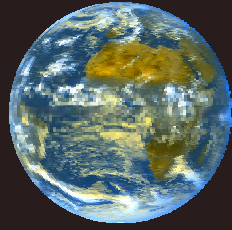


Ozon in der Atmosphäre



Einleitung
 Die Erde, unserer Lebensraum, ein komplexes System in dem die Atmosphäre, die Lithosphäre und die Ozeane zusammen ein komplexes, gekoppeltes System bilden, das geprägt ist durch physikalisch, chemische und biologische Wechselwirkung.
 Die Lebensbedingungen, die wir Menschen auf unserer Erde vorfinden, sind das Ergebnis dieser Wechselwirkungen und stellen einen dynamischen Gleichgewichtszustand dar, der sich in der Geschichte unseres Planeten ständig verändert hat.
 Die Hauptbestandteile der Atmosphäre, Stickstoff, Sauerstoff und Argon, machen zusammen ca. 99,9% des Volumens der Atmosphäre aus. Trotzdem wird das Erdklima sowie die Chemie der Atmosphäre maßgeblich durch die verbleibenden restlichen Komponenten (Spurengase) bestimmt. Die Zusammensetzung der Erdatmosphäre bzgl. dieser chemischen Verbindungen kann aufgrund ihrer vergleichsweise geringen Konzentrationen signifikant durch menschliche Einflüsse gestört werden.
 Folge dieses Verhaltens sind Waldschäden, Bodenerosion, Gewässer- und Meeresverschmutzung, Belastung der Atmosphäre durch Schadstoffe und Aerosole sowie Klimaveränderung durch eine Verstärkung des Treibhauseffektes und eine Erhöhung der UV-B Strahlung am Boden durch die Reduktion der stratosphärischen Ozonschicht. Auf den letzten Punkt, die Zerstörung des stratosphärischen Ozons und seine Folgen wird im nachfolgenden Text näher eingegangen.

Zusammensetzung der Erdatmosphäre

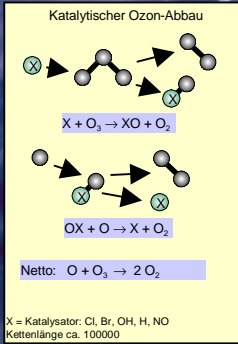
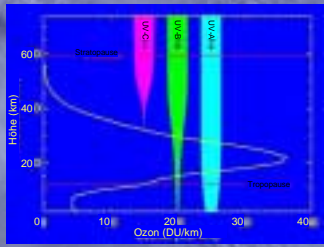
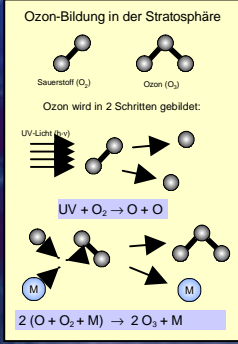
Gas	Gehalt	Veränderung (% / pro Jahr)
Stickstoff (N ₂)	78,084 %	keine Veränderung messbar
Sauerstoff (O ₂)	20,946 %	keine Veränderung messbar
Argon (Ar)	0,946 %	keine Veränderung messbar
Kohlendioxid (CO ₂)	350 ppmv*	ca. + 0,4
Wasserdampf (H ₂ O)	3 ppmv - 2 %	?
Methan (CH ₄)	1,75 ppmv	ca. + (0,7 - 1)
Lachgas (N ₂ O)	0,31 ppmv	ca. + (0,2 - 0,3)
Kohlenmonoxid (CO)	50 - 250 ppbv	ca. + 0,85
Ozon (O ₃), Troposphäre	10 - 100 ppbv	ca. + (0,5 - 1)
Ozon (O ₃), Stratosphäre	0,1 - 10 ppbv	ca. - 0,6
FCKWs	ca. 0,5 ppbv	ca. + (2 - 10)

* ppm = parts per million volume (Moleküle pro Million Luftmoleküle)



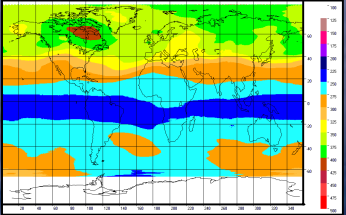
Die Erdatmosphäre
 Im Laufe der Entwicklung der Erde hat sich die Erdatmosphäre von einer Wasserstoff-Helium Atmosphäre über eine Ammoniak-Methan Atmosphäre zu einer Kohlendioxid-Stickstoff Atmosphäre mit einem langsam zunehmenden Gehalt an Sauerstoff entwickelt. Über lange Zeiträume wurde der durch die Photosynthese erzeugte Sauerstoff von reduzierenden Substanzen abgefangen und in oxidierten Verbindungen, vor allem Eisen, wieder festgelegt. Erst nach ihrer Erschöpfung kam es vor etwa 2 Milliarden Jahren zu Sauerstoff-Überschuss und -Anreicherung in Wasser und Atmosphäre. Die Erde wandelte sich vom rotbraunen Planeten, dessen Atmosphäre überwiegend Kohlendioxid und reduzierende Gase wie Methan enthielt (dies ist beim Planeten Mars in ähnlicher Form heute der Fall), zum blauen Planeten.
 Die Erdatmosphäre, die Gashölle der Erde, ist durch die Gravitation an den Planeten Erde gebunden und besteht aus verschiedenen Schichten. Die Einteilung in Schichten erfolgt aufgrund des Temperaturverlaufs. Die unterste Schicht der Erdatmosphäre ist die Troposphäre, die bis etwa 10 km Höhe reicht, gefolgt von der Stratosphäre, der Mesosphäre, der Ionosphäre und jenseits von 500 km Höhe der Exosphäre die langsam in den Weltraum übergeht. Rund 90% der Masse der Erdatmosphäre, die ca. 5,1 x 10²¹ kg beträgt, befinden sich unterhalb von 20 km Höhe.

Ozonbildung und Aufbau der Ozonschicht
 Ozon setzt sich aus drei Sauerstoffatomen zusammen und entsteht oberhalb einer Höhe von 15 km durch energiereiche Anteile des Sonnenlichts (λ < 240 nm), die die Sauerstoffmoleküle in jeweils zwei Sauerstoffatome spalten. Diese können mit weiteren Sauerstoffmolekülen reagieren und Ozon bilden. Für diese Reaktion ist ein weiterer „Stoßpartner“, meist Stickstoff oder Sauerstoff, notwendig, der bei der Reaktion freierwerdende überschüssige Energie aufnimmt.
 Zur Bildung einer effektiven Ozonschicht sind also drei Grundvoraussetzungen notwendig, es müssen genug Sauerstoffmoleküle vorhanden sein, der Anteil der energiereichen UV-Strahlung darf nicht zu gering sein und die Teilchendichte muß groß genug sein um die notwendigen „Dreierstossreaktionen“ ablaufen zu lassen. Aufgrund dieses Zusammenhangs wird in einer bestimmten Schicht der Lufthölle – etwa zwischen 15 und 40 km Höhe – besonders viel Ozon gebildet und diese Schicht wird auch Ozonschicht genannt.
 Neben der Ozonbildung ist auch der Ozonabbau durch ultraviolette Strahlung ein natürlicher Vorgang. Beide Reaktionen stehen in einem Gleichgewicht. Trifft UV-B Strahlung auf ein Ozonmolekül, so kann es wieder gespalten werden. Die Energie wird bei diesem Vorgang ebenfalls verbraucht. Auf diese Weise absorbiert das Ozon nahezu die gesamte UV-B Strahlung der Sonne. Diese Strahlung wird ansonsten von keinem anderen Bestandteil der Atmosphäre so effizient absorbiert und würde daher nahezu ungefiltert die Erdoberfläche erreichen, wenn es das Ozon nicht gäbe. In der Atmosphärenforschung wird die Ozongesamtmenge über der Erdoberfläche nach einem bekannten Ozonforscher in Dobson-Einheiten (Dobson Units, DU) angegeben. 100 DU entsprechen einer Schichtdicke von einem Millimeter bei Normaldruck. Der durchschnittliche globale Ozongehalt beträgt ca. 300 DU, d.h. würde man die gesamte Ozonschicht in Höhe der Erdoberfläche konzentrieren, so hätte diese eine Dicke von 3 mm.



Katalytischer Ozonabbau in der Atmosphäre
 Neben dem photolytischen Abbau (durch Licht) des Ozons gibt es noch andere Abbauprozesse in der Atmosphäre, die als katalytische Zyklen bezeichnet werden. Als Katalysatoren hatte man bis 1970 die Radikalpaare OH/HO₂ und NO/NO₂ gefunden, die aus den Quellgasen Wasserdampf (H₂O) und Lachgas (N₂O) gebildet wurden. Als Mitte der 70iger Jahre deutlich wurde, daß die Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKWs) nur in der Stratosphäre zerstört würden, wurden auch die Chlorradikale (Cl/ClO) und später die Bromradikale (Br/BrO) aus den Halonen als Katalysatoren identifiziert. Die Katalysatorenpaare können den Zyklus viele tausendmal durchlaufen und so auch in relativ kleinen Mengen viel Ozon zerstören.

Ozonkonzentration und UV-Strahlung
 Ungefähr 90 % des gesamten Ozons in der Atmosphäre befinden sich in der Stratosphäre, in einer Höhenschicht zwischen ca. 15 km und 50 km über der Erdoberfläche. Die restlichen 10 % befinden sich in der Troposphäre, der untersten Luftschicht.
 Ozonmessungen vom Boden, von Ballons und Flugzeugen und von Satelliten zeigen, dass die Ozonkonzentrationen zwischen 15 km und 30 km am größten sind und diese Schicht wird aus diesem Grund „Ozonschicht“ genannt. Die Abbildung zeigt, wie die Ozonkonzentration mit der Höhe variiert.
 Die in der Abbildung gezeigten Ozonkonzentrationen sind sehr gering, typischerweise nur wenige Moleküle pro 1 Million Luftmoleküle. Diese geringe Ozonmenge reicht jedoch aus, um die biologisch schädliche UV-Strahlung der Sonne fast vollständig zu absorbieren und so das Leben auf der Erde zu schützen. Die UV-Strahlung ist in drei verschiedene Typen unterteilt, die als UV-A (320-400 nm), UV-B (280-320 nm) und UV-C (<280 nm) bezeichnet werden. Die Abschirmung der jeweiligen UV-Strahlung durch das Ozon, d.h. die jeweilige Eindringtiefe in die Atmosphäre, ist in der Abbildung dargestellt. So gelangt die UV-C Strahlung nur bis in ca. 35 km Höhe, wohingegen die UV-B Strahlung (grün) teilweise die Erdoberfläche erreicht und Sonnenbrände, die wiederum genetische Veränderungen verursachen können die Hautkrebs auslösen können. Eine Erhöhung der UV-B Strahlung am Boden, verursacht durch eine Abnahme der Ozonkonzentration, kann zu einer Erhöhung des Hautkrebsrisikos und anderer Schäden an biologischen Systemen führen.



Karte der globalen Ozonverteilung für den Monat Mai 1996 (Daten: GOME)