



Schulungsunterlagen Klima

Inhalt

Themen	Seite
▶ Vorwort	3
▶ Erdatmosphäre	4-5
▶ Treibhauseffekt	6-12
▶ Ozonloch	13-16
▶ Sommersmog	17-19
▶ Aerosole	20-21
▶ Spraydosen	22-24
▶ Lehrerinformation zum Unterrichtsgespräch	25-26
▶ Impressum	27

Vorwort



Seit Beginn der neunziger Jahre zählt die globale Klimavorsorge zu den zentralen umweltpolitischen Schwerpunkten der Bundesregierung. Insgesamt haben die verschiedenen Aktivitäten in Deutschland dazu geführt, daß die CO₂-Emissionen zwischen 1990 und 1998 um 13,1 % abnahmen. Hierzu haben insbesondere die Industrie (minus 27 %) und die Energiewirtschaft (minus 17 %) beigetragen. Zusätzliche CO₂-Emissionen sind in den Bereichen private Haushalte (plus 8 %) und Verkehr (plus 9 %) zu verzeichnen. Weitere Anstrengungen, vor allem in den privaten Haushalten, im Kleinverbrauch und im Straßenverkehr, sind also noch erforderlich. Daraus ergeben sich auch Chancen für zahlreiche heimische Wirtschaftszweige auf dem deutschen Markt und auf den Weltmärkten. Deutsches Know-how in der Energietechnik kann Arbeitsplätze sichern und zum wirtschaftlichen Wachstum beitragen.

Deutschland hat auch beim Ausstieg aus den ozonschichtschädigenden Stoffen durchaus Schritt gehalten. Während 1986 noch jeder Deutsche statistisch mehr als 900 g FCKW im Jahr verbrauchte, waren es 1993 nur noch etwa 100 g pro Kopf. Dieser Durchschnittswert ist bis 1999 nochmals auf weniger als 20 g zurückgeführt worden. Der deutsche FCKW-Verbrauch lag damit bereits 1993 weit unterhalb der Grenze von 300 g pro Kopf und Jahr, die das Montrealer Protokoll vom November 1987 zum Beispiel den Entwicklungsländern zugesteht.

Ein nachhaltig wirksamer Klimaschutz wird jedoch nur dann gelingen, wenn alle Verantwortlichen in Politik, Wissenschaft, Wirtschaft und den gesellschaftlich relevanten Gruppen auch weiterhin ihren Beitrag leisten. Die vorliegende Schulungsunterlage Klima der Industriegemeinschaft Aerosole e.V. ist ein lobenswertes Beispiel für dieses Engagement.

Jürgen Trittin

Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

► Erdatmosphäre

► Die Atmosphäre ist die Lufthülle unserer Erde und ein wichtiger Teil des Lebensraums für uns Menschen sowie für Tiere und Pflanzen.

Sie erlaubt uns zu atmen, sie schützt uns vor der energiereichen Sonnenstrahlung, und sie sorgt für eine angenehme Temperatur. Seit einigen Jahren wissen wir, daß diese Funktionen der Atmosphäre beeinträchtigt werden. *Treibhauseffekt, Ozonloch und Sommersmog* sind seit dieser Zeit in aller Munde. Um diese Phänomene genauer zu verstehen, muß man zunächst den Aufbau und die Zusammensetzung der Atmosphäre betrachten.

Wie ist die Erdatmosphäre aufgebaut und woraus besteht sie?

► Die Folie 1 (*Schichtung und Temperaturverlauf*) gibt einen Überblick über die verschiedenen Schichten der Atmosphäre. Die unterste Schicht ist die Troposphäre. In ihr vollziehen sich das Wettergeschehen und die Klimaprozesse, und sie ist der Raum für den üblichen Flugverkehr. Sie beginnt an der Erdoberfläche und ist durchschnittlich 10 km hoch. Es folgt die Stratosphäre bis zu einer Höhe von etwa 50 km. Die dritte Schicht ist die Mesosphäre, bis etwa 90 km Höhe. Darüber liegt die Thermosphäre. Im Vergleich zum Erddurchmesser ist die Lufthülle der Erde insgesamt nur sehr schmal.

Die Einteilung in die verschiedenen Schichten ist nicht willkürlich, sondern sie orientiert sich an der Temperatur. Immer wenn sich der Temperaturverlauf ändert, beginnt eine neue Sphäre. Die Übergangsbereiche zwischen den Sphären werden Pausen genannt. So trennt z.B. die Tropopause die Troposphäre und die Stratosphäre.

Der Luftdruck in der Atmosphäre nimmt von unten nach oben ständig ab. In 16 km Höhe beträgt er nur noch 1/10 des Drucks in Bodennähe, in 30 km Höhe 1/100 und in 45 km Höhe nur noch 1/1000.

► Erdatmosphäre

► Die **Atmosphäre besteht im wesentlichen aus Stickstoff N_2 (78 %) und Sauerstoff O_2 (21 %)**. Der Rest ist eine Mischung aus Wasserdampf (H_2O), dem Edelgas Argon (Ar), Kohlenstoffdioxid (CO_2), Ozon (O_3), Lachgas (N_2O), Methan (CH_4) und einer Vielzahl weiterer Gase. Gemeinsam werden diese als Spurengase bezeichnet. Während die Verteilung von Stickstoff und Sauerstoff bis in eine Höhe von 100 km in etwa konstant ist, sind die Anteile der anderen Gase sehr stark von der Höhe abhängig. Das Ozon befindet sich im wesentlichen als eine breite Schicht in der unteren Stratosphäre. In der Troposphäre und in Bodennähe ist nicht so viel Ozon vorhanden.

► Treibhauseffekt

► Der Treibhauseffekt ist eine Erscheinung, die zur Erwärmung der Troposphäre und der Erdoberfläche beiträgt. **Er ist für das Leben auf der Erde notwendig.**

Die Bezeichnung Treibhauseffekt deutet an, daß die Strahlungsverhältnisse in der Troposphäre mit denen in einem Treibhaus vergleichbar sind. Die Strahlung der Sonne, die in ein Treibhaus eintritt, wird zunächst vom Boden und den Wänden aufgenommen und dann in anderer Form, nämlich als Wärmestrahlung, wieder abgegeben. Im Gegensatz zur Lichtstrahlung der Sonne wird diese Wärmestrahlung von den Glasflächen aber nicht wieder durchgelassen, sondern von ihnen zurückgesandt. Diese Strahlung kann deshalb nicht aus dem Treibhaus entweichen, und das Innere des Treibhauses wird erwärmt.

Was hat das nun mit der Aufheizung der Troposphäre zu tun?

► Folie 2 erläutert den *Verlauf von Sonnen- und Wärmestrahlung in der Atmosphäre*. Wie in einem Treibhaus wird **auch in der Troposphäre die Lichtstrahlung der Sonne vom Erdboden aufgenommen und als Wärmestrahlung zurückgesandt**. Ein Teil der Lichtstrahlung wird allerdings durch Wolken und helle Oberflächen (z.B. Schnee, Sand) direkt zurückgespiegelt. Die Rolle der Glasflächen wird in der Troposphäre von bestimmten Gasen übernommen, die man Treibhausgase nennt. Im Gegensatz zur Glasfläche beim Treibhaus nehmen diese Gase aber keinen eng begrenzten Raum ein, sondern sie sind in der Lufthülle verteilt. Die Moleküle der Treibhausgase nehmen die Wärmestrahlung auf und senden sie z.T. zum Erdboden zurück. Dadurch werden die unteren Luftschichten und die Erdoberfläche selbst erwärmt.

► Treibhauseffekt

► **Das wichtigste unter den Treibhausgasen ist der Wasserdampf**, der durch Verdunstung in die Troposphäre gelangt. Danach folgen Kohlenstoffdioxid, Ozon, Lachgas und Methan. (Folie 3: *Beiträge verschiedener Spurengase zum natürlichen und anthropogenen Treibhauseffekt*). Alle diese Gase sind von Natur aus in der Erdatmosphäre vorhanden. Die Erwärmung der Troposphäre durch diese natürlichen Treibhausgase führt dazu, daß auf der Erde, gemittelt über alle Jahreszeiten und Regionen, eine durchschnittliche Temperatur von +15 °C herrscht. Ohne diese Gase wäre die mittlere Temperatur auf der Erde 33 °C niedriger, sie würde also -18 °C betragen. Bei einer solchen Temperatur würde das Leben auf der Erde in der uns bekannten Form nicht existieren, denn die gesamte Erdoberfläche wäre von Eis bedeckt.

► Die mittlere Temperatur von 15 °C hängt von der Art und Konzentration der Treibhausgase ab. Ein Anstieg dieser Konzentrationen - oder gar neue Treibhausgase - führen deshalb zu einer weiteren Erwärmung der bodennahen Luftschichten. Die Beobachtungen zeigen, daß die Temperatur innerhalb der letzten 100 Jahre bereits um 0,6 °C angestiegen ist. Dies ist zurückzuführen auf die Zunahme der Konzentrationen von Kohlenstoffdioxid, Ozon, Lachgas und Methan. Als neue Treibhausgase sind die FCKW hinzugekommen. Die zusätzliche Erwärmung nennen wir anthropogenen Treibhauseffekt. Im Gegensatz zum natürlichen Treibhauseffekt ist dieser Anteil vom Menschen erzeugt. Folie 3 zeigt die Anteile der verschiedenen Treibhausgase am natürlichen und anthropogenen Treibhauseffekt.

► Während Treibhausgase immer zu einer Erwärmung der bodennahen Luftschichten führen, bewirken Wolken und Aerosole eine Abkühlung, da sie das Sonnenlicht zurückstreuen und dadurch verhindern, daß es den Boden erreicht. Wolken und Aerosole sind flüssige bzw. feste Schwebstoffe in der Luft (siehe Aerosole). Während Wolken ausschließlich aufgrund des natürlichen Gehalts der Atmosphäre an Wasserdampf beim Abkühlen der Luft gebildet werden, haben Aerosole sowohl natürliche als auch anthropogene Quellen.

► Treibhauseffekt

Warum und wo werden die zusätzlichen Treibhausgase emittiert?

► Die Erdbevölkerung wächst ständig, ist industriell tätig, benötigt Nahrungsmittel, bevorzugt behagliches Wohnen, ist mobil und genießt die Annehmlichkeiten von Konsumgütern. Dies alles ist nicht zu erhalten ohne Zugriff auf die natürlichen Ressourcen und auch nicht ohne die Emission von Treibhausgasen. Durch die Nutzung fossiler Brennstoffe zur Erzeugung von Strom, Wärme und zum Antrieb unserer Autos wird Kohlenstoffdioxid emittiert. **Im Jahr 1994 z. B. betrug die Gesamtmenge an freigesetztem Kohlenstoffdioxid (CO₂) weltweit 26 Milliarden Tonnen und in Deutschland 900 Millionen Tonnen, d.h. auf jeden von uns, vom Baby bis zum Greis, entfällt die überraschend hohe Menge von 11 Tonnen CO₂.** Das ist das Gewicht eines mittelgroßen Lastkraftwagens.

In welchen Bereichen diese Menge erzeugt wird, ist auf Folie 4 (*Kohlenstoffdioxid-Emissionen in Deutschland*) gezeigt. Der größte Anteil (40 %) entfällt auf die Kraftwerke, in denen aus Kohle, Gas oder Öl Strom erzeugt wird. Die drei Bereiche Kleinverbraucher und Haushalte, Verkehr sowie Industrie sind mit jeweils 20 % für den gleichen Anteil verantwortlich.

► **Die Erzeugung von Nahrungsmitteln** (Viehhaltung, Düngung von landwirtschaftlich genutzten Böden) setzt Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) frei. Die Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) sind dagegen industriell produzierte Stoffe, die in Kühlschränken, zur Herstellung von Polymerschäumen, als Lösemittel und als Treibgase für die Erzeugung von Aerosoldosen verwendet wurden. Ihre Produktion ist seit 1994 sowohl in der Bundesrepublik als auch weltweit in allen anderen Industrieländern verboten. Die einmal emittierten FCKW sind aber immer noch in der Atmosphäre vorhanden.

► Treibhauseffekt

► Folie 5 (*Merkmale verschiedener Treibhausgase*) zeigt die **heutigen Konzentrationen** von CO_2 , CH_4 , N_2O und FCKW, angegeben in ppm (parts per million, entsprechend einem Teil in 1 Million Teilen). Weitaus am häufigsten ist Kohlenstoffdioxid. Sein Anteil an der Zusammensetzung der Atmosphäre beträgt 360 ppm, entsprechend 0,036%. Mit großem Abstand folgen Methan, Lachgas und schließlich die FCKW. Alle diese Gase sind ziemlich gleichförmig über den Globus in der Atmosphäre verteilt. Ihre Konzentrationen sind das Ergebnis der Emissionen aller Menschen auf der Erde. Beim Kohlenstoffdioxid allerdings wird die Hauptmenge in den westlichen Industrieländern emittiert, wo die Pro-Kopf-Menge bis zu zehnmal größer ist als in den Entwicklungsländern. Allein auf die Bevölkerung der Bundesrepublik entfallen 3,5 % der global emittierten Gesamtmenge.

► **Jedes Treibhausgas in der Atmosphäre hat eine unterschiedlich hohe Treibhauswirkung.** Diese Treibhauswirkung - auch Treibhauspotential genannt - wird in der Regel als GWP-Wert (Global Warming Potential) angegeben, wobei Kohlenstoffdioxid als Bezugssubstanz festgelegt ist und den Wert 1 erhalten hat. Die Folie 5 zeigt neben den Konzentrationen die entsprechenden GWP-Werte. Betrachtet man z.B. gleich viele Moleküle Fluorchlorkohlenwasserstoffe und Kohlenstoffdioxid, so ist die Auswirkung der Fluorchlorkohlenwasserstoffe 19.300 mal so groß wie die des Kohlenstoffdioxids. Das bedeutet, daß auch kleine Konzentrationen an FCKW eine große Wirkung entfalten.

Wie stark ändert sich unser Klima?

► **Das Klima der Erde hat sich im Laufe der Erdgeschichte mehrfach verändert.** Es ist jetzt z.B. wesentlich anders als vor zehntausend Jahren, als Nordeuropa von großen Eisflächen überzogen war. Das Klima wird sich auch in Zukunft ändern. Eine solche Entwicklung wird zum Teil bewirkt durch natürliche Ursachen, wie z.B. die Veränderung der Erdumlaufbahn um die Sonne oder auch Veränderungen in den Richtungen und Stärken der Meeresströmungen in den Ozeanen. Im Gegensatz zur Vergangenheit wird das Klima der Zukunft aber auch durch den Menschen beeinflusst. Dazu gehören insbesondere die Emissionen der klimawirksamen Spurengase.

► Treibhauseffekt

► **Seit Beginn der Industrialisierung** haben die Konzentrationen der Treibhausgase zugenommen. Die Abbildung 1 auf Folie 6 (*Entwicklung der Treibhausgaskonzentrationen und der Temperatur 1860-2040*) stellt den prozentualen Zuwachs der Konzentrationen von Kohlenstoffdioxid, Methan, Lachgas und FCKW seit 1860 dar. Der jeweilige Konzentrationswert im Jahr 1998 ist gleich 100 % gesetzt worden. Während sich diejenigen Spurengase, die auch vor Beginn der Industrialisierung bereits natürlich vorhanden waren (CO_2 , CH_4 und N_2O), durch den Eingriff des Menschen bis heute um 20 % (CO_2), 50 % (CH_4) bzw. 7 % (N_2O) erhöht haben, sind die ausschließlich anthropogen bedingten FCKW erst nach 1950 merklich aufgetreten.

Aufgrund der Wirkung des Montrealer Protokolls, einer im Jahre 1987 beschlossenen internationalen Vereinbarung zur Begrenzung der Produktion und Emission ozonschädigender Substanzen, ist die Konzentration der FCKW, im Gegensatz zu der anderer Spurengase, seit einigen Jahren rückläufig. Sie wird sich innerhalb der nächsten Jahrzehnte weiter verringern. Zunehmen dagegen werden die Konzentrationen der anderen klimawirksamen Spurengase, denn diese sind mit dem zukünftigen Energieverbrauch bzw. der landwirtschaftlichen Produktivität und der Landnutzung verknüpft. Die wahrscheinlichen Prognosen für die Entwicklung der Konzentrationen der Treibhausgase bis zum Jahr 2040 sind ebenfalls in Abbildung 1 auf Folie 6 wiedergegeben.

► Abbildung 2 auf Folie 6 zeigt die **Veränderung der globalen Mitteltemperatur**. Diese ist seit 1860 um $0,6\text{ }^\circ\text{C}$ angestiegen. Den Zusammenhängen zwischen den Konzentrationen der Spurengase und der Temperatur wird in Klimamodellen nachgegangen. In diesen Modellen wird nicht nur die Atmosphäre betrachtet, sondern es werden auch die anderen Kohlenstoffdioxidspeicher wie die Ozeane und die Biomasse auf den Kontinenten berücksichtigt. Die Ergebnisse solcher Modellrechnungen für die zukünftige Entwicklung der Temperatur sind ebenfalls in Abbildung 2 auf Folie 6 gezeigt. Die beiden aus Modellrechnungen erhaltenen Kurven unterscheiden sich durch die Berücksichtigung der Aerosole. Während ohne Einbeziehung der Aerosole bis zum Jahre 2040 ein Anstieg der globalen Mitteltemperatur um weitere $1,7\text{ }^\circ\text{C}$ erwartet wird,

► Treibhauseffekt

reduziert sich dieser Wert unter Berücksichtigung der Aerosole auf 1,0 °C. In jedem Falle ist aber mit einer deutlichen weiteren Zunahme der Temperatur zu rechnen.

Warum ist eine Temperaturzunahme von 1 °C bis 2 °C besorgniserregend?

► Die erste Besorgnis ist die **mögliche Veränderung der Verteilung von Wasser und Eis auf der Erde**. Eine Klimaerwärmung führt zu einer Ausdehnung der Ozeane und zum Schmelzen von Gletschern auf den Kontinenten. Dadurch könnte sich der Meeresspiegel bis zu 0,5 m erhöhen, und flache Küstenregionen (z.B. Niederlande, Bangladesch) wären einer möglichen Überflutung ausgesetzt. Flache Inseln (z.B. die Malediven) könnten gar ganz verschwinden. Ebenso wird sich die Verteilung und Intensität der Niederschläge verändern. Dies kann eine weitere Versteppung und Ausweitung der Wüstengebiete nach sich ziehen; andere Regionen werden mit zuviel Niederschlägen zu rechnen haben. Befürchtet wird auch eine Zunahme der Häufigkeit und Heftigkeit von Stürmen, gerade auch im Nordatlantik und in Europa.

► Die zweite Besorgnis ist die **mögliche Verschiebung der Vegetationszonen**, so daß Land- und Waldwirtschaft in den heute intensiv genutzten Regionen womöglich weniger ertragreich sein werden. Eine Klimaerwärmung hat deshalb auch bedeutende Auswirkungen auf die Ernährung der Weltbevölkerung.

Während die reichen Länder sich vermutlich vor den Folgen einer Klimaänderung schützen können, gilt dies kaum für die ärmeren Länder. Die wirklichen „Verlierer“ einer Klimaänderung sind sicherlich die schon jetzt benachteiligten Menschen in den Entwicklungs- und Schwellenländern.

► Treibhauseffekt

Die zu befürchtenden Folgen machen es dringend erforderlich, über die Senkung der Emissionen von Treibhausgasen nachzudenken. Die Emissionen der FCKW sind bereits gestoppt. Auf die Entwicklung von CH_4 und N_2O kann nur wenig Einfluß genommen werden, da diese mit der Bereitstellung von Nahrungsmitteln verknüpft ist. Beträchtliche Möglichkeiten der Reduzierung bestehen allerdings beim CO_2 in den Industrieländern. Es wurde oben bereits beschrieben, daß der deutsche Bürger im Mittel 11 Tonnen CO_2 pro Jahr „produziert“; in den armen Ländern ist dies etwa eine Tonne pro Einwohner, d.h. nur etwa ein Zehntel.

Wie kann die Kohlenstoffdioxid-Emission bei uns gesenkt werden?

► Auf Folie 4 wurde bereits gezeigt, daß die **Hauptemissionen von Kohlenstoffdioxid in Deutschland in den Kraftwerken und Fernheizwerken auftreten**, in denen Kohle, Öl und Gas zur „Erzeugung“ von Strom und Heißdampf verbrannt werden. Strom treibt unsere Eisenbahnen und die Maschinen in den Fabriken an, beleuchtet Straßen, Räume und Werbeschriften, betreibt Waschmaschinen, Kühlschränke, Fernseher, Radios, Computer und vieles mehr. Kohlenstoffdioxid entsteht auch beim Heizen unserer Häuser und beim Betrieb unserer Autos.

Wenn wir also die Kohlenstoffdioxid-Emissionen verringern wollen, so müssen wir sparsamer mit Energie und Mobilität umgehen bzw. nach CO_2 -freien Alternativen suchen. Technische Neuerungen, z.B. die Entwicklung des 3-Liter-Autos und die Nutzung alternativer Energien wie Wind- und Sonnenenergie tragen zur Reduzierung der Kohlenstoffdioxid-Emissionen bei. Dasselbe gilt für die Nutzung von Biomasse, bei der die freigesetzte CO_2 -Menge der Atmosphäre zuvor durch Photosynthese der Pflanzen entzogen wurde.

Eine weitere Möglichkeit, die wir alle haben, ist, unser Verhalten zu ändern, z.B. auf die Beleuchtung unbenutzter Wohnräume zu verzichten, die Raumtemperatur abzusenken oder häufiger mit dem Fahrrad zu fahren und das Auto stehen zu lassen.

► Ozonloch

► Ozon ist das vielleicht **bedeutendste Spurengas der Erdatmosphäre**. Es hat zwei Funktionen: es ist ein Filter für die energiereiche UV-Strahlung der Sonne, und es trägt zum Treibhauseffekt bei. Veränderungen der Mengen des Ozons haben deshalb besondere Konsequenzen für die Verhältnisse von UV- und Wärmestrahlung in Bodennähe.

Wieviel Ozon ist über unseren Köpfen?

► Die **Hauptmenge des Ozons (90 %) befindet sich in der unteren Stratosphäre**. Über einem bestimmten Ort allerdings ist die Menge im Verlauf des Jahres nicht gleich. Folie 7 (*Jahresgänge der Ozonmenge über Deutschland*) zeigt die Ergebnisse von langjährigen Meßreihen am Observatorium Hohenpeißenberg (Bayern) des Deutschen Wetterdienstes (DWD). Danach ist die Ozonmenge jeweils im Frühjahr am höchsten und im Herbst am geringsten. Eine solche Veränderung ist typisch für mittlere geographische Breiten der Nordhalbkugel. Sie hat nichts mit der Einwirkung von Schadstoffen zu tun, sondern hängt allein mit der Bewegung von Luftmassen in der Stratosphäre zusammen, die das Ozon besonders im Frühjahr von der Äquatorregion in Richtung auf die Pole transportiert. Auf der Südhalbkugel ist dieses Verteilungsmuster um sechs Monate verschoben.

► Die Gesamtmenge des Ozons wird üblicherweise in **Dobson-Einheiten** (Dobson-Units, DU) angegeben, genannt nach dem englischen Wissenschaftler G. M. B. Dobson, der eine auch heute noch gebräuchliche Meßmethode für das Gesamttozon vom Boden aus entwickelte. 300 Dobson-Einheiten z.B. entsprechen einer Schichtdicke von 3 mm, wenn die gesamte Ozonmenge auf den Druck zusammengedrückt wird, der in Bodennähe herrscht.

► Ozonloch

Wie entsteht das Ozon in der Stratosphäre und wodurch wird es zerstört?

► Ozon (O_3) ist eine besondere Form des Sauerstoffs (O_2). Es wird in der Stratosphäre aus Sauerstoff durch die Einwirkung von energiereichem Sonnenlicht gebildet (Folie 8: *Bildung und Zerstörung des Ozons in der Stratosphäre*). Die Menge an Ozon würde ständig anwachsen, wenn es nicht gleichzeitig Prozesse gäbe, die es wieder zerstören. Dazu gehören der Abbau durch das Sonnenlicht und die Reaktion mit anderen Spurengasen (X). Diese Spurengase X sind sogenannte Katalysatoren, die zwar das Ozon zerstören, dabei aber nicht selbst verbraucht werden. Wenn ihre Menge ansteigt, nimmt die Ozonkonzentration ab. Zu den Katalysatoren des Ozonabbaus gehören auch die Chloratome, die aus den FCKW in der Stratosphäre freigesetzt werden. Da die Menge an FCKW zwischen 1950 und 1990 stark angewachsen ist, hat die Ozonkonzentration abgenommen.

► Die gravierendsten **Abnahmen der Ozonkonzentration** treten jedes Jahr im Winter/ Fröhjahr über den polaren Gebieten auf. Das sind auf der Nordhalbkugel die Monate Januar bis März und auf der Südhalbkugel die Monate August bis Oktober. Während dieser Zeit sind die Temperaturen in der Stratosphäre besonders niedrig, und es kommt zur Bildung von Eiswolken, an deren Oberflächen die ozonabbauenden Chloratome besonders schnell freigesetzt werden. Die Abbildung 1 auf Folie 9 (*Ozonverteilung über den Polarregionen im Fröhjahr*) zeigt das Ozonloch über dem Südpol im Monat Oktober. Dieses Ozonloch umfaßt in seiner Ausdehnung den gesamten antarktischen Kontinent und hat eine Größe von etwa 25 Millionen Quadratkilometern. Dies entspricht etwa der Fläche von Nordamerika oder der 2,5fachen Fläche von Europa. Der Begriff Ozonloch bedeutet nicht, daß gar kein Ozon mehr vorhanden ist, sondern daß sich die Gesamtmenge um mindestens 30 % reduziert hat. Im gezeigten Beispiel betrug die Ozonabnahme etwa 60 %.

► Ozonloch

► Abbildung 2 auf Folie 9 zeigt auch die **Verteilung der Ozonkonzentration im März in der Nordpolarregion**. Hier ist ein Ozonloch von einem ähnlichen Ausmaß wie über dem Südpol bislang noch nicht beobachtet worden. Allerdings gibt es auch hier in den Monaten Januar bis März regelmäßig starke Ozonverluste, die in den letzten Jahren bis zu 30 % betragen haben. Die Wissenschaftler erklären den Unterschied zwischen Südhalbkugel und Nordhalbkugel damit, daß die Temperaturen in der Stratosphäre über dem Nordpol im Winter um etwa 10 °C höher liegen als über dem Südpol. Dadurch wird die Bildung von Eiswolken weniger wahrscheinlich, und der Ozonabbau prozeß ist nicht so stark.

Obwohl die FCKW-Konzentration aufgrund des Montrealer Protokolls seit Mitte der 90er Jahre rückläufig ist (Folie 6), rechnen die Wissenschaftler dennoch damit, daß das Ozonloch über dem Südpol auch weiterhin auftritt. Sein Verschwinden wird erst für die Mitte des nächsten Jahrhunderts erwartet, wenn die FCKW-Konzentrationen den Wert aus den 70er Jahren unterschreiten.

Welche Folgen hat die Ozonabnahme in der Stratosphäre?

► Die **Besorgnis über die Abnahme der Ozonkonzentration** ist eine Zunahme der UV-B-Strahlung. Dies ist der Teil der Sonnenstrahlung, der beim Menschen die Haut verbrennt, Zellkerne schädigt (Hautkrebs) und zu Augentrübung führt. Bei Pflanzen werden vermindertes Wachstum und geringere Erträge beobachtet.

Ozonloch

Die UV-Strahlung ist naturgemäß am Äquator sehr viel höher als in gemäßigten Breiten oder gar an den Polen, weil hier die Sonne am höchsten steht und am intensivsten scheint. Die Lebewesen in den verschiedenen Regionen sind normalerweise diesen Strahlungsintensitäten angepaßt. Die Hautfarbe der Dunkelhäutigen ist ein besonders deutliches Zeichen einer solchen Anpassung. Problematisch für die Hellhäutigen sind deshalb sowohl die Aufenthalte in den strahlungsintensiven Regionen als auch die Veränderung der Ozonkonzentration. Während man sich den Urlaubsort aussuchen kann, haben wir aber keinen Einfluß auf die zunehmende UV-B-Strahlung über unseren normalen Lebensräumen.

Wie können wir uns vor der UV-B-Strahlung schützen?

► Der beste Schutz ist, sich der **UV-B-Strahlung gar nicht auszusetzen**. Dazu gehört das Vermeiden von Sonnenbädern während der Mittagszeit, insbesondere in den Sommermonaten, wenn die UV-Strahlung auch in unseren Breiten am höchsten ist und sich die Ozonmenge dem Minimum im Herbst nähert (Folie 7). Wer dennoch auf den Aufenthalt im Freien nicht verzichten will, sollte entsprechende Vorsorgemaßnahmen treffen: Kleidung, die vor UV-Strahlen schützt, Sonnenhut, Sonnenbrille, Sonnencreme mit hohem Lichtschutzfaktor (abhängig vom Hauttyp). Nicht ohne Probleme ist auch der Wintersport. In großen Höhen und auf schneebedecktem Untergrund im frühen Frühjahr ist die UV-Strahlung intensiv und wird häufig durch die heutzutage gerade dann beobachteten Ozonverluste weiter verstärkt. Unter diesen Bedingungen sind starke Sonnenschutzmittel unerlässlich.

► Sommersmog

► An heißen Sommertagen wird immer häufiger vor Sommersmog gewarnt. Im selben Zusammenhang hört man auch den Begriff „Ozonalarm“. **Sommersmog hat also etwas mit Ozon zu tun.**

Ozon kommt nicht nur in der Stratosphäre, sondern auch in der bodennahen Luft vor. Während wir das Ozon in der Stratosphäre aber nur als Schutzschirm gegen die energiereiche UV-B-Strahlung der Sonne wahrnehmen, ist das Ozon in Bodennähe ein Bestandteil unserer Atemluft. Da dieses Ozon bereits in geringeren Konzentrationen bei Menschen, Tieren und Pflanzen zu gesundheitlichen Schäden führen kann, ist es hier – im Gegensatz zu der Stratosphäre – unerwünscht. Gerade in Bodennähe nimmt das Ozon aber zu.

► Durch die zunehmende Industrietätigkeit, Energieerzeugung und durch die Motorisierung hat sich das **Ozon in Bodennähe innerhalb der letzten 100 Jahre mehr als verdoppelt**. Die heutige Konzentration beträgt im Mittel, über ein Jahr und alle Regionen unseres Landes verteilt, etwa 50 Mikrogramm (ein millionstel Gramm) pro Kubikmeter Luft. Diese Menge ist allerdings im Sommer deutlich höher als im Winter, und sie ist am Tage höher als in der Nacht. Wie auf den Folien 10 (*Jahresgänge des Ozons in Bodennähe*) und 11 (*Tagesgänge des Ozons in Bodennähe*) gezeigt wird, bestehen darüber hinaus auch deutliche Unterschiede zwischen Stadtgebieten und Reinluftgebieten.

Wie wird das Ozon in Bodennähe gebildet?

► Mit den **Abgasen** aus unseren Autos, aus Heizungen, Kraftwerken und Industrieanlagen **werden Stickstoffmonoxid (NO) und Kohlenwasserstoffe (KW) freigesetzt**. In Gegenwart von Sonnenlicht werden diese Gase zu Stickstoffdioxid (NO₂) und CO₂ oxidiert. Das so entstehende NO₂ ist im Sonnenlicht aber nicht beständig. Es spaltet eines der Sauerstoffatome wieder ab, welches mit einem Sauerstoffmolekül Ozon bildet (Folie 12: *Bildung und Abbau von Ozon in Bodennähe*). Durch die Beteiligung des Sonnenlichts wird deutlich, warum die Ozonkonzentration im Sommer und während der Mittagszeit im allgemeinen am höchsten ist.

► Sommersmog

Während der Nacht, wenn kein Sonnenlicht verfügbar ist, können diese Prozesse nicht ablaufen. Da aber weiterhin NO emittiert wird und dieses NO in der Dunkelheit das Ozon zerstören kann, nimmt während der Nacht die Ozonmenge wieder ab. Dieser Effekt ist aber nur in der Stadt, wo - im Gegensatz zum Land - auch nachts viel NO aus Autos und Heizungen emittiert wird, stärker bemerkbar. Wie auf den Folien 10 und 11 gezeigt wurde, ist die Ozonkonzentration in der Reinluft in Höhenlagen sowohl im Jahresmittel als auch im Tagesmittel im Sommer mindestens doppelt so hoch wie in den Zentren der großen Städte. Dies hat damit zu tun, daß die Verursacher der Ozonbildung (KW, NO) erst langsam umgesetzt und die Luftmassen während dieser Zeit über größere Strecken (50-200 km) transportiert werden. Darüber hinaus sind die Höhenlagen auch häufiger der sog. Freien Troposphäre ausgesetzt, in der im Mittel mehr Ozon als in der bodennahen Schicht vorhanden ist.

Was ist der Sommersmog?

► Die Bildung von Ozon aus KW und NO kann bei sonnenreichen, schönen Wetterlagen besonders intensiv werden. Die Wissenschaftler haben hierfür den Begriff Sommersmog gewählt. **Smog ist ein Kunstwort, das aus den englischen Wörtern „smoke“ (Rauch) und „fog“ (Nebel) zusammengesetzt ist.** Es wurde erfunden, um daran zu erinnern, daß bei Smog auch die Luft häufig trüb und die Sichtweite stark eingeschränkt ist.

In Sommersmog-Episoden kann die Ozonkonzentration auf über 200 Mikrogramm pro Kubikmeter ansteigen. Betroffen sind hauptsächlich Städte und Ballungsgebiete, da hier am meisten NO und KW emittiert werden, und der Luftaustausch durch Winde während typischer Smog-Situationen schwach ist.

► Sommersmog

Welche Gefahren für unsere Gesundheit hat der Sommersmog?

► Wie das Ozon auf den Menschen wirkt, ist in folgender Tabelle gezeigt (Tabelle 1). Wegen dieser Wirkungen kann in den betroffenen Regionen beim Überschreiten von Grenzwerten (ab $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$) Smogalarm ausgelöst werden. Dabei können stufenweise Geschwindigkeitsbeschränkungen oder gar Fahrverbote erlassen werden. Mit solchen Maßnahmen wird beabsichtigt, die Emissionen von KW und NO abzusenken, so daß die Ozonmenge zurückgeht.

Tabelle 1: Auswirkungen des bodennahen Ozons auf den Menschen

Konzentration	Auswirkungen
ab $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Ozon wird mit dem Geruchssinn wahrgenommen, es tritt jedoch ein schneller Gewöhnungseffekt ein
ab $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Erste Reizzustände der Augenbindehaut
ab $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Eventuell Kopfschmerzen
ab $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Sinken der Abwehrbereitschaft für bakterielle Lungenerkrankungen; Lungenfunktionsveränderungen, insbesondere bei körperlicher Belastung
ab $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Zunahme der weißen Blutkörperchen, Immunsystem wird aktiviert
ab $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Zunahme der Häufigkeit von Asthma-Anfällen; Sommersmog-Alarm*) kann ausgelöst werden

*) Nach der Sommersmog-Verordnung der Bundesregierung von 1994 muß der Wert von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an mehreren Stationen, die nicht zu nahe beieinander liegen, gemessen werden und mindestens eine Stunde lang andauern.

▶ Aerosole

Was sind Aerosole?

Die Luft, die unsere Erdhülle umgibt, besteht nicht nur aus Gasen. Sie enthält auch flüssige und feste Teilchen, die in ihr schweben. Die Wissenschaft hat für diese Schwebstoffe in der Luft den Begriff „Aerosole“ geprägt.

Wie entstehen Aerosole in unserer Umwelt?

▶ Das Aerosol in der Luft wird im wesentlichen durch natürliche Vorgänge erzeugt. Wolken und Nebel entstehen, wenn der Wasserdampf in der Luft so weit abgekühlt wird, daß sich kleine Wassertröpfchen bilden. Diese Tröpfchen können wieder verdampfen, aber auch anwachsen und dann als Regen herunterfallen. Wassertröpfchen entstehen auch in den feuchten Abgasen von Industrie- und Kraftwerkschloten und sind dann als Abgasfahnen sichtbar. Auf der Folie 13 (*Erscheinungsformen*) sind Bilder typischer Erscheinungsformen des Aerosols in unserer Umwelt gezeigt.

▶ Aerosole mit festen Schwebstoffen entstehen in der Natur beim Aufwirbeln von trockenem Boden durch den Wind. Die kleinen Staubteilchen sind so leicht, daß sie vom Wind erfaßt und in die Luft gehoben werden. Der Sand der Sahara z.B. kann bis nach Südeuropa oder weit auf den Atlantik transportiert werden. Auch bei Vulkanausbrüchen werden feste Schwebstoffe (Asche) in die Luft geblasen.

Was mit dem Boden passiert, geschieht auch mit dem Meerwasser. Der Wind erzeugt Wellen, die an ihren höchsten Stellen brechen und die weiße Gischt bilden. Dies sind kleine Wassertröpfchen, die ebenfalls in die Luft gehoben werden und nach dem Verdampfen des Wassers das sog. Seesalz-Aerosol zurücklassen. Anders als bei Wolken oder Nebeln besteht dieses Aerosol aus festen Teilchen. Sie sind sehr gesund für die Atemwege, und deshalb wird die Seeluft als heilend empfohlen.

► Aerosole

Einige Aerosole entstehen erst in der Atmosphäre durch chemische Reaktionen. Dazu gehören das **Sulfat-Aerosol bzw. das Nitrat-Aerosol, die aus Schwefeldioxid (SO₂) bzw. Stickoxiden (NO) entstehen**. Da SO₂ sowohl natürlich vorhanden ist (Vulkan- ausbrüche, Oxidation von schwefelhaltigen Verbindungen aus den Ozeanen) als auch anthropogen bei der Verbrennung von Kohle und Öl entsteht, ist das Sulfat-Aerosol überall vorhanden. Wegen seiner Eigenschaft, das Sonnenlicht zurückzustrahlen, trägt dieses Aerosol zur Kühlung der Erdoberfläche bei und wirkt damit der Erwärmung durch die Treibhausgase entgegen (Folie 6)

► **Aerosole entstehen aber auch durch menschliche Tätigkeit**. Dazu gehört der Ruß, der von Dieselfahrzeugen (LKWs, Busse) produziert wird oder in dunklen Abgasfahnen von Industrieschlotten gelegentlich noch zu sehen ist. Auch schlechte Hausfeuerungen und Kamine produzieren Ruß. Im Gegensatz zum Seesalz-Aerosol ist Ruß für die Atemwege ungesund. Neue LKWs und Busse sind heutzutage mit Katalysatoren ausgestattet, an denen der Ruß verbrannt wird. Damit wird verhindert, daß er mit dem Abgas ausgestoßen wird.

Nützliche technische Anwendungen von Aerosolen.

► Aerosole kommen aber nicht nur in unserer Umgebungsluft vor, sondern sie haben auch **viele segensreiche technische Anwendungen**. Beim Betrieb eines Dieselmotors z.B. wird der Kraftstoff flüssig in Form kleiner Tröpfchen eingespritzt. Erst während der Verdampfung dieser Tröpfchen im Zylinder entsteht das explosionsfähige Dieselmotorkraftstoff/Luft-Gemisch. Ein anderes Beispiel ist der Feuerlöscher. Dabei wird aus einem Vorratsbehälter durch Druckluft oder Kohlenstoffdioxid ein Aerosol ausgeschleudert, das aus dem Brandherd die Luft verdrängt und die Flammen ersticken läßt. Auch in Form von Spraydosen werden viele nützliche Anwendungen von aerosolgetragenen Wirkstoffen in Haushalt, Medizin und Technik erst möglich (siehe Folie 14).

► Spraydosen

Was kommt aus Spraydosen eigentlich heraus?

► Die Idee einer Spraydose ist, einen bestimmten Wirkstoff (z.B. einen Haarlack) in möglichst feiner Verteilung auf eine Oberfläche aufzubringen, in diesem Falle das Haar. Dazu ist es erforderlich, den Wirkstoff zu lösen und zu transportieren. Diesem Zweck dienen die Lösemittel und die Treibmittel, die gemeinsam mit dem Wirkstoff in einer Spraydose flüssig enthalten sind. Beim Schütteln einer Spraydose ist der flüssige Inhalt deutlich hörbar!

► Beim Betätigen einer Spraydose wird aufgrund des erhöhten Druckes der Inhalt (Treib- und Lösemittel + Wirkstoff) in Form feiner Tröpfchen, als Aerosol, freigesetzt. Während Treib- und Lösemittel verdampfen, schlägt sich der Wirkstoff in fein verteilter Form nieder (siehe Folie 15).

► Neben der gewünschten Wirkung, nämlich das Haar zu festigen, gelangen Treib- und Lösemittel in die Umwelt. Die Umweltauswirkung durch die Benutzung von Spraydosen hängt deshalb auch von den verwendeten Treib- und Lösemitteln ab.

Welche Treib- und Lösemittel werden heute verwendet?

► Noch bis Ende der 80er Jahre wurden in Deutschland und weltweit FCKW als Treibmittel in Spraydosen verwendet. Aufgrund der sich abzeichnenden Ozonschädlichkeit der FCKW hat die deutsche Aerosolindustrie aber bereits zu diesem Zeitpunkt, mehrere Jahre bevor die FCKW gesetzlich verboten wurden, freiwillig auf andere Treibmittel umgestellt. Dazu gehören hauptsächlich einfache Kohlenwasserstoffe und Ether. Als Lösemittel werden Alkohole und Ketone eingesetzt. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die derzeit hauptsächlich verwendeten Stoffe. Diese Verbindungen werden in den unteren Luftschichten der Atmosphäre mit Lebensdauern von wenigen Tagen bis zu einigen Wochen abgebaut. Ein Endprodukt dieses Abbauprozesses ist Kohlenstoffdioxid (CO_2).

► Spraydosen

Welche Auswirkungen haben die Treib- und Lösemittel der Aerosolindustrie auf die Umwelt?

► Ozonabbau in der Stratosphäre

Die in Folie 16 genannten Stoffe haben eine relativ kurze Lebenszeit. Dies bedeutet, daß sie bereits in den unteren Luftschichten abgebaut werden und nicht in die Stratosphäre aufsteigen können. Aber selbst wenn dies der Fall wäre, bliebe dennoch das Ozon in der Stratosphäre unbeeinflusst, da diese Verbindungen keine ozonzerstörenden Bestandteile, wie das Chlor in den FCKW, enthalten. Sie sind deshalb absolut ozonunschädlich.

► Sommersmog

Gerade aufgrund ihrer kurzen Lebensdauer sind die Substanzen laut Folie 16 aber potentielle Ozonbildner in den bodennahen Luftschichten. Sie unterscheiden sich grundsätzlich nicht von anderen flüchtigen Kohlenwasserstoffen (VOC = volatile organic compounds), die durch den Straßenverkehr oder bei der Verwendung von Lösemitteln (Farben und Lacke, Entfettung von Metallen, chemische Reinigung u.a.) ebenfalls emittiert werden und bei der Ausbildung des Sommersmogs eine Rolle spielen.

Man muß aber die Mengen vergleichen: Die in der Aerosolindustrie für die Herstellung von Spraydosen eingesetzte Menge an Treib- und Lösemitteln beträgt z.Z. ca. 74.000 Tonnen im Jahr. Diese werden aufgrund der Anwendung in Haushalt und Industrie auch emittiert. Die Gesamtemission an VOCs in der Bundesrepublik dagegen beträgt z.Z. jährlich 1,9 Mio. Tonnen. Das bedeutet, daß auf die Spraydosen ein Anteil von etwa 4 % entfällt. Wenn weiterhin berücksichtigt wird, daß in der Bundesrepublik auch noch ganz erhebliche Mengen an Methan (4,7 Mio. Tonnen/Jahr) aus Deponien, aus der Landwirtschaft und bei der Kohlegewinnung emittiert werden und ebenfalls zur Ozonbildung beitragen, so reduziert sich der Anteil der Spraydose am Sommersmog weiter.

► Spraydosen

► Klimawirksamkeit

Die Treib- und Lösemittel der Aerosolindustrie sind ebenso wie das Methan Treibhausgase. Zur Bewertung ihrer Auswirkungen auf das Klimasystem werden sowohl die Mengen als auch die spezifische Treibhauswirkung (GWP-Werte) herangezogen. Die GWP-Werte von kurzlebigen Kohlenwasserstoffen sind in der Größenordnung von 1, also ähnlich dem des Kohlenstoffdioxids. Da die Kohlenstoffdioxid-Emission in der Bundesrepublik etwa 900 Mio. Tonnen pro Jahr beträgt, kann der anteilige Beitrag der Emissionen aus Spraydosen zu 0,007 % abgeschätzt werden. Selbst wenn man annimmt, daß alle Treib- und Lösemittel zu Kohlenstoffdioxid oxidiert werden und die dann entstehende Kohlenstoffdioxidmenge für die Klimawirkung verantwortlich ist, erhöht sich dieser Anteil nur auf 0,02 %. Emissionen aus Spraydosen sind also in bezug auf ihre Klimawirksamkeit unbedeutend.

Tabelle 2: Treib- und Lösemittel in Spraydosen

Treibmittel	Lebensdauer
Propan, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$	19 Tage
n-Butan, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$	9 Tage
i-Butan, $(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_3$	11 Tage
Dimethylether, CH_3OCH_3	7 Tage
Lösemittel	Lebensdauer
Ethanol, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	7 Tage
i-Propanol, $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$	7 Tage
Aceton, CH_3COCH_3	ca. 100 Tage

Lehrerinformation zum Unterrichtsgespräch

Ziel:

Schärfung des Bewußtseins für CO₂-Emissionen im Alltag des Schülers.

Beispiele:

Mobilität, Stromverbrauch, Raumwärme, Duschen/Baden

Mobilität

Aus dem spezifischen Verbrauch an Benzin, Diesel, Kerosin bzw. Strom (Eisenbahn) lassen sich folgende CO₂-Mengen berechnen, die pro Person auf einer Strecke von 100 km produziert werden:*)

Auto	ca. 12 kg
Bus	ca. 4 kg
Flugzeug	ca. 15 kg
Bahn	ca. 7,5 kg

Fragen:

- ▶ Wieviel CO₂ „produzierst“ Du auf einer Fahrt von Hamburg nach München mit Auto, Bahn oder Bus?
- ▶ Wieviel CO₂ produzierst Du während eines Fluges von Frankfurt nach Mallorca und zurück? Welchem Anteil Deiner Jahresemission (11 Tonnen) entspricht dies?

*) Die oben genannten Emissionswerte sind natürlich von der jeweiligen Auslastung des Transportmittels abhängig. In diesem Fall ist die Annahme gemacht worden, daß das Auto mit 1,5 Personen besetzt ist; in Bussen, Flugzeugen und Bahnen ist jeder zweite Platz unbesetzt.

Stromverbrauch

Die Stromversorgung in der Bundesrepublik (siehe z. B. <http://www.vdew.de>) beruht z. Zt. auf den Energieträgern Kohle (52%), Kernenergie (36 %), Erdgas (6 %), Wasser (4 %), Heizöl (1 %) und Erneuerbare (1 %). Bei der Erzeugung von 1 kWh elektrischer Energie in den Kraftwerken aus den fossilen Brennstoffen werden folgende CO₂-Mengen freigesetzt:

aus Gas	ca. 0,4 kg
aus Öl	ca. 0,9 kg
aus Kohle	ca. 1,1 kg

Lehrerinformation zum Unterrichtsgespräch

Fragen:

- ▶ Wie hoch ist die mittlere CO₂-Produktion pro kWh elektrischer Energie z. Zt. in der Bundesrepublik?
- ▶ Wieviel CO₂ „produzierst“ Du, wenn Du Dein Zimmer 5 Stunden lang mit einer 100W-Lampe beleuchtest?
- ▶ Wieviel CO₂ „produziert“ Dein Fernseher innerhalb von 3 Stunden; wieviel über einen Tag, wenn Du den Stand-by-Modus wählst? (Die mittlere Leistung des Fernsehapparates beträgt 300W (im Betrieb) bzw. 20 W (im Stand-by-Modus)).

Raumwärme

Die Heizung Deines Zimmers erfordert durchschnittlich im Jahr eine Energie von 150 kWh pro Quadratmeter Wohnfläche. Die Bereitstellung von 1 kWh Wärmeenergie durch Eure Heizung ist mit folgenden CO₂-Mengen verknüpft:

Gas-Heizung	0,2 kg
Öl-Heizung	0,3 kg
Kohle-Heizung	0,4 kg

Frage:

- ▶ Wieviel CO₂ „produziert“ Dein Zimmer im Jahr, wenn dieses 20 m² groß ist?

Duschen/Baden

Beim Duschen bzw. Baden werden durchschnittlich jeweils 30 bzw. 70 Liter Warmwasser benötigt. Wenn dieses Wasser um 25 °C gegenüber dem Leitungswasser erwärmt wurde, sind dafür Energiebeträge von jeweils 0,86 bzw. 2,0 kWh erforderlich.

Frage:

- ▶ Wieviel CO₂ „produzierst“ Du täglich beim Duschen/Baden? Wieviel sind dies pro Jahr?

Anmerkung: Nimm an, daß die spezifische CO₂-Produktion für die Warmwasseraufbereitung ähnlich ist wie bei der Erzeugung der Raumwärme.

Impressum

Herausgeber:

Industrie-Gemeinschaft Aerosole e.V.

Karlstraße 21

60329 Frankfurt am Main

Telefon: 0 69 / 25 56 - 15 08

Telefax: 0 69 / 25 56 - 16 08

© 1999

Text, Redaktion und Gestaltung:

PR & P GmbH, Wiesbaden

Wissenschaftliche Beratung:

Prof. Dr. Reinhard Zellner

Priv.-Doz. Dr. Karin Stachelscheid

Universität GH Essen