Frau Langhauser vor allem mit klimawirksamen Treibhausgasen, wie Wasser und Kohlendioxid im Rahmen einer Stationenarbeit beschäftigt. Ganz tief in die Materie eintauchen durften die Schülerinnen dann am Mittwoch, den 3. November 2010. Bei einer Exkursion zum Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz durften sie selbst als Forscherinnen tätig werden, den dortigen Wissenschaftlern ein wenig über die Schulter blicken und den ehemaligen Leiter der Abteilung Chemie der Atmosphäre, Nobelpreisträger Prof. Paul Crutzen, interviewen.

Das von Dr. Elmar Uherek in Kooperation mit Dr. Bärbel Sinha konzipierte Programm bestand unter anderem aus einem kurzen Vortrag über das MPI und einer ausführlicheren Präsentation über die Klimaentwicklung und hierbei insbesondere die Rolle des Methans. Es folgten verschiedene Rundgänge und eine passend angelegte Laborarbeit.

Geleitet wurde der Leistungskurs von Dr. Uherek, der im Institut die Graduiertenschule der Doktoranden betreut und in der Vergangenheit neben mehreren Projekten zur Didaktisierung der Atmosphärenchemie für den Aufbau der Online-Klimaenzyklopädie ESPERE verantwortlich war (<http://www.espere.net/>).

Als „absolute High Light“ innerhalb der von den Schülerinnen selbst durchgeführten Versuchsreihen wurde einstimmig die Methanmessung an einem antarktischen Eisbohrkern eingestuft (BILD Schüler am GC), die Dr. Sinha betreute. Im Labor des Instituts verglich die Gruppe dabei den Methangehalt von Laborluft, eigener Atemluft und der Luft „draußen“ mit der Eisprobe – mit dem Ergebnis, dass der Methangehalt in der Luft draußen „erschreckend hoch“ ist. „Da wird einem erst klar, wie brisant dieses Thema eigentlich ist“, so eine Schülerin der Gruppe. Fasziniert waren die Schülerinnen auch vom Ozon-Versuch, den Dr. Uherek erklärte. Dabei wurden unsichtbare pflanzliche Duftstoffe durch eine Reaktion mit dem durch eine UV-Lampe hergestellten Treibhausgas Ozon über eine einsetzende ‚Dunstabbildung‘ für uns sichtbar, da sie sich zu schwerflüchtigen Stoffen umwandelten, die Partikel in der Luft erzeugten. Besonders beeindruckt waren die Schülerinnen auch von der Präsentation des „CARIBIC-Containers“ (BILD GRUPPE VOR CONTAINER), die Dieter Scharffe organisiert hatte. Der Verbund von Messgeräten, der die Größe eines Kleintransporters hat, wird regelmäßig im Laderaum eines Lufthansa-Passagierflugzeugs auf verschiedenen Interkontinentalflügen eingesetzt. Mit ihm kann man so

atmosphärenchemische Messungen zur Konzentration verschiedenster Spuren- und Treibhausgase sowie von Staubteilchen in großer Höhe (~10km) durchführen. Ein etwas weniger voluminöses Pendant zur Messung vieler Spurenstoffe auf der Straße ist das Mobile Labor „MoLa“, das Sarah-Lena von der Weiden vorstellte. Im Anschluss an die Labortätigkeit nutzten die Schülerinnen dann die seltene Gelegenheit für ein kurzes Gespräch mit Prof. Dr. Crutzen. Der Wissenschaftler hatte zusammen mit Mario Molina und Sherwood Rowland 1995 den Nobelpreis in Chemie für seine wertvollen Forschungen im Bereich der Ozonchemie erhalten, die dazu beitrug, die Bildung des stratosphärischen Ozonlochs zu verstehen, das sich jährlich im südlichen Frühjahr über der Antarktis bildet.

Den Kursteilnehmerinnen sind die am MPI gewonnenen Eindrücke wertvoll in Erinnerung geblieben. Gerade durch die Einblicke in das Institut konnten sie live miterleben, dass Klimaforschung und die weitere Erforschung der Atmosphäre lebendig und sehr spannend ist.

Die Unterrichtsreihe, die selbst von Studienreferendar Christian Wittlich im Rahmen seiner 2.Staatsexamensarbeit gehalten wurde, hat somit die Schülerinnen, anknüpfend an deren Vorwissen, für ein Thema sensibilisiert, was nicht nur „in aller Munde“, sondern was vor allem mit falschen Vorstellungen behaftet ist: „Die Atmosphärenchemie ist ein sehr komplexes, interdisziplinär arbeitendes Feld, in dem auch immer noch viele Fragen ungeklärt sind. Das merkt man vor allem auch an der vorsichtigen Ausdrucksweise der Forscher am MPI. Pauschalurteilen wie „früher gab es auch einmal Kalt- und Warmzeiten, das mit der Erwärmung ist alles ganz normal“ oder diversen hollywoodtauglichen Untergangsszenarien, wie sie auch die Medien gerne schüren, ist äußerste Vorsicht geboten.“ „Wichtig ist es“, so Wittlich, „vor allem bei einer so hohen Komplexität des Themas, fachlich fundiert zu argumentieren und Lösungen zu finden, wie wir alle etwas Positives bewegen können. Wissen um den aktuellen Stand der Forschung ist dabei der erste Weg, umweltgerechtes Handeln ein weiterer. Die Schülerinnen dieses Leistungskurses können nun fachlich fundiert mitreden und beim Beseitigen von Fehlvorstellungen zum Klimawandel helfen. Geplant ist darüber hinaus auch eine von den Schülerinnen des ESG initiierte Pflanzaktion, bei der Bäume im Pfälzer Wald gepflanzt werden sollen, die als wertvolle CO₂-Senken dienen. Ganz im Sinne der Nachhaltigkeit! (Text und Fotos: C.W.)

VON ABITUR BIS ZEUGNIS

EDITH-STEIN-GYMNASIUM

Am Urzeit-Eis „geleckt“

Klimawandel und Treibhauseffekt sind zwei Begriffe, die beim Leistungskurs Chemie am Edith-Stein-Gymnasium in diesem Schuljahr im Mittelpunkt stehen. Gestern konnten die Schülerinnen ganz tief in die Materie eintauchen. Bei einer Exkursion zum Max-Planck-Institut für Atmosphärenchemie an der Johannes-Gutenberg-Universität in Mainz durften sie sowohl selbst als Forscherinnen tätig werden als auch den dortigen Wissenschaftlern – darunter Nobelpreisträger Paul Crutzen – über die Schulter blicken.

Während des Tagesprogrammes, zu dem unter anderem ein ausführlicher Vortrag zum „Treibhausgas“ Methan stand, war Christian Wittlich, als betreuender Lehrer des Kurses stets mit von der Partie. Betreut wur-

de die Gruppe von Elmar Uherek, im Institut mit verantwortlich für die Didaktisierung der Atmosphärenchemie.

Als „absolutes Highlight“ innerhalb der von den Schülerinnen selbst durchgeführten Versuchsreihe stufen sie einstimmig die Methanmessung bei einem urzeitlichen Eisblock ein. Im Labor des Instituts verglich der Gruppe den Methangehalt unter anderem von Laborluft, eigener Atemluft und der Luft „draußen“ mit der im Eisblock. Ergebnis: Der Methangehalt in der Luft draußen „erschreckend hoch“ ist.

Besonders beeindruckt waren die Schülerinnen auch vom „Caribic-Container“. Der Messcomputer in der Größe eines Kleintransporters wird im Lagerraum bestimmter Flugzeugtypen für Methanmessungen in großer Höhe eingesetzt. „Da wird einem erst klar, wie brisant dieses Thema eigentlich ist“, so die Gruppe einstimmig. Die Schülerinnen nutzen im Anschluss an die Labortätigkeit dann

auch die Gelegenheit für ein eingehendes Gespräch mit Crutzen, der 1995 den Nobelpreis in Chemie für seine Forschungen im Bereich der Ozonchemie erhielt. Der mittlerweile 77-jährige Wissenschaftler beeindruckte durch private Anekdoten – „Stellen Sie sich vor, die Nachricht über die Verleihung hielt ich fälschlicherweise für eine Arbeit und wollte sie erst nach dem Urlaub lesen.“ Er bestach aber auch mit klaren Aussagen zum Thema „Treibhauspolitik“. Die Politik sei zwar heute für das Thema sensibilisiert, räumte er ein. Der „richtige“ Umgang mit den Forschungsergebnissen „findet aber längst noch nicht statt“. (afs)

„NIKI“

Präsentation von allen Möglichkeiten

Für Samstag, 20. November, 8 bis 14 Uhr, lädt das private Nikolaus-von-Weis-Gymnasium interessierte Eltern, Schüler sowie Freunde der Schule zum Informationstag ein. Der Tag der offenen Tür bietet einen Überblick über das vielseitige Angebot des Gymnasiums. „Schnupperunterricht“, Gesprächsforen, Demonstrationen, Infostände, persönliche Gespräche sowie ein vielfältiges buntes Programm sollen Hilfe für die spätere Fächerwahlentscheidung in der Oberstufe bieten und das große Angebot darstellen. Von 8 bis 11.30 Uhr findet regulärer Unterricht statt, der für Besucher offen steht. Um 9 Uhr erläutert Schulleiterin Gabriele Fischer das Konzept einer heutigen katholischen Privatschule. Bereits am Informationstag können Bewerbungsunterlagen mitgenommen werden. Sie liegen ab Samstag, 20. November, bis Freitag, 3. Dezember, im Sekretariat bereit, sind aber auch auf der Homepage der Schule abrufbar.

Info und Kontakt: Schulsekretariat (Öffnungszeiten: 7.30 Uhr - 12.30 Uhr), Telefon: 06232-315290; Fax: 06232- 95038, E-Mail: gymnasium@nvw-speyer.de, Internet: www.nvw-speyer.de (rhp)



Laborversuch: Schülerinnen des Edith-Stein-Gymnasium untersuchen mit einem Gaschromatographen den Methangehalt in Mainzer Luft im Vergleich zum Methangehalt in einer antarktischen Eiskernprobe. FOTO: PRIMAT

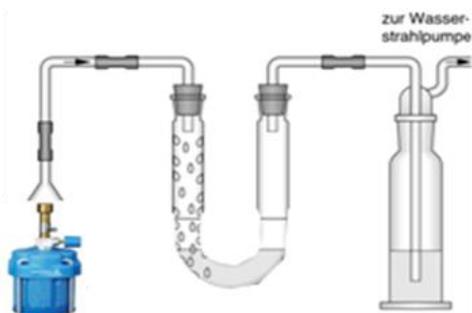
9.1.6. Fünfte Stunde: Anthropogener Treibhauseffekt

Arbeitsblätter

Der anthropogene Treibhauseffekt

Woher stammt eigentlich das in M2 dargestellte Kohlendioxid?

Versuch zur Untersuchung von Brennstoffen, hier _____



Durchführung:

Beobachtung:

Wortgleichung:

Reaktionsgleichung:

Erklärung:

Die organische Chemie beschäftigt sich vor allem mit Verbindungen die aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff (C,H,O,N) aufgebaut sind. Viele dieser Stoffe, vor allem die fossilen Brennstoffe (z.B. Erdöl, Braun- und Steinkohle), verbrennen zu den oben genannten Produkten. Die Alkane sind dabei eine sehr populäre Stoffklasse der organischen Chemie, die, wie im MPI bereits gesehen, einem recht einfachen „Bauplan“ entsprechen.

1. Vervollständige die Tabelle der ersten vier homologen Alkane.

Alkane	Konstitutionsformel	Summenformel	Siedetemperatur	Aggregatzustand bei 20 °C
Methan	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$			
Ethan				
n-Propan		C_3H_8		
n-Butan	$\begin{array}{cccc} \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\ & & & \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C}-\text{H} \\ & & & \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array}$			

2. Formuliere die allgemeine Summenformel der Alkane:

3. Welche Kräfte sind für die Veränderung der Siedetemperatur innerhalb der homologen Reihe der Alkane verantwortlich?

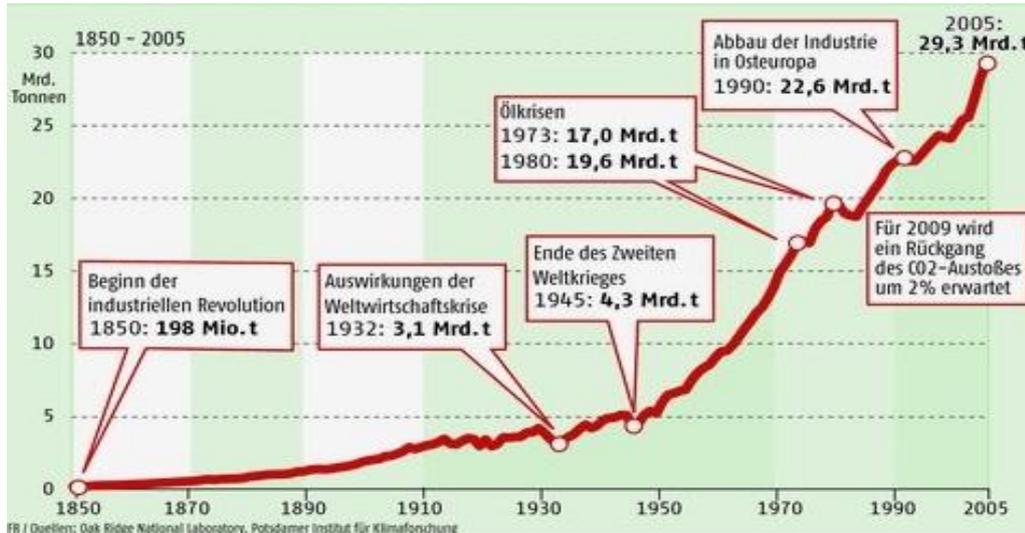
Der anthropogene Treibhauseffekt

Fach: Chemie (Wi)

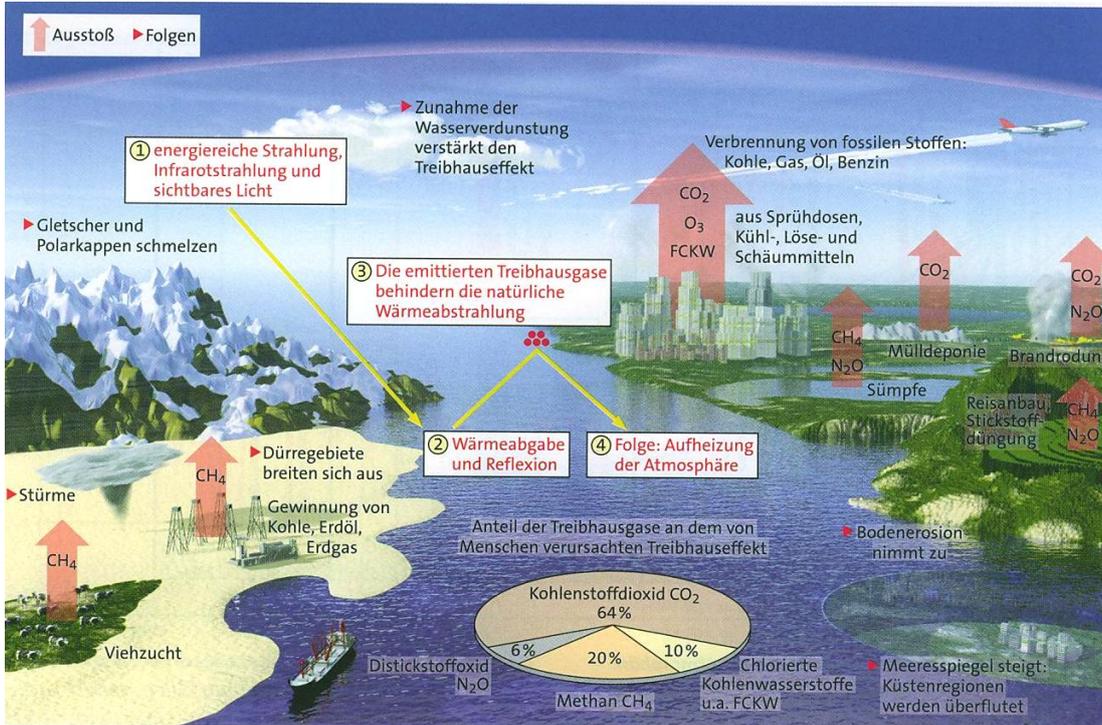
12CH

Datum: 5.11.2010

M1: Entwicklung des weltweiten CO₂-Ausstoßes



M2: Emissionsquellen von Treibhausgasen (Quelle: www.faz.net)



M3: Anthropogene Treibhausgase

	Kohlendioxid	Methan	Distickstoffoxid	FCKW-11
Vorindustrielle atmosphärische Konzentration	ca. 280 ppmv ¹⁾	ca. 700 ppbv ¹⁾	ca. 275 ppbv	0
Konzentration im Jahr 2000	369 ppmv	1753 ppbv	314 ppbv	265 pptv ¹⁾
Anthropogene Emissionen pro Jahr ²⁾	26 GT	600 Mt	16,4 Mt	³⁾
Konzentrationszunahme pro Jahr ⁴⁾	1,5 ppmv	7,0 ppbv	0,8 ppbv	-1,4 pptv
Mittlere Verweilzeit in Jahren	50-200	12	114	45
Relatives Treibhauspotenzial ⁵⁾	1	23	296	4600

1) Volummischungsverhältnisse in Einheiten von 10⁻⁶ (parts per million [ppmv]), 10⁻⁹ (parts per billion [ppbv]) und 10⁻¹² (parts per trillion [pptv])

2) Zeitraum 1990 - 1999

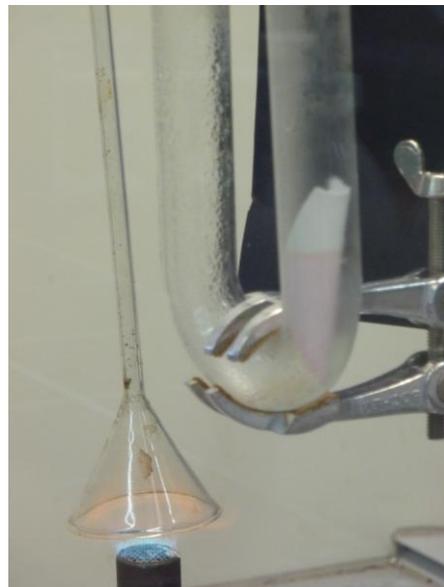
3) Die Emissionen von FCKW-11 sind aufgrund des Montrealer Protokolls seit 1990 stark rückläufig.

4) Für den Zeitraum 1990 - 1999, für FCKW-11 seit Mitte der neunziger Jahre

5) Relatives molekulares Treibhauspotenzial gemessen an der Treibhauswirkung von CO₂ (= 1) über 100 Jahre.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) Referat Öffentlichkeitsarbeit: Herausforderung Klimawandel, Bonn 2003, S. 18

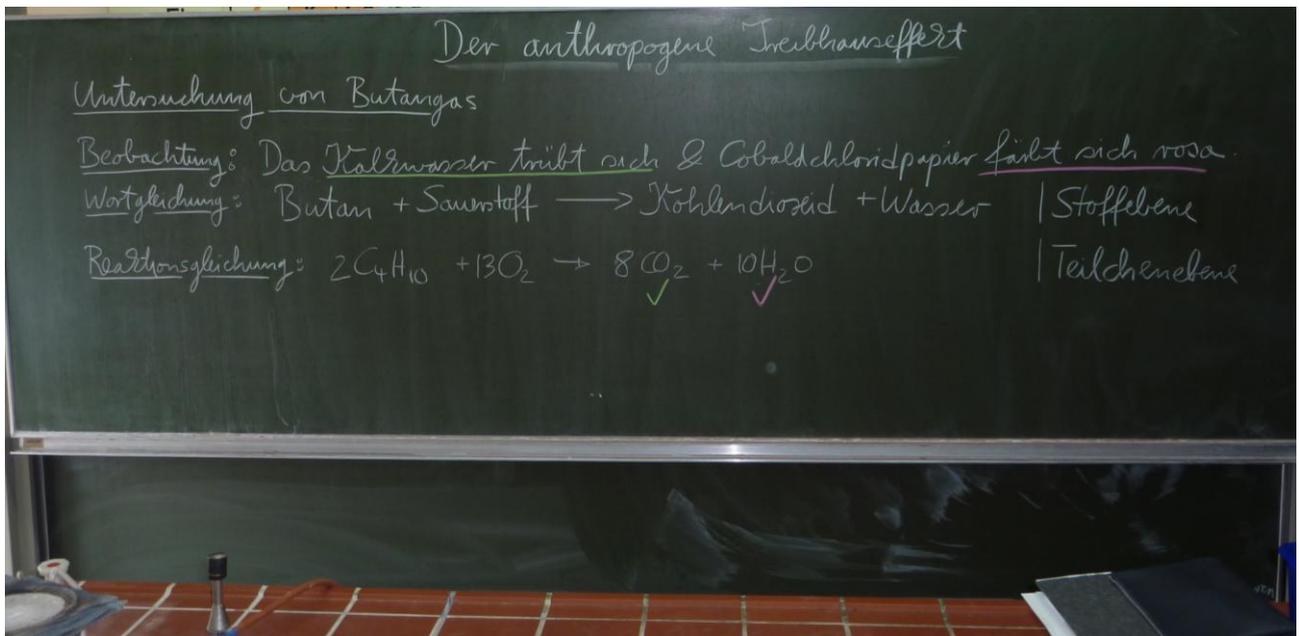
Durchführung (Realien, Versuch & Nachweisreaktionen)



Tafelbilder



Nach positiven Nachweisreaktionen

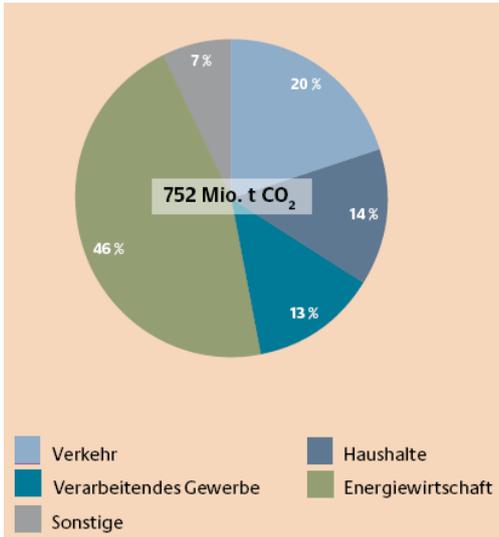


Der anthropogene Treibhauseffekt

Fach: Chemie (Wi) 12CH Hausaufgabe

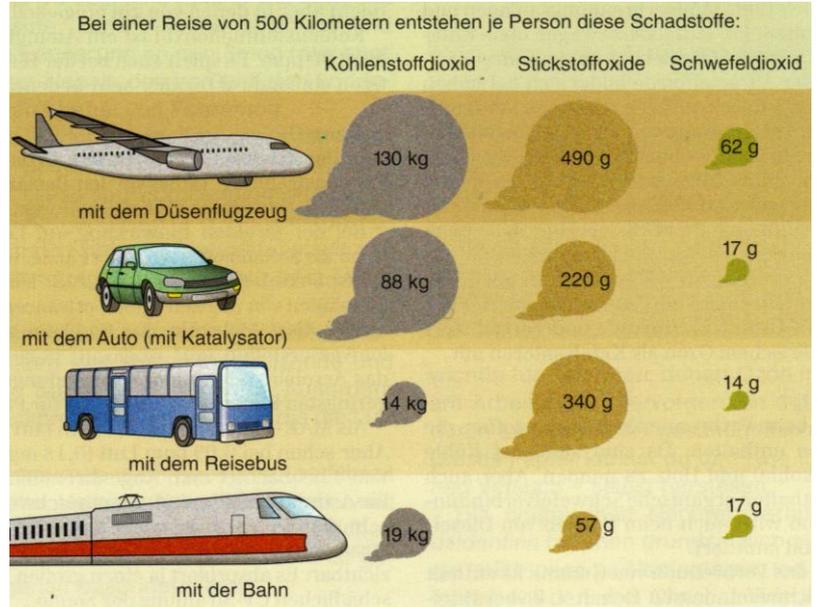


M1 Deutsche CO₂-Emissionen nach Sektoren in Prozent

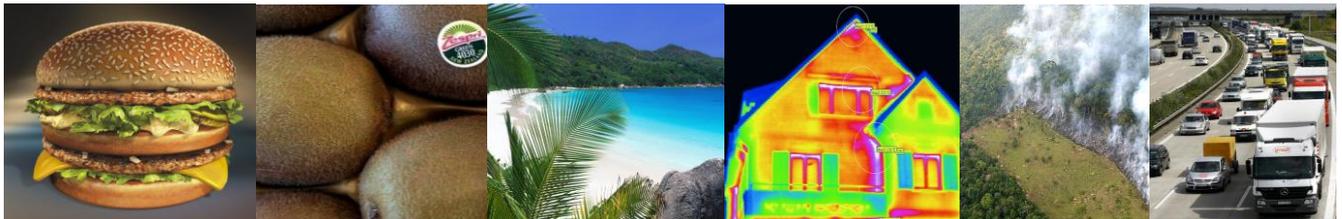


Quelle: BMWI (2010). Energie in Deutschland.
 Quelle: Chemie für Gymnasien, Themenheft 2.

M2 Reiselust belastet das Klima



M3 Konsum-Kollage



Quelle: Eigener Entwurf

M4 „Sustainable Development“ – Nachhaltige Entwicklung

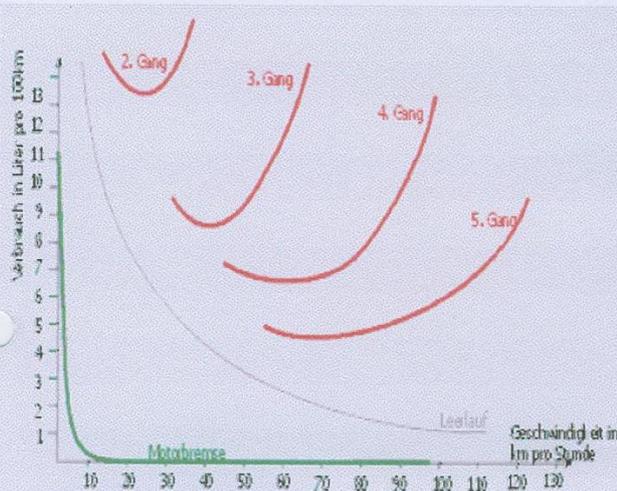
“Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs.”

Quelle: Vereinte Nationen (UN). Our Common Future. <http://www.un-documents.net/ocf-02.htm>

Arbeitsauftrag:

1. Nicht nur die Industrie, sondern wir alle steuern unseren individuellen Beitrag zum anthropogenen Treibhauseffekt bei (M1 & M2). Nenne konkrete Verbesserungsmöglichkeiten, wie Du **Deinen individuellen Beitrag reduzieren** kannst. Beziehe Dich als junge Führerscheinbesitzern dabei vor allem auf das Autofahren¹ und nenne (mithilfe von M5) Wege und Möglichkeiten spritschonend und damit auch klimafreundlicher zu fahren.

M5 Autofahren mit Verstand! (Quelle: SK-8)



- früh schalten (↑)
- Gänge nicht voll aufahren
- Fahrgemeinschaften bilden
- öffentl. Verkehrsmittel
- Reifendruck kontrollieren
- Zug benutzen
- Elektroauto / Auto m. Hybridantrieb

- Fahrrad fahren
- vorausschauend fahren
- Motor abstellen

2. M3 zeigt weitere Handlungsfelder auf, innerhalb derer Du Deine CO₂-Bilanz ganz im Sinne von M4 optimieren kannst. Suche Dir ein weiteres aus diesen Themen aus und beschreibe, wie Du konkret **handeln** kannst, um auch in diesem Themenfeld auf Klimafreundlichkeit zu achten.

- weniger Rindfleisch essen (Methanausstoß) => kein Fast Food
↳ gesünder essen
- auf einheim. Obst & Gemüse beschränken => Kinis aus Australien nicht mehr kaufen
- nahes Urlaubsziel wählen
- gute Wärmedämmung => weniger Wärmeenergie benötigt
weniger CO₂-Ausstoß in Fabriken
- keine Brandrodung => Papierblätter weiterverwenden
- Stau vermeiden

¹ Weitere wertvolle umweltschonende UND kostensparende Tipps rund um das Thema ‚klimaschonend Autofahren‘ bekommst Du unter: <http://sk-8.de/energie/eneBenzinsparenPkw.php>

9.1.7. Sechste & Siebte Stunde: Ozon

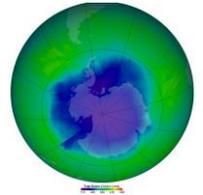
Arbeitsblatt 1&2

Stratosphärisches Ozon und das ‚Ozonloch‘

Fach: Chemie (Wi)

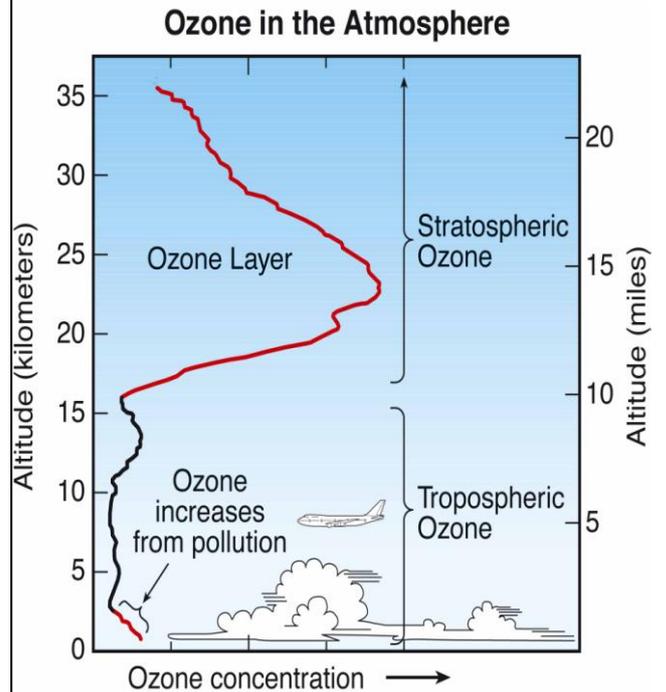
12CH

Datum: 10.11.2010



M1: Ozon – „unten zu viel“ und „oben zu wenig“!

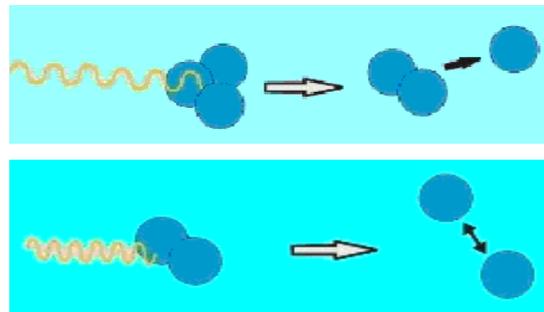
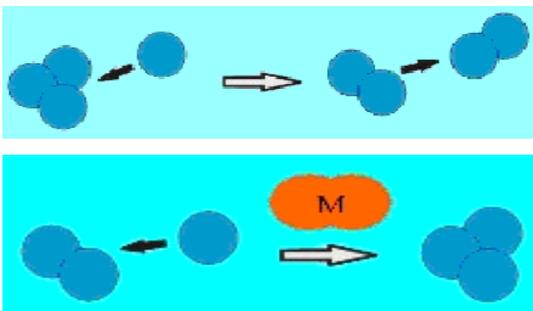
Ozon, auch als „aktiver Sauerstoff“ oder „Tri-sauerstoff“ bekannt, ist ein sehr wichtiges Gas in unserer Atmosphäre. Die farblos bis bläulich erscheinende, sehr toxische (T+), stechend riechende Verbindung findet man als Treibhausgas in bodennahen (**troposphärisches Ozon**) und vor allem auch in hoch gelegenen Bereichen unserer Atmosphäre (vgl. M2). Während das bodennahe Ozon für den „Sommer-Smog“ zuständig ist und sich in höheren Konzentrationen äußerst toxisch auf den Körper und andere Organismen auswirkt¹, schützt uns **stratosphärisches Ozon** vor aggressiver UV-Strahlung der Sonne. Das stratosphärische Ozon wird dabei auch als „Sonnenbrille der Atmosphäre bezeichnet“. In der Erdgeschichte konnte sich Ozon nach der Freisetzung von Sauerstoff in die Atmosphäre etwa zwischen 2000 und 600 Millionen Jahren vor der heutigen Zeit bilden. *Aber wie bildet sich Ozon?*



M2 Atmosphärische Ozonverteilung

Arbeitsauftrag zur Ozonbildung (Chapman-Zyklus)

In der Stratosphäre gibt es zwei stabile Formen des Sauerstoffes: normalen Luftsauerstoff (O_2) und Ozon (O_3). Um die eine Form in die andere zu ‚überführen‘, ist UV-Licht notwendig (**photochemische Reaktion**). Ordne den vier Abbildungen die jeweiligen Reaktionsschritte (Textfelder) nach dem zeitlich korrekten Ablauf der Reaktion zu. **Formuliere ausgehend von dieser Zuordnung vier Reaktionsgleichungen.**



Das gebildete O-Radikal reagiert mit einem anderen Ozon-Molekül und bildet zwei Moleküle normalen Sauerstoff (O_2).

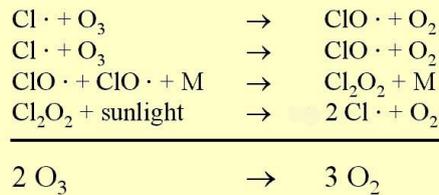
Das gebildete O-Radikal reagiert mit dem Luftsauerstoff (aus Gründen der Energieabgabe unter Stoß mit irgendeinem dritten Partner M) und es bildet sich Ozon.

In vergleichbarer Weise wird das Ozon auch durch **Photolyse** wieder abgebaut, wenn die O-O Bindung in einem Ozonmolekül durch das UV-Licht gebrochen wird.

Die O-O Bindung in einem Sauerstoffmolekül wird gebrochen. Die gebildeten O-Radikale sind äußerst reaktiv.

M2: Störung im Ozonhaushalt

Gerade die Ozonbildung (Chapman Zyklus) hat gezeigt, dass Ozon durch das UV-Licht auf- und abgebaut werden kann. Dabei handelt es sich um ein natürliches Gleichgewicht. Äußere Umstände haben in diesen natürlichen Kreislauf auf eine bedrohliche Art eingegriffen, die die Ozonschicht an manchen Stellen gefährlich stark abgebaut hat. In diesem Zusammenhang spricht man vom sogenannten ‚Ozonloch‘. Die Geschichte des Ozonlochs ist ein gutes Beispiel dafür, wie eine anscheinend harmlose Klasse von Chemikalien zu einer wirklichen Gefahr werden konnte. CFKW's (Chlor-Fluor-Kohlenwasserstoffe) sind nur eine Klasse von Chemikalien, die die Ozonschicht, wie in der Reaktionsgleichung, dargestellt abbauen. Sie wurden seit 1930 synthetisch hergestellt und galten wegen ihrer Ungiftigkeit, Unbrennbarkeit und der Reaktionsträgheit mit anderen Stoffen als „ideale Stoffe für Reinigungs- und Kühlmittel“. Erst ab 1974 kam die Vermutung auf, dass die vermehrt eingesetzten Gase die schützende Ozonschicht, die ‚Sonnenbrille der Atmosphäre‘, zerstören könnten. Weltall-Aufnahmen der NASA haben tatsächlich eine erhebliche Ausdünnung der Ozonkonzentration in der antarktischen Stratosphäre gemessen.



Die gasförmigen CFKW's – selbst auch Treibhausgase – reagieren ebenfalls photochemisch mit der energiereichen UV-Strahlung, so dass hoch reaktive Chlor- und Fluorradikale freigesetzt werden, die aufgrund ihrer Langlebigkeit durch Luftströmungen global verbreitet werden.

Diese Radikale, die in einer Kettenreaktion ausschließlich zur Zersetzung des Ozons führen, sind deshalb im Ozonabbau so erfolgreich, weil sie während der chemischen Reaktion selbst nicht verbraucht sondern immer wieder ‚recycelt‘ werden (siehe Abbildung). **Ein einziges Chlornradikal ist genau auf diesem Wege in der Lage bis zu 100.000 Ozonmoleküle zu vernichten!**

Im Montrealer Protokoll von 1987 wurde die Herstellung und Verwendung von CFKW's weltweit verboten. Auf Grund ihrer langen Lebensdauer (siehe M3, Arbeitsblatt der vorausgegangenen Stunde) wird es noch etwa 50 Jahre dauern, bis die bis dato freigesetzten CFKW's aus der Stratosphäre entfernt sind und sich in der Ozonschicht hoffentlich wieder ein stabiles Gleichgewicht einstellt. Das Ozonloch der letzten Jahre war in seiner Größe recht stabil. Ausnahmen kann es jedoch immer geben. So wurde in 2002 fast überhaupt kein Ozonloch beobachtet, Ein Beispiel dafür, dass atmosphärische Prozesse immer unvorhergesehen ablaufen können. Im September 2006 erreichte das Ozonloch seine bisher maximalste Ausdehnung. Die Forscher sind sich jedoch relativ einig, dass der Trend eine Rückbildung der Ozonschicht zeigt, die vor allem auf das CFKW-Verbot zurückzuführen ist. Von daher eine kleine Erfolgsstory!

Trägt nun das Ozonloch zum Treibhauseffekt bei? Zunächst ist zu sagen, dass es sich hier um zwei unterschiedliche Themen innerhalb der Atmosphärenchemie handelt, die auf den ersten Blick nicht viel miteinander zu tun haben. Beim Treibhauseffekt werden prinzipiell die klimawirksamen Gase innerhalb der Troposphäre betrachtet. Die Ozonschicht befindet sich aber in der Stratosphäre! Es gibt eine Wechselwirkung, die aber mit den Perlmutterwolken zu tun hat, an denen der Abbau von Ozon stattfindet!

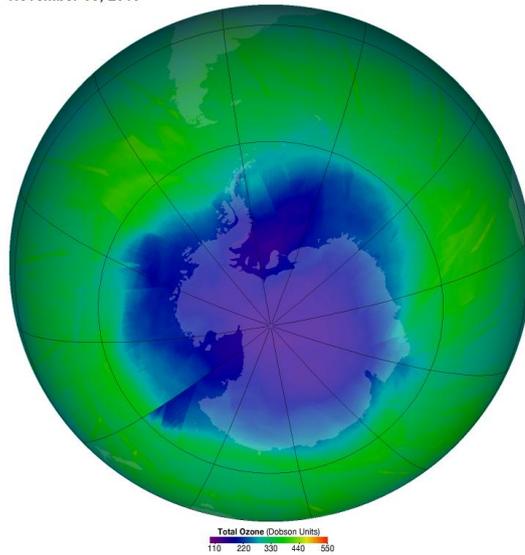
Finde diese Wechselwirkung heraus!

(Dobson Units (DU)). Die Ozonmenge wird, anstelle einer Konzentration oder eines Mischungsverhältnisses, gerne auch in Dobson Einheiten (Dobson Units = DU) angegeben. 300 DU ist ein typischer Wert. Ein Richtwert von 220 DU wurde festgelegt unterhalb dem man von einem Ozonloch spricht. Nehmen wir an, die Ozonmoleküle wären nicht über die ganze Stratosphäre und 10% ja auch über die Troposphäre verteilt, sondern in einem dünnen Film am Erdboden konzentriert. Und bestände dieser Film aus reinem Ozon, so wäre er etwa 3 mm dick (= 300 DU). Also: 1 DU = 0,01 mm Dicke eines gedachten Filmes aus reinem Ozon am Erdboden.)

Weitere Infos zum Thema inkl. Paul Crutzen Video-Interview:

<http://www.zeit.de/wissen/2010-09/nobelpreistraeger-paul-crutzen>

November 05, 2010

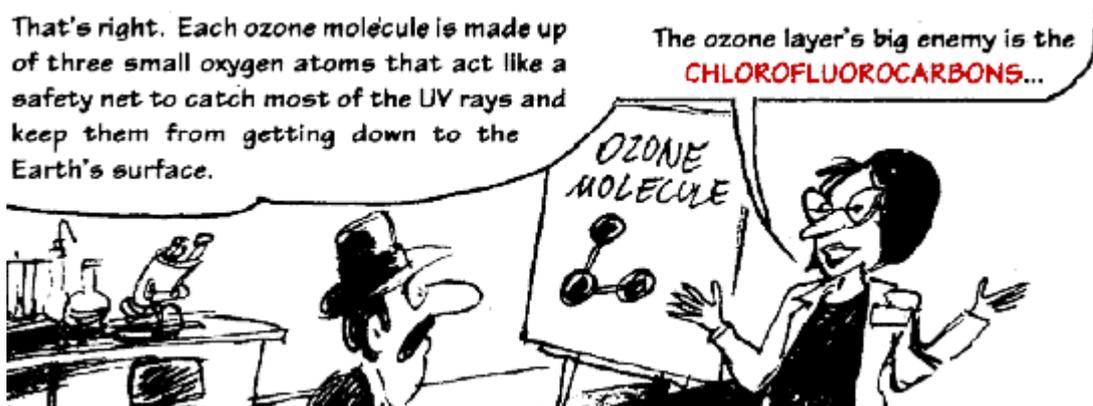


Quelle: NASA (2010), <http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/>

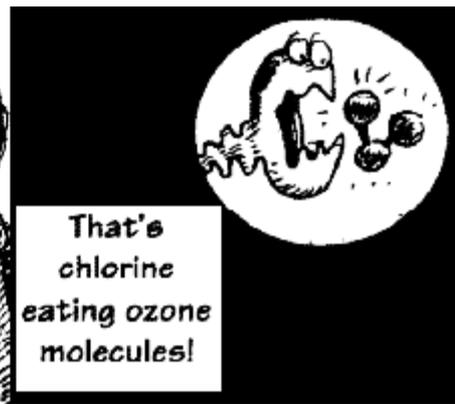
Perlmutterwolken



Quelle: www.deutscher-wetterdienst.de



Look closely into my
stratospheric visio-peeker. It
will show you what's going on
up there.



Der ganze Comic befindet sich im CD-Anhang

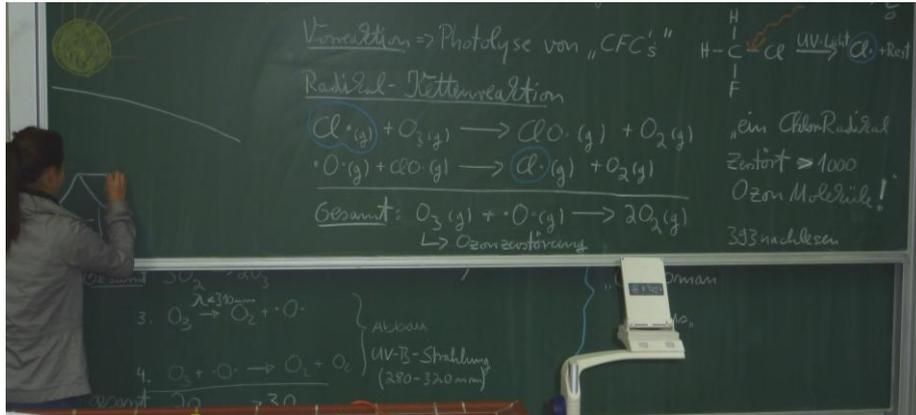
Sicherungsphase 1: Schülerinnen präsentieren ihre Ergebnisse (Chapman-Zyklus)



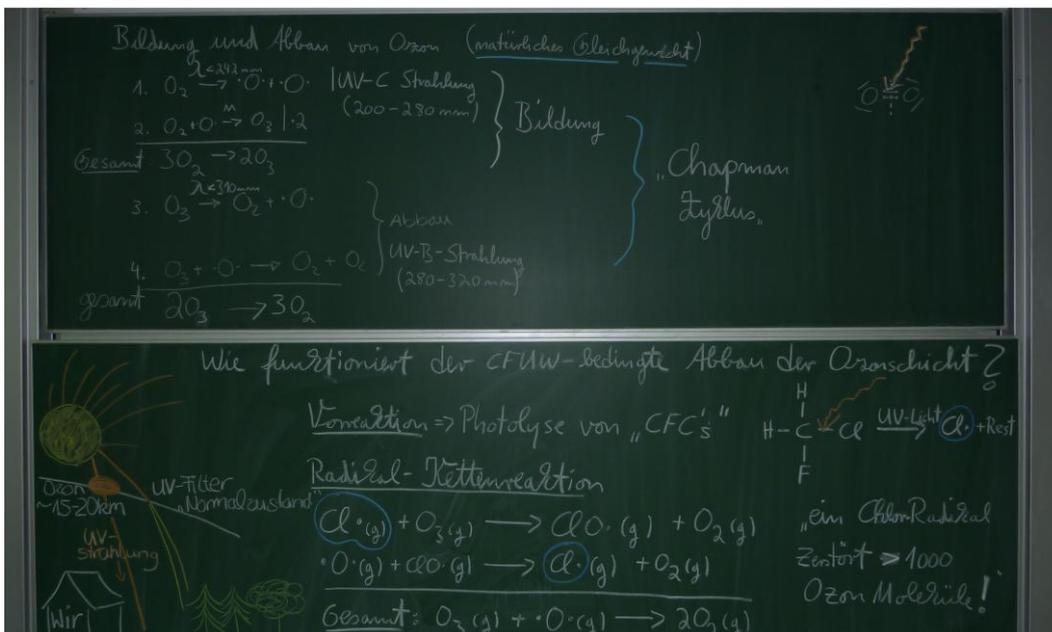
...und fixieren den Mechanismus an der Tafel



**Sicherung der zweiten Stunde: Der CFKW-bedingte Abbau von Ozon
(dynamisches Tafelbild)**



Chapman-Zyklus & CFKW-bedingter Abbau der Ozonschicht



Chemisches Rollenspiel

1. Photolyse von CFKW zur Bereitstellung reaktiver Radikale



2. Abbau von Ozon durch Chlorradikale



Abschlussbetrachtung & Ausblick
Kritische Stimmen (Folie)

„Neuere Datenauswertungen weisen darauf hin, daß die Temperatur in den vereinigten Staaten im letzten Jahrhundert nicht zunahm.“



„Die Temperatur der Erde unterliegt natürlichen Schwankungen, folglich ist die Veränderung der Temperatur ein natürlicher Vorgang.“

Global Warming

Fact or fiction?

„Die Erwärmung des letzten Jahrhunderts ist eine Folge des Einflusses der Sonne, nicht der Treibhausgase.“

„Die globale Erwärmung ist vorteilhaft.“

Quelle: Zitate aus, Cruzen, P. J & Graedel, T. E. (1996). Atmosphäre im Wandel: Die empfindliche Lufthülle unseres Planeten. S. 189-191. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, Oxford.

Pflanz-Urkunde





Pflanz-Urkunde

verliehen an

*In Anerkennung Deiner Pflanzung von Bäumen im Forstrevier
Modenbach.*

GPS – Koordinaten: _____

Unterschrift: _____




Datum: _____





Zusage des Försters (E-Mail)

Hi Herr Wittlich,

Spannung steigt, wer ist es wohl... oh nein, nicht schon wieder :P

Ok, jetzt zum eigentlichen Thema J:

ich habe schon eine Rückmeldung von Herr Westermann erhalten... (voll cool J!! Der Mann ist einfach genial!)

E-Mail:

Hallo Anne- Marie,

ich finde Euer Engagement in diese Richtung super!

Habe mit Jürgen Render, Förster im Forstrevier Modenbach, gesprochen. Er hat eine Fläche am Waldrand von Dudenhofen, die Ende März, Anfang April 2011 mit ca. 500 Pflanzen bepflanzt werden soll. Er kann sich das vorstellen, wenn er selbst nicht zuviel mit der Orga zu tun hat.

Wenn Ihr möchtet , könnten wir von der Rucksackschule Speyer gemeinsam mit der Schule da etwas organisieren und durchführen.

Ich würde mich freuen.

Person suchen Optionen

Pflanzaktion Dudenhofen

[Redacted]@wald-rlp.de  Aktionen

Montag, 17. Januar 2011 16:58

Hallo Herr Wittlich, hallo Anne- Marie,

Ich habe mit Herrn Render, dem zuständigen Revierleiter, telefoniert.
Es sollen ca. 450 Pflanzen gepflanzt werden, das ist mit der zu erwartenden Gruppe locker zu schaffen. Gut wäre es, wenn die Schüler ihre Spaten selbst zu der Aktion mitbringen, denn wir haben natürlich nicht so viele Spaten im Lager.
Der Termin 15.4. klappt auch von seiner Seite her, wir müssen ihm nur ein Geburtstagsständchen singen, er hat nämlich an diesem Tag Geburtstag. Aber sie Herr Wittlich bringen ja ihre Gitarre eh mit, dann schaffen wir auch das!

[Redacted] wird mit der Gemeinde Dudenhofen abklären, ob wir für die Pflanzaktion einen kleinen Geldbetrag von der Gde bekommen, der dann, wie besprochen, an unsere Partnergemeinde des Forstamts nach Peru zu einer Pflanzaktion dort vor Ort geht. Da der Bürgermeister von Dudenhofen ein ehemaliger Forstkollege von uns ist, gehe ich davon aus, dass [Redacted] die Sache positiv, auch finanziell, sieht.

Unser Kollege [Redacted] aus Schifferstadt hat Kontakte nach Peru und hat als Entwicklungshelfer in dieser Gemeinde gearbeitet, sodass wir über Briefe und Bilder mit den dort Zuständigen Verbindung aufnehmen können. Wichtig ist es, dass die Schüler sehen, dass mit ihrem erarbeiteten Geld tatsächlich etwas für die Umwelt geschehen ist. Man kann hier wie dort etwas für die Umwelt tun. Ggf. könnten wir die GPS Daten der Pflanzung in Peru auch bekommen, sodass wie in Dudenhofen geplant, die Schüler auch dort über google earth die Entwicklung verfolgen können.

Die Idee, wir pflanzen hier Bäume für den Klimaschutz und finanzieren dadurch Wiederaufforstung und Klimaschutz auch auf der anderen Seite der Erde, finde ich ziemlich rund und gelungen.

Freue mich auf gemeinsames Tun

Grüße

[Redacted]

9.2. Klausuren

Klausuraufgaben

Atmosphärenchemie

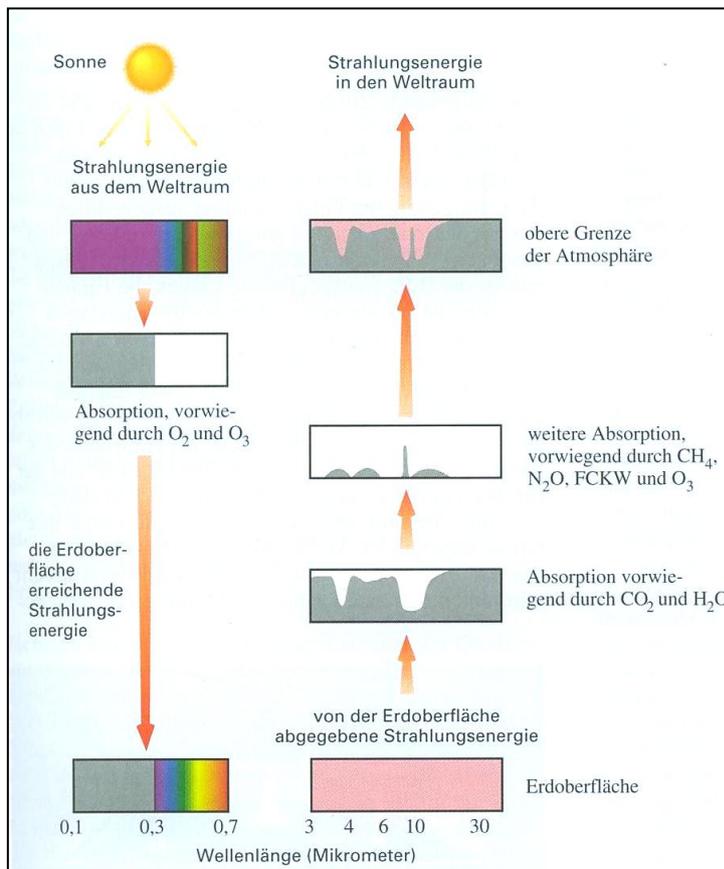
- 4.1. **Erläutere** den Treibhauseffekt anhand einer ausreichend beschrifteten Skizze. **Beschreibe** dazu auch die Wechselwirkung zwischen der Wärmestrahlung und verantwortlichen Treibhausgasen in der Teilchenebene.
- 4.2. **Beschreibe** kurz den Unterschied zwischen dem natürlichen und dem anthropogenen Treibhauseffekt.
- 4.3. **Diskutiere** das Vorhandensein von Treibhausgasen in unserer Atmosphäre (Vorteile/Nachteile).
- 4.4. **Nenne und begründe** bei welcher Teil-Abbildung (M1) die Analogie des Treibhauses am besten zur Geltung kommt.
- 5.1. **Erkläre** mithilfe des Prinzips von Le Chatelier, wie sich eine globale Erwärmung auf den CO₂-Austausch zwischen Atmosphäre und Hydrosphäre (M2) auswirkt.

Nachschreiber (Ozonchemie):

- 5.1. Der Nobelpreis für Chemie ging 1995 an die Chemiker CRUTZEN, MOLINA und ROWLAND. Sie untersuchen seit den siebziger Jahren die Chemie der Atmosphäre. Die Amerikaner Molina und Rowland veröffentlichten bereits 1974 die CFKW-Ozon-Theorie, mit der sie die Zerstörung der lebenswichtigen stratosphärischen Ozonschicht durch CFKWs vorhersagten. **Stelle** die Wechselwirkung zwischen CFKW und Ozon in der Teilchenebene **dar**. **Formuliere** zu diesem Zweck zunächst den Chapman-Zyklus (natürlicher Auf- und Abbau von Ozon) und im Anschluss den CFKW-bedingten Abbau der Ozonschicht, inklusive Vorreaktion und Radikalreaktion.
(Vollständige Reaktionsgleichungen, Teilgleichungen und Gesamtbilanz).
- 5.2. **Erläutere**, was in diesem Kontext die Aussage:
„Ozon - oben zu wenig und unten zu viel!“ zu bedeuten hat.

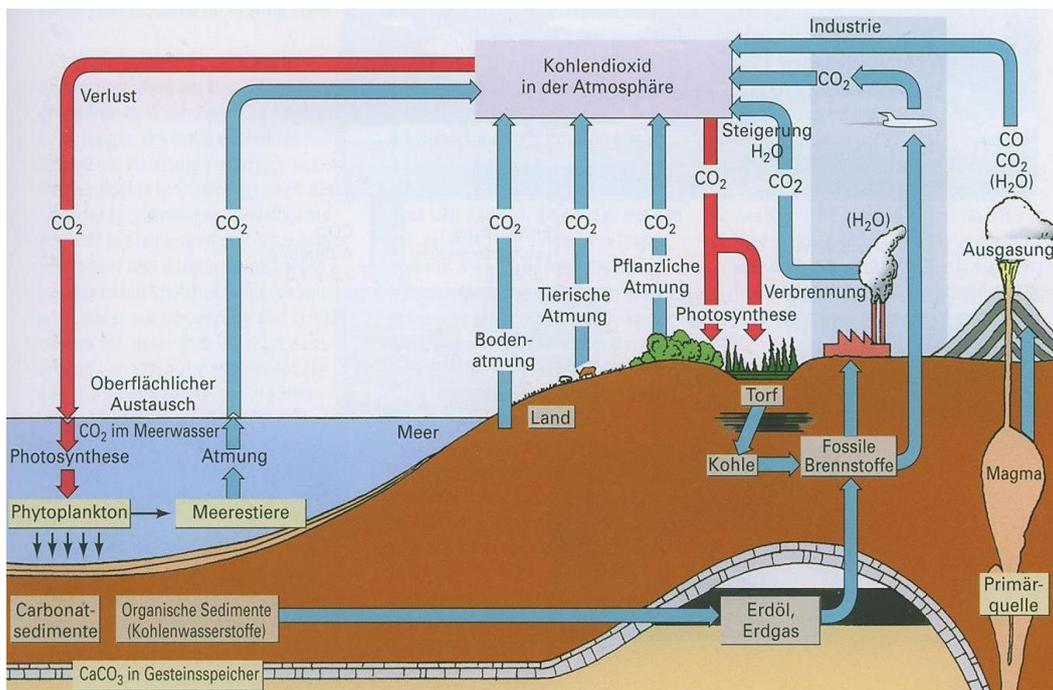
Materialien

M1: Wechselwirkung zwischen Wärmestrahlung (Infrarotstrahlung) und Treibhausgasen

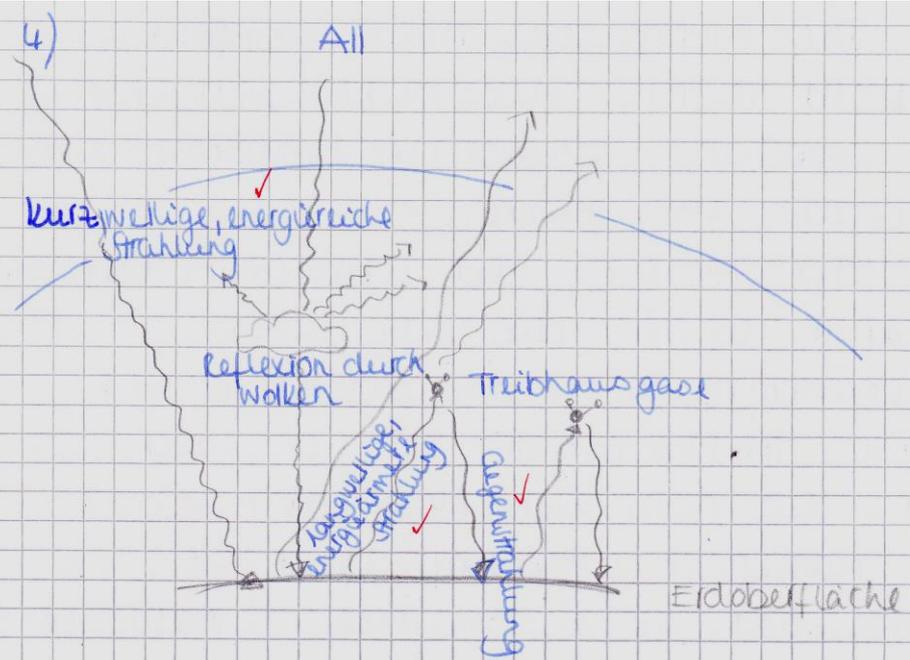


Quelle: Crutzen, P. J & Graedel, T. E. (1996). Atmosphäre im Wandel: Die empfindliche Lufthülle unseres Planeten. S. 17. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, Oxford.

M2: Der Kohlenstoffkreislauf



Quelle: Strahler, A. H. & Strahler, A. N. (2009). Der Kohlenstoffkreislauf, in: Kapitel 8, Biogeographische Prozesse, Energie- und Stoffflüsse in Ökosystemen, S. 304. 4. Auflage, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.



- Die einfallende, energiereiche Strahlung ✓
wird von der Erdoberfläche ~~zu~~ absorbiert.
- Die daraufhin von der Erde
emittierte Wärmestrahlung wird zum
Teil wieder in den Weltraum
„entlassen“, aber ein Großteil der
Strahlung ^{wird} von den Treibhaus-
gasen in der Atmosphäre absorbiert. ✓
- Die absorbierte Strahlung regt die
Moleküle der Treibhausgase zur
Bewegung an und sie geben
die Strahlung zurück zur Erdober-
fläche ab (Gegenstrahlung). ✓ Folge?
Einige dieser Treibhausgase sind
zum Beispiel H_2O und CO_2 . ✓

4.2. Der natürliche Treibhauseffekt entsteht durch die Wechselwirkungen zwischen der Bios- und Hydrosphäre mit der Atmosphäre.

Bei der Atmung der Lebewesen beispielsweise gelangt CO_2 in die Luft und Wasserdampf ist ein nicht vermeidbares Treibhausgas, da es auf der Welt sehr viel Wasser gibt. ✓

Der natürliche Treibhauseffekt ist also der nicht vom Mensch verursachte Treibhauseffekt. Er hat keinen Einfluss darauf.

Der anthropogene Treibhauseffekt jedoch ist vom Menschen verursacht. ✓

Durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe beispielsweise gelangt mehr CO_2 in die Atmosphäre. ✓

4.3. Wasserdampf und Kohlenstoffdioxid sind natürliche Treibhausgase und deshalb nicht so schädlich wie z.B. FCUW . Im Gegenteil.

Kohlenstoffdioxid ist durchaus wichtig. Von den Ozeanen von den Meeren aufgenommene Kohlenstoffdioxid reagiert mit den Carbonat-Ionen zu Hydrogencarbonat.

Das ist für viele Meerestiere zur (z.B. Muscheln)

Ausbildung ihrer Schalen von Bedeutung. CO_2 ist auch für die Photosynthese der Pflanzen von Bedeutung. Wenn man sich allerdings andere Gase anschaut wie FCKW sind die Treibhausgase ein Fluch.

→ Carbonat-Ionen werden in die Schalen eingelagert

FCKW verhindert nicht nur das Entweichen der Strahlung in den Weltraum, sondern baut zudem noch unsere Ozonschicht ab.

Außerdem sorgen die Treibhausgase dafür, dass es in unserer Atmosphäre immer wärmer wird.

Was wäre ohne Treibhausgase?

4.4.

Die Analogie des Treibhauses kommt am besten auf der rechten Seite der Abbildung zur Geltung.

→ Entsprechung beim Treibhaus?

Da erkennt man, dass ein Großteil der von der Erde emittierten Strahlung von den Treibhausgasen CO_2 und H_2O absorbiert wird.

Dann wird die restliche Strahlungsenergie erneut absorbiert (durch CH_4 , FCKW) und dann gelangt sie zur oberen Grenze der Atmosphäre.

~~Der~~ Der größte Teil der Strahlungsenergie ist jedoch in der Atmos-

2,5/3

⑤ 5.1) Wenn die Temperatur immer mehr steigt (und somit auch die Meerestemperatur), dann verschiebt sich das Gleichgewicht der evolvieren Reaktion ($\text{CO}_2(\text{aq}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow 2\text{HCO}_3^-(\text{aq})$) in Richtung der Edukte (Le Chatelier-Prinzip des kleinsten Zwangs). Dadurch wird weniger CO_2 vom Meer aufgenommen ✓ und mehr bleibt in der Atmosphäre, wodurch sich alles noch mehr erwärmt (Treibhauseffekt) ✓. Denn eigentlich sind die Meere ein wichtiger CO_2 -Speicher für uns. Außerdem führt die Klimaerwärmung auch zu Winden, die die südlichen Meere „aufwirbeln“. Dadurch wird weniger CO_2 aufgenommen als die letzten Jahrzehnte, wodurch auch mehr CO_2 in der Atmosphäre bleibt und es sich weiter erwärmt. Darüberhinaus können durch die zunehmende Erwärmung ganze Ökosysteme kaputt gehen was zu weiteren Problemen / Aussterben führen würde, da ~~alle~~ alle Lebewesen und Pflanzen im Kohlenstoffkreis untereinander verbunden sind. ✓
 stört z.B. das Phytoplankton aus, so wird weniger CO_2 in O_2 umgewandelt. So haben wir (Menschen + Tiere) weniger O_2 zum Atmen (irgendwann), usw.
 Außerdem, was das größere Problem ist, bleibt so wiederum viel mehr CO_2 in der Atmosphäre und alles erwärmt sich noch mehr.
 Es sind alles Rückkopplungen. ✓

sehr schön!

	A4.1	A4.2	A4.3	A4.4	A5.1	Ges.
Lösungserfolg pro Aufgabe (%)	81	72	72	75	80	65

Chemie - Kursarbeit 12/1

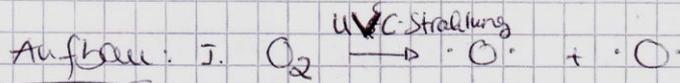
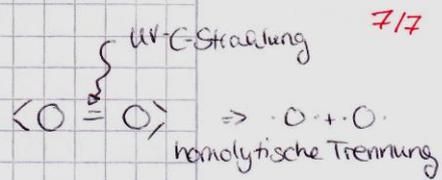
Charlotte Guehl

YESS12

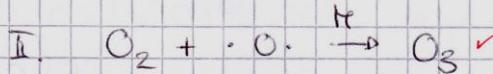
15.12.10

Aufgabe 3:

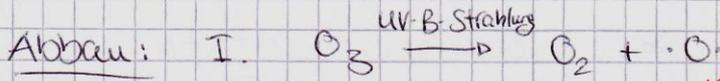
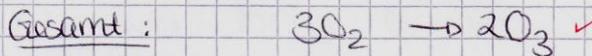
3.1. Chapman-Zyklus:



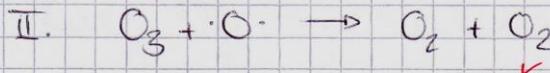
Spaltung von Sauerstoffmolekül durch UV-C-Strahlung in 2 O-Radikale (höchst reaktiv) ✓



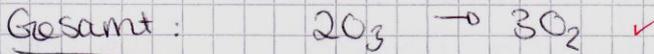
O-Radikal reagiert mit Sauerstoffmolekül (aus Gründen der Energieabgabe durch Stoß mit einem 3. Partner (H)) zu O₃.



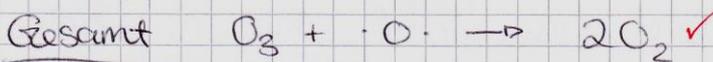
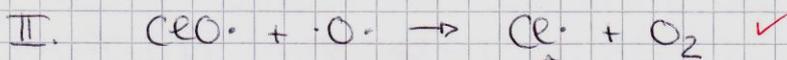
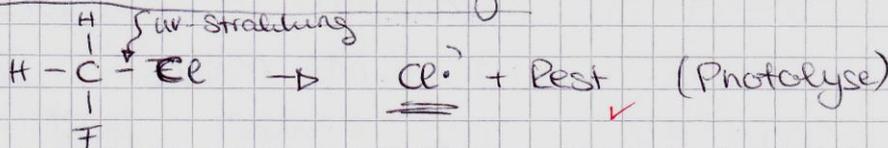
Spaltung von Ozon durch UV-B-Strahlung in Sauerstoff und O-Radikal (Photolyse).



O-Radikal reagiert mit Ozon zu 2 O₂-Molekülen



CFKW-Ozon-Wirkung:



Radikal bleibt erhalten, kann so >10000 Ozonmoleküle zerstören

CFKW:

- Treibhausgas in der Troposphäre
- "Ozonkiller" in der Stratosphäre

3.2. Die Aussage „Ozon - oben zu ~~viel~~^{wenig} unten zu ~~wenig~~^{viel}“ bezieht sich darauf, dass durch den Ausstoß von Treibhausgasen, eben jenes CFKW unter anderem, vermehrt das ~~Er~~ stratosphärische Ozon, also das schützende Ozon (oben), angegriffen wird und somit der Schutz vor den UV-Strahlen zerstört wird. 1.

nein!

Daraus folgt, dass mehr kurzwellige UV-Strahlen auf die Erde gelangen, welche die Erde erwärmt und die Erde gibt ~~die~~ darauf folgend langwellige, energieärmere Infrarotstrahlung wieder ab. Diese Infrarotstrahlung trifft auf die Treibhausgase, welche vermehrt ausgestoßen wurden, die die Strahlung absorbieren und zurückwerfen (Gegenstrahlung). Dieser Vorgang bezeichnet man als Treibhauseffekt und je mehr Treibhausgase in der Atmosphäre vorhanden sind, desto mehr Strahlen werden zurückgeworfen und die Erde erwärmt sich noch mehr. Dadurch, dass die Erde sich erwärmt und

Bezug zur Frage ?

9.3. Ergebnisse der Onlinebefragung

Umfrage LK12 Chemie



<http://www.surveymonkey.com/s/KFVY7DR>

Öffne den oben stehenden Link und beantworte die acht Fragen zügig, gewissenhaft und alleine. Diese Umfrage dient der **Vorbereitung** auf die Unterrichtsreihe zum Thema „Atmosphärenchemie“.
Viele Grüße, C. Wittlich

Beantwortungsübersicht

Gestartete Umfragen gesamt: 7
Abgeschlossene Umfragen gesamt: 7 (100%)

SEITE: UMFRAGE IM CHEMIE LEISTUNGSKURS 12

1. Alle einfallende Sonnenstrahlung wird an der Erdoberfläche wie an einem Spiegel reflektiert.

Tabelle erstellen

Herunterladen

	Beantwortung in Prozent	Anzahl Beantwortungen
Stimmt	0,0%	0
Stimmt nicht	100,0%	7
beantwortete Frage		7
übersprungene Frage		0

2. Einfallende Sonnenstrahlung wird von der Erdoberfläche absorbiert und als Wärmestrahlung wieder abgestrahlt.

Tabelle erstellen

Herunterladen

	Beantwortung in Prozent	Anzahl Beantwortungen
Stimmt	85,7%	6
Stimmt nicht	14,3%	1
beantwortete Frage		7
übersprungene Frage		0

3. Wegen des Ozonloches kommen mehr Sonnenstrahlen in die Atmosphäre. Dies ist der Grund für die Klimaerwärmung.

Tabelle erstellen

Herunterladen

	Beantwortung in Prozent	Anzahl Beantwortungen
Stimmt	71,4%	5
Stimmt nicht	28,6%	2
beantwortete Frage		7

4. Beim Glastreibhaus wird die Wärmestrahlung im Glas absorbiert, in der Atmosphäre geschieht dies im Kohlendioxid. [Tabelle erstellen](#) [Herunterladen](#)

		Beantwortung in Prozent	Anzahl Beantwortungen
Stimmt		85,7%	6
Stimmt nicht		14,3%	1
		beantwortete Frage	7
		übersprungene Frage	0

5. Das Kohlendioxid hält Wärme in der Atmosphäre zurück. Je mehr davon in der Luft ist, desto wärmer wird es. [Tabelle erstellen](#) [Herunterladen](#)

		Beantwortung in Prozent	Anzahl Beantwortungen
Stimmt		100,0%	7
Stimmt nicht		0,0%	0
		beantwortete Frage	7
		übersprungene Frage	0

6. Der Grund für die globale Erwärmung (Klimaerwärmung) ist ein Loch in der Atmosphäre, durch das die Sonnenstrahlen (UV-Strahlung) hereinkommen. [Tabelle erstellen](#) [Herunterladen](#)

		Beantwortung in Prozent	Anzahl Beantwortungen
Stimmt		71,4%	5
Stimmt nicht		28,6%	2
		beantwortete Frage	7
		übersprungene Frage	0

7. Kennst Du Jack Johnson? Wenn ja, was könnte dieser mit unserem Thema zu tun haben?

[Herunterladen](#)

	Anzahl Beantwortungen
Beantwortungen ausblenden	7

1. Umweltschützer	Tue, Oct 19, 2010 5:00 PM	Suchen ...
2. Kenne ich nicht!	Fri, Oct 8, 2010 11:36 AM	Suchen ...
3. Er ist Sänger und Surfer. Setzt sich vielleicht, wie andere Stars für die Umwelt ein und wirkt als Umweltaktivist besonders im Bereich Klimawandel.	Thu, Oct 7, 2010 1:59 PM	Suchen ...
4. Hab seinen Namen schon mal gehört, kann aber ihn jetzt aber nicht im Thema einordnen.	Wed, Oct 6, 2010 3:42 PM	Suchen ...
5. ja, hat sich für die Umwelt eingesetzt und Songs dazu verfasst und gespendet	Wed, Oct 6, 2010 10:33 AM	Suchen ...
6. setzt sich für die Umwelt ein, hat dafür auch gesungen und Geld/Erlös gespendet	Wed, Oct 6, 2010 10:33 AM	Suchen ...
7. Nein	Wed, Oct 6, 2010 10:32 AM	Suchen ...

beantwortete Frage	7
übersprungene Frage	0

8. Wie groß ist Dein Interesse an Umweltthemen wie Klimawandel, Treibhauseffekt, etc. ?

[Tabelle erstellen](#) [Herunterladen](#)

	Interesse	Anzahl Beantwortungen
sehr hoch	100,0% (2)	2
hoch	100,0% (4)	4
weniger hoch	100,0% (1)	1
gering	0,0% (0)	0

2. Umfrage LK12 Chemie



<http://www.surveymonkey.com/s/KFVY7DR>

Die Unterrichtsreihe zur Atmosphärenchemie ist nun vorbei. Bitte nutze die Chance und beantworte ein paar Fragen zu den vergangenen Stunden anonym.

Deine Antworten geben mir als Lehrer ein wichtiges Feedback, auch zur Optimierung von Unterrichtseinheiten wie dieser.

Viele Grüße & Danke für die gute Zusammenarbeit, C. Wittlich

Beantwortungsübersicht

Gestartete Umfragen gesamt: 7
Abgeschlossene Umfragen gesamt: 7 (100%)

SEITE: UMFRAGE IM CHEMIE LEISTUNGSKURS 12

1. Wegen des Ozonloches kommen mehr Sonnenstrahlen in die Atmosphäre. Dies ist der Grund für die Klimaerwärmung.

Tabelle erstellen

Herunterladen

	Beantwortung in Prozent	Anzahl Beantwortungen
Stimmt	14,3%	1
Stimmt nicht	85,7%	6
beantwortete Frage		7
übersprungene Frage		0

2. Erwiesene Zusammenhänge zwischen dem Ozonloch und dem Treibhauseffekt sind a) die Abnahme der Stratosphärentemperatur und die damit verstärkte Bildung von Perlmutterwolken, die den Ozonabbau (Vergrößerung des Ozonlochs) begünstigen sowie b) eine geringere CO₂-Aufnahme durch das von den energiereichen UV-B und UV-C Strahlen geschädigte Phytoplankton.

Tabelle erstellen

Herunterladen

	Beantwortung in Prozent	Anzahl Beantwortungen
zu 2a) Stimmt	71,4%	5
Stimmt nicht	14,3%	1
zu 2b) Stimmt	100,0%	7
Stimmt nicht	0,0%	0
beantwortete Frage		7

3. Wie haben Dir die folgenden Punkte gefallen:

[Tabelle erstellen](#) [Herunterladen](#)

	Sehr gut	Gut	Befriedigend	Ausreichend	Mangelhaft	Ungenügend	Anzahl Beantwortungen
Unterrichtsreihe zur Atmosphärenchemie (allgemein)	71,4% (5)	28,6% (2)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)	7
Der Einstieg und Ausstieg über Jack Johnson	57,1% (4)	28,6% (2)	14,3% (1)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)	7
Wissenschaftlichkeit des Materials (Aktualität, seriöse Quellen, etc.)	71,4% (5)	28,6% (2)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)	7
Umfang des Materials (zu viel Material/ zu wenig Material)	0,0% (0)	57,1% (4)	42,9% (3)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)	7
Anspruch des Materials (Schwierigkeitsniveau)	42,9% (3)	57,1% (4)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)	7
Umgang mit kritischen Äußerungen zum Klimawandel	71,4% (5)	28,6% (2)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)	7
					Sonstiges (bitte angeben)	Beantwortungen anzeigen	5
beantwortete Frage							7

4. Bitte bewerte auch die Stationenarbeit! Achte dabei vor allem auch bei den Stationen die Du nicht selber bearbeitet hast darauf, ob Dir der Sinn und Zweck der Stationen klar geworden ist.

[Tabelle erstellen](#) [Herunterladen](#)

	Sehr gut	Gut	Befriedigend	Ausreichend	Mangelhaft	Ungenügend	Anzahl Beantwortungen
Station 1 - Meeresspiegelanstieg	42,9% (3)	28,6% (2)	28,6% (2)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)	7
Station 2 - Reflexionsvermögen verschiedener Oberflächen (Albedo)	42,9% (3)	57,1% (4)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)	7
Station 3 - Löslichkeit von CO2 in Wasser (wurde nachgeholt)	28,6% (2)	71,4% (5)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)	7
Station 4 - Natürlicher Treibhauseffekt CO2 und Wasser (Modell/ Animation)	85,7% (6)	14,3% (1)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)	7
Station 5 - Natürlicher Treibhauseffekt am Beispiel von Wasserdampf	85,7% (6)	14,3% (1)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)	7
					Sonstiges (bitte angeben)	Beantwortungen ausblenden	3

1. Stationen waren sehr anschaulich und gut zu verstehen

Fri, Nov 26, 2010 8:55 PM

[Suchen ...](#)

2. - die Stationenarbeit war meines Erachtens sehr gut; - der Klima Wandel wurde nicht nur auf einer theoretischen Ebene behandelt, sondern auch auf der praktischen und dadurch von einer anderen Seite beleuchtet; - zu wenig Zeit (Ich hätte mich gerne mit mehreren Stationen genauer auseinandergesetzt, wie mit Station 3 in dem ganzen Kurs); - Station 3 (Das Verbindungsstück(HILFE^{^^})); -Station 2 zuerst falsche Messergebnisse:(

Mon, Nov 22, 2010 5:58 PM

[Suchen ...](#)

3. Wir haben die ausgefüllten Stationen der anderen nicht bekommen

Mon, Nov 22, 2010 4:13 PM

[Suchen ...](#)

5. Bitte bewerte auch den Aufenthalt am MPI für Atmosphärenchemie.

Tabelle erstellen

Herunterladen

	Sehr gut	Gut	Befriedigend	Ausreichend	Mangelhaft	Ungenügend	Anzahl Beantwortungen
Vortrag CARIBIC-Container	57,1% (4)	42,9% (3)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)	7
Einführungsvortrag Dr. Uherek	42,9% (3)	57,1% (4)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)	7
Gaschromatographieversuche (vor Mittagspause)	14,3% (1)	57,1% (4)	14,3% (1)	14,3% (1)	0,0% (0)	0,0% (0)	7
Methan-Messungen und Vergleich der Eisbohrkernprobe mit anderen Proben	42,9% (3)	42,9% (3)	14,3% (1)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)	7
Ozonversuch	71,4% (5)	28,6% (2)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)	7
Abschlussgespräch mit Prof. Dr. Paul Crutzen	42,9% (3)	57,1% (4)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)	0,0% (0)	7

6. Jack Johnson und Millionen anderer Personen geben jedes Jahr am Earth Day

Herunterladen

einen guten Vorsatz für die Umwelt ab (siehe <http://www.youtube.com/watch?v=3XS6KYsl96w>). Was wirst Du in Deinem Alltag optimieren?

	Anzahl Beantwortungen
Beantwortungen ausblenden	7

1. Ich versuche mehr denn je darauf zu achten, so viel Energie wie möglich einzusparen, kurze Wege zu Fuß zurückzulegen & die Augen offen zu halten. Fri, Nov 26, 2010 8:55 PM [Suchen ...](#)
2. Ich fahre immer Fahrrad und werde demnächst kein Plastikbesteck mehr benutzen. Außerdem gehe ich sparsam mit Papier um. Tue, Nov 23, 2010 6:12 PM [Suchen ...](#)
3. mit offeneren Augen durch die Welt gehen und so gut wie möglich versuchen die Umwelt zu schonen und auch andere darauf aufmerksam machen Tue, Nov 23, 2010 11:19 AM [Suchen ...](#)
4. Kein Rindfleisch essen!
Nicht unnötig mit dem auto durch die Gegend fahren Mon, Nov 22, 2010 9:21 PM [Suchen ...](#)
5. Man versucht sein leben ökologischer zu gestalten. Durch die Unterrichtsreihe wurde wieder verdeutlicht, dass es wichtig ist auf die Umwelt zu achten. Es wird klar, dass es wichtig auf das Detail zu achten. Zum Beispiel durch Reduzierung des Verbrauchs an fossilen Rohstoffen, die den Klimawandel fördern. Ein Mensch bringt die Welt zum schwanken. Mon, Nov 22, 2010 5:58 PM [Suchen ...](#)
6. Auch wenn ich jetzt 18 werde, werd ich das meiste weiterhin mit dem Fahrrad abfahren, außerdem saisonale Früchte etc. essen (tu ich jetzt schon, schmeckt doch viel besser!), versuchen, andere Menschen über Irrtümer (was die Atmosphärenchemie betrifft) aufzuklären Mon, Nov 22, 2010 5:30 PM [Suchen ...](#)
7. auf meinen Papierverbrauch achten, mir dreimal überlegen ob ich wirklich das Auto nehme, oder vlt doch eher das Fahrrad, Obst und Gemüse aus dem eigenen Land essen Mon, Nov 22, 2010 4:13 PM [Suchen ...](#)

beantwortete Frage

7

7. An dieser Stelle kannst Du konstruktive Kritik geben oder Dich zu diversen Punkten innerhalb der Unterrichtsreihe genauer äußern. Was hat Dir besonders gut gefallen? Was eher weniger? Was kann man an dieser Reihe verbessern?

[Herunterladen](#)

	Anzahl Beantwortungen
Beantwortungen ausblenden	7

- | | | |
|---|----------------------------|----------------------------|
| 1. Die Unterrichtsreihe hat mir sehr gut gefallen, allerdings waren es an manchen Tagen zu viele Informationen auf einmal. Auch die Menge der Hausaufgaben war zu hoch (auch, wenn wir ein LK sind!). Außerdem fand ich es nicht so toll, dass vieles über eMail gelaufen ist - es hat nicht immer funktioniert. | Fri, Nov 26, 2010 8:55 PM | Suchen ... |
| 2. Mit dieser Reihe hatte man die Möglichkeit den Klimawandel/ Treibhauseffekt von der wissenschaftlichen Seite zu betrachten. Das fand ich gut. | Tue, Nov 23, 2010 6:12 PM | Suchen ... |
| 3. ich fand die Reihe sehr sehr gut und lehrreich, jedoch war es zeitweise etwas chaotisch und der E-Mail umpfang etwas zu groß, aber ansonsten wirklich sehr gut :) | Tue, Nov 23, 2010 11:19 AM | Suchen ... |
| 4. War leider nur eine kurze Zeitspanne und dafür relativ viel Info... Aber trotzdem sehr gut und interessant. | Mon, Nov 22, 2010 9:21 PM | Suchen ... |
| 5. Die Unterrichtsreihe war sehr gut konstruiert und strukturiert, jedoch war die Zeit definitiv zu kurz, um sich mit dem Thema intensiver beschäftigen zu können. Ich hatte mich gerade in das Thema eingefunden, als die Reihe endete.
Jedoch setzte man sich durch die Referate und Stationenarbeiten nicht nur genau im Unterricht mit der Materie auseinander, sondern auch außerhalb des Unterrichts, sodass man sich zusätzlich einen Einblick verschaffte. Ich denke, die Problematik lag maßgebend in der Zeit, dass man vieles zwar genauer besprechen wollte, aber keine Zeit hatte (Hausaufgabe zu Station 3 geschickt, aber kein Feedback).
An sich fand ich die Unterrichtsreihe gelungen und aufschlussreich. Sie haben sehr viel Arbeit hineingesteckt. Wir haben nicht nur mit Stationenarbeit uns Wissen zu dem aktuellen Thema angeeignet, sondern konnten auch Meinungen und Ansichten zur Erderwärmung vom MPI und von Ihnen vermittelt bekommen, sodass viele Irrtümer aus der Welt geschafft wurden. Sie haben uns den Klimawandel auf eine andere Art und Weise (nicht trocken) nahe gebracht, sodass man sich der Krise wirklich bewusst wird. | Mon, Nov 22, 2010 5:58 PM | Suchen ... |
| 6. Ich fand, es waren ein wenig zu viel Arbeitsblätter (die wir zum Teil ja auch garnicht mehr im Unterricht besprochen haben), auf der anderen Seite wars dadurch ziemlich anschaulich (und auch verständlich) . Den Ausflug ins MPI fand ich super (würde ich auch wieder mitgehen), und den Ein- und Ausstieg mit Jack Johnson auch (siehe oben :-) | Mon, Nov 22, 2010 5:30 PM | Suchen ... |
| 7. Gut gefallen hat mir der Ausflug nach Mainz. Das hat auf jeden Fall etwas gebracht. Auf die Stationenarbeit hätte man später noch etwas ausführlicher eingehen können, aber wie hatten dafür dann leider zu wenig Zeit. Außerdem finde ich, dass die Unterrichtsreihe hätte länger sein müssen. | Mon, Nov 22, 2010 4:13 PM | Suchen ... |