

## Schichtung und Temperaturverlauf

- ▶ Die Atmosphäre wird in mehrere Schichten eingeteilt:

Troposphäre: von 0 bis ca. 10 km

Stratosphäre: von 10 bis 50 km

Mesosphäre: von 50 bis 90 km

Thermosphäre: oberhalb von 90 km

Diese Einteilung orientiert sich am Temperaturverlauf. Immer wenn das Vorzeichen der Temperaturänderung mit der Höhe wechselt, beginnt eine neue Sphäre. Die Trennlinien zwischen Sphären werden Pausen genannt.

- ▶ Der Luftdruck nimmt von unten nach oben ab. In 16 km Höhe beträgt er 1/10, in 30 km Höhe 1/100 und in 45 km Höhe 1/1000 des Luftdrucks in Bodennähe.

- ▶ Die Hauptbestandteile der Atmosphäre sind Stickstoff N<sub>2</sub> (78 %), Sauerstoff O<sub>2</sub> (21 %). Der Rest ist eine Mischung aus Wasserdampf H<sub>2</sub>O, Edelgasen (insbesondere Argon Ar), Kohlenstoffdioxid CO<sub>2</sub>, Ozon O<sub>3</sub>, Lachgas N<sub>2</sub>O, Methan CH<sub>4</sub> u.a. Die Hauptmenge des Ozons befindet sich als breite Schicht in der unteren Stratosphäre (Ozonschicht).

## Verlauf von Sonnen- und Wärmestrahlung in der Troposphäre

- ▶ Von der einfallenden Lichtstrahlung der Sonne wird der größte Teil an der Erdoberfläche aufgenommen und in Wärmestrahlung umgewandelt. Ein kleinerer Teil wird an den Wolken sowie an hellen Oberflächen (wie z.B. Schnee, Sand) zurückgespiegelt. Die von der Erdoberfläche ausgesandte Wärmestrahlung gelangt aber nur z.T. direkt in den Weltraum. Der größte Anteil wird von den Molekülen der Treibhausgase aufgenommen und von diesen in alle Richtungen, d.h. auch zurück zum Erdboden, wieder abgestrahlt. Die untere Atmosphäre und der Erdboden werden dadurch zusätzlich erwärmt.

Beiträge verschiedener Spurengase zum natürlichen bzw. anthropogenen Treibhauseffekt

- ▶ Die natürlichen Treibhausgase sind Wasserdampf, Kohlenstoffdioxid, Ozon, Lachgas und Methan. Sie bewirken, daß die bodennahe Luft, gemittelt über die gesamte Erde und über das Jahr, eine Temperatur von + 15 °C hat. Ohne diese Gase wäre die Temperatur um 33 °C niedriger, also nur bei – 18 °C.
- ▶ Aufgrund menschlicher Aktivitäten sind die natürlichen Konzentrationen von Kohlenstoffdioxid, Ozon, Lachgas und Methan angestiegen, und es sind andere, nicht natürliche Treibhausgase wie die FCKW hinzugekommen. Die Wirkung dieser zusätzlichen Mengen wird als zusätzlicher oder anthropogener Treibhauseffekt bezeichnet. Er beträgt z.Zt. 0,6 °C. Das wichtigste anthropogene Treibhausgas ist Kohlenstoffdioxid.

## Kohlenstoffdioxid-Emissionen in Deutschland

- ▶ Im Jahre 1994 betrug die Gesamtmenge an freigesetztem Kohlenstoffdioxid weltweit etwa 26 Mrd. Tonnen und in Deutschland 900 Mio. Tonnen, entsprechend einem Anteil von 3,5 %.
  - ▶ In Deutschland entfällt auf Kraftwerke und Fernheizwerke mit etwa 40 % der größte Anteil der CO<sub>2</sub>-Emission. Die drei anderen Bereiche
    - Kleinverbraucher (Gewerbe) und Haushalte
    - Verkehr (Straßenverkehr, Schienenverkehr, Binnen- und Küstenschifffahrt, Luftverkehr)
    - Industrie (Feuerungen und Industrieprozesse)
- sind mit jeweils 20 % an dem Kohlenstoffdioxid-Ausstoß beteiligt

## Merkmale verschiedener Treibhausgase

- ▶ Auf der rechten Seite sind die heutigen Konzentrationen  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  und FCKW in ppm angegeben. Mit 360 ppm (=0,036 %) ist  $\text{CO}_2$  weitaus am häufigsten. Mit großem Abstand folgen  $\text{CH}_4$  und  $\text{N}_2\text{O}$  und schließlich FCKW.
- ▶ Auf der linken Seite sind die Treibhauspotentiale der wichtigsten Klimagase als GWP-Werte (Global Warming Potential) angegeben. Dabei wird das Kohlenstoffdioxid-Molekül ( $\text{CO}_2$ -Molekül) als Bezugsgröße gewählt und sein GWP-Wert gleich 1 gesetzt. Die anderen Treibhausgase haben eine größere Wirkung als Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ). Dies gilt insbesondere für FCKW, die trotz ihrer geringen Konzentration eine große Klimawirkung entfalten.

## Entwicklung der Treibhausgaskonzentrationen und der Temperatur (1860-2040)

- ▶ Die obere Abbildung zeigt den prozentualen Zuwachs der Konzentration von CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O und FCKW. Der jeweilige Konzentrationswert im Jahre 1998 ist gleich 100 % gesetzt worden. Der Verlauf bis 1998 basiert auf Messungen in der Luft sowie in Eisbohrkernen, in denen diese Spurengase zum Zeitpunkt der Entstehung konserviert wurden. Die Entwicklung nach 1998 beruht auf Annahmen über die zukünftige Weltbevölkerung und das Ausmaß an Industrialisierung. Die FCKW-Kurve folgt den Regelungen des Montrealer Protokolls.
- ▶ Die untere Abbildung zeigt die Veränderung der globalen Mitteltemperatur. Kurve (1) gibt die tatsächlich gemessene Temperaturzunahme wieder. Die Kurven (2) und (3) sind die von Klimaforschern mit Hilfe von Modellrechnungen ermittelten Werte, einschließlich Prognosen für die zukünftige Entwicklung. Die beiden Kurven unterscheiden sich durch die Berücksichtigung des Sulfat-Aerosols (s. Aerosole), das den Temperaturanstieg aufgrund der Klimagase abschwächt.

## Jahresgänge der Ozonmenge über Deutschland

- ▶ Im Verlauf eines Jahres ändert sich die Gesamt-Ozonmenge über einem bestimmten Ort. Die Abbildung zeigt die Ergebnisse einer mehrjährigen (1993-1997) Meßreihe am Observatorium Hohenpeißenberg (Bayern) des Deutschen Wetterdienstes, gemeinsam mit den Mittelwerten aus den letzten 30 Jahren. Danach ist die Ozonmenge im Frühjahr am höchsten und im Herbst am geringsten. Eine solche Variation ist typisch für mittlere geographische Breiten der Nordhalbkugel.
- ▶ Die Messungen in den Jahren 1993 bis 1997 zeigen deutlich geringere Ozonmengen als der langjährige Durchschnitt. Dies sind Anzeichen für den Ozonrückgang durch die FCKW.
- ▶ Die Ozon-Gesamtmenngen sind angegeben in Dobson-Einheiten (DU). 300 DU entsprechen einer Schicht von 3 mm Dicke, wenn man sich die Ozon-Gesamtmenge auf den Druck in Bodennähe komprimiert vorstellt.

## Bildung und Zerstörung des Ozons in der Stratosphäre

- ▶ Ozon wird in der Stratosphäre aus Sauerstoff in Gegenwart von energiereichem Sonnenlicht gebildet und durch die Einwirkung von Sonnenlicht sowie durch Reaktion mit anderen Spurengasen (X) wieder zerstört. Die Spurengase X wirken als Katalysatoren, die zwar das Ozon zerstören, aber dabei selbst nicht verbraucht werden. Wenn ihre Menge ansteigt, nimmt die Ozonkonzentration ab.
- ▶ Der wichtigste Katalysator (X), der für die Verringerung der Ozonmengen in der Stratosphäre während der letzten 15 Jahre verantwortlich ist, ist das Chloratom. Dieses wird in der Stratosphäre durch die Zerlegung der FCKW im Sonnenlicht gebildet.



## Ozonloch über dem Südpol und Ozonverteilung in der Nordhemisphäre (Satellitenbilder)

- ▶ Die linke Abbildung zeigt das Ozonloch über dem Südpol im Oktober 1996. Der Begriff „Ozonloch“ bedeutet aber nicht, daß gar kein Ozon mehr vorhanden ist, sondern daß sich die Gesamtmenge um mindestens 30% reduziert hat.
- ▶ Das Ozonloch wurde erstmals 1985 entdeckt. Es hat sich seitdem ständig vergrößert. Seit Anfang der 90er Jahre umfaßt es in jedem Jahr zum Zeitpunkt seiner größten Ausdehnung ca. 25 Mio. Quadratkilometer.
- ▶ Die rechte Abbildung zeigt die Ozonverteilung in der Nordhemisphäre im März 1996. Diese Verteilung zeigt nicht wie im Süden ein großräumiges und kreisförmiges Ozonloch, sondern lediglich größere Regionen mit relativ stark erniedrigten Ozongesamt mengen. Im Gegensatz zum Süden ist die Ozonabnahme im Norden von Jahr zu Jahr unterschiedlich. Die Bereiche mit besonders niedrigen Ozonwerten befinden sich aber häufig über Nord- und Mitteleuropa.

## Jahresgänge des Ozons in Bodennähe

- ▶ Ähnlich wie das Ozon in der Stratosphäre hat auch das Ozon in Bodennähe einen charakteristischen Jahresgang. Im Gegensatz zur Stratosphäre tritt das Maximum der bodennahen Ozonmenge aber im Sommer auf, weil dann die Sonne am höchsten steht.
- ▶ Der Ozongehalt der bodennahen Luft wird in Mikrogramm/Kubikmeter ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) angegeben. Der Jahresmittelwert in den Großstädten beträgt 20-30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; in Reinluftgebieten und in größeren Höhen werden 70-80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  erreicht. Seit Beginn der Industrialisierung haben sich diese Werte etwa verdoppelt.
- ▶ Der Unterschied zwischen Stadt und Land ist das Ergebnis eines komplexen Wechselspiels zwischen Chemie, Transport und Meteorologie.

## Tagesgänge des Ozons in Bodennähe im Monat Juli

- ▶ Im Verlaufe eines Tages ist die Ozonmenge in der bodennahen Luft nicht konstant. Sie erreicht maximale Werte immer am frühen Nachmittag.
- ▶ Besonders stark ist der Tagesgang in Großstädten und Ballungsgebieten. Hier wird das Ozon im Laufe des frühen Nachmittags aufgebaut und am späten Nachmittag wieder abgebaut. Während der Nacht ist die Ozonmenge relativ klein.
- ▶ In Reinluftgebieten ist der Tagesgang erheblich schwächer. Die Gesamtmenge (über 24 Stunden gemittelt) ist aber deutlich höher als in der Stadt.

## Bildung und Abbau von Ozon in Bodennähe

- ▶ Aus unseren Autos, aus Kraftwerken und aus Industrieprozessen werden flüchtige Kohlenwasserstoffe (KW) und Stickoxide (NO) freigesetzt. In Gegenwart von Sonnenlicht reagieren Kohlenwasserstoffe mit Stickoxiden und Sauerstoff unter Bildung von Ozon.
- ▶ Während der Nacht wird das Ozon durch Reaktion mit NO aber auch wieder verbraucht. Da in den Städten aufgrund des anhaltenden Straßenverkehrs nachts mehr NO emittiert wird als auf dem Land, ist diese Abbaureaktion insbesondere in der Stadt wirksam.
- ▶ Bodennahes Ozon wird darüber hinaus auch durch Kontakt mit Oberflächen (Böden, Gebäude, Grasflächen, Gewässer u.ä.) zerstört.

## Erscheinungsformen

- ▶ Aerosole sind flüssige oder feste Schwebstoffe in der Luft. Beispiele sind Wolken und Nebel (Wassertröpfchen), Abgasfahnen von Schornsteinen und Kühltürmen (Wassertröpfchen), Vulkanausbrüche (Asche und Wassertröpfchen) und Kraftfahrzeugabgase (Wassertröpfchen und Ruß).
- ▶ Auch die verringerte Sicht in der trüben Luft ist immer ein Hinweis auf das Vorhandensein von Aerosolen. An sonnenreichen, aber trüben Sommertagen handelt es sich meist um Sulfat- oder Nitrat-Aerosole, die aus Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) und Stickoxiden in der Luft selbst gebildet werden.

## Daten und Fakten zum Spraymarkt

- ▶ Mit über 65% sind Haar- und Körperpflegemittel die Hauptanwendungsbereiche von Spraydosen, weit vor Haushaltssprays und anderen Anwendungen.
- ▶ Welche Rolle Spraydosen in unserem täglichen Leben spielen, zeigen die steigenden Produktionszahlen seit 1955. Begünstigt wurde dieser Trend durch den rechtzeitigen Umstieg auf umweltfreundliche Treibmittel.
- ▶ Seit 1988 enthalten in Deutschland vermarktete Spraydosen kein FCKW mehr. Ausnahmen gab es zunächst noch für Asthma-Inhalatoren. Seit Anfang 2003 wird jedoch auch in diesem Bereich grundsätzlich kein FCKW mehr eingesetzt.
- ▶ Spraydosen bieten:
  - eine gleichbleibend feine Konzentration des Sprühnebels
  - eine gezielte, saubere und bequeme Anwendung
  - eine lange Haltbarkeit ohne Qualitätsverlust
  - einen sparsamen Verbrauch

## Das Sprayprinzip

▶ Durch den Innendruck der Spraydose wird das Gemisch aus Wirkstoff, Treib- und Lösemittel freigesetzt, wenn man auf den Sprühknopf drückt. In diesem Augenblick verdampft das Treibmittel in Bruchteilen von Sekunden. Jeder kleine Tropfen zerplatzt zu vielen winzigen Tröpfchen.

Kein anderes Verteilungsprinzip erreicht diese Feinheit der Tröpfchen.

Das Ergebnis: Der Wirkstoff wird

- sparsam
- gleichmäßig
- fein und
- trocken

aufgetragen.

## Treib- und Lösemittel in Spraydosen

- ▶ Die Treib- und Lösemittel der Aerosolindustrie werden aufgrund ihrer kurzen Lebenszeit bereits in den unteren Luftschichten abgebaut und steigen nicht in die Stratosphäre auf. Sie enthalten zudem keine ozonzerstörenden Bestandteile und sind deshalb absolut ozonunschädlich.
- ▶ Treib- und Lösemittel in Spraydosen sind, wie andere flüchtige Kohlenwasserstoffe auch, potentielle Ozonbildner in den bodennahen Luftschichten. Ihr Beitrag zur Ausbildung des Sommersmogs ist dennoch äußerst gering. Maximal 4 % der jährlich in der Bundesrepublik emittierten flüchtigen Kohlenwasserstoffe entfallen auf Spraydosen.
- ▶ Die Klimawirksamkeit von Treibgasen aus Spraydosen ist noch geringer. Selbst für den unwahrscheinlichen Fall, daß alle in ihnen enthaltenen Treib- und Lösemittel zu Kohlenstoffdioxid oxidieren, beträgt ihr Anteil an den gesamten jährlichen Kohlenstoffdioxid-Emissionen 0,02 %. Emissionen aus Spraydosen sind also in bezug auf ihre Klimawirksamkeit absolut unbedeutend.