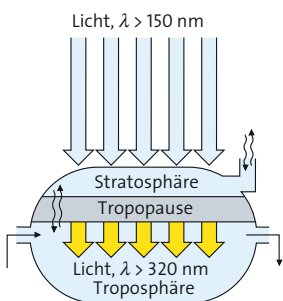




3 mm Ozon – der Filter für das Leben

Die Atmosphäre – ein Photoreaktor aus zwei Kammern

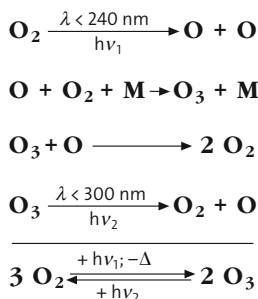
Die Erdatmosphäre gleicht einem riesigen Photoreaktor, der in zwei Kammern gegliedert werden kann: in die Troposphäre und die Stratosphäre (B1). Dazwischen liegt die um ca. 50 °C kältere Tropopause (vgl. S. 100, B2), durch die der Stoffaustausch zwischen der unteren und oberen Kammer stark gehemmt ist.



B1 Zweikammer-Photoreaktor-Modell der Atmosphäre und Chapman-Zyklus des Ozon-Gleichgewichts in der Stratosphäre (M: inertes Molekül; Δ: Wärme; hv: Licht). **A:** Erläutern Sie, warum die Wellenlängen des Lichts in den beiden Kammern unterschiedlich sind.

Das vertikale Ozon-Profil (B4) weist die größten Ozonkonzentrationen in Höhen zwischen 20 und 30 km Höhe auf. Unter Normbedingungen (1013 hPa; 0 °C) entspricht die in der Atmosphäre enthaltene Menge an Ozon einer 3 mm dicken Schicht um die Erde aus reinem Ozon. Die Funktion von Ozon in der Stratosphäre als Filter für die sehr energiereiche UV-Strahlung kann in LV1, S. 106, nachgewiesen werden. Durch diesen „Filter aus Ozon“ wird die Biosphäre vor einer zu hohen Intensität an schädlicher UV-Strahlung geschützt.

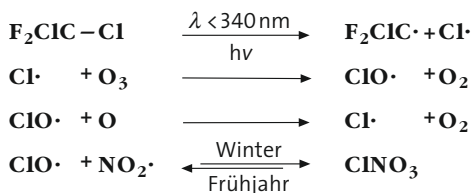
In der Stratosphäre werden Sauerstoff-Moleküle durch energiereiches, sehr kurzwelliges Licht ($\lambda < 240$ nm) in Sauerstoff-Atome gespalten, die wiederum mit Sauerstoff-Molekülen zu Ozon-Molekülen reagieren (B1). Diese absorbieren ebenfalls UV-Licht im Wellenlängenbereich von 200 nm bis 300 nm. Zwischen molekularem Sauerstoff O_2 und Ozon O_3 stellt sich ein **photo-stationäres Gleichgewicht**, d. h. ein durch Lichteinstrahlung erzeugtes und aufrecht gehaltenes Gleichgewicht ein¹. Dabei wird kurzwelliges UV-Licht teils in längerwelliges Licht, teils in Wärme umgewandelt.



Der Chlor-Katalyse-Zyklus – eine Ozon-Senke in der Stratosphäre

Seit im Jahr 1984 über der Antarktis eine Abnahme des stratosphärischen Ozons von bis zu 40 % gemessen wurde, gibt es das Schlagwort **Ozonloch**. Damit bezeichnet man die starke Ausdünnung der Ozonschicht über einer geographischen Region. Das Ozonloch besteht seit dem Jahr 1984 regelmäßig für einige Wochen während des polaren Frühlings rund um den Südpol auf (B3). Auch über Teilen der nördlichen Halbkugel treten seit dem Jahr 1992 in den Monaten Februar und März Ozonlöcher auf.

Es gilt als gesichert, dass die **FCKW**, die Fluorchlorkohlenwasserstoffe, zur Ausbildung des Ozonlochs beitragen. Sie gelangen als anthropogene Emissionen in die Atmosphäre. FCKW wie z. B. Dichlordifluormethan sind an Reaktionszyklen beteiligt, die erst durch das UV-Licht in der Stratosphäre ausgelöst werden und zum Ozon-Abbau führen (B2). Solche Reaktionszyklen bezeichnet man als **Ozon-Senken** (Gegenteil: Ozon-Quellen, vgl. S. 107).



B2 Der Chlor-Katalyse-Zyklus, eine stratosphärische Ozon-Senke.

A: Skizzieren Sie den Zyklus wie in B5, S. 107. **A:** Erläutern Sie, warum und wie diese Reaktionen den Chapman-Zyklus (B1) beeinflussen.

Bei vermindertem Ozongehalt in der Stratosphäre gelangt mehr UV-Strahlung (UV-A: $320 \text{ nm} < \lambda < 380$ nm; UV-B: $280 \text{ nm} < \lambda < 320$ nm) auf die Erdoberfläche. Besonders die „härtere“ UV-B-Strahlung schädigt Pflanzen, Tiere und Menschen nachhaltig. Sie zerstört die Blattpigmente, führt zur Erblindung von Tieren und verursacht Hautkrebs.

¹Die Schritte des Chapman-Zyklus sind in einer Animation unter *Chemie 2000+ Online* im Modell dargestellt.

3 mm Ozon – der Filter für das Leben

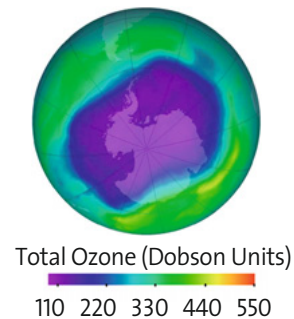
Fluorchlorkohlenwasserstoffe FCKW – eine Stoffgruppe mit Nachwirkung

Dass die Verbrennung von Benzin und Diesel, die aus Erdöl gewonnen werden, Schadstoffe erzeugt und den Treibhauseffekt sowie den Photo-smog mitverursacht, leuchtet ein (vgl. S. 102 bis 107). Der Zusammenhang zwischen stratosphärischem Ozon und Ozonloch auf der einen und Erdöl und Produkten aus Erdöl auf der anderen Seite ist weniger offensichtlich.

Die „Ozonkiller“ FCKW sind Produkte der Petrochemie. Diese Stoffe sind vorwiegend Derivate (Abkömmlinge) des Methans und des Ethans, bei denen alle Wasserstoff-Atome aus den Molekülen durch Fluor- und Chlor-Atome ersetzt sind. FCKW haben als Gase niedrige Siedetemperaturen, sind ungiftig, unbrennbar, wasserunlöslich und chemisch äußerst stabil. Sie erschienen ideal für einige Anwendungen und wurden einige Jahrzehnte (etwa in den Jahren von 1950 bis 1990) in großen Mengen als Treibgase bei Sprays und bei der Herstellung von geschäumten Kunststoffen sowie als Kälteflüssigkeiten in Kühlschränken eingesetzt. Die in die Atmosphäre entweichenden FCKW werden aufgrund ihrer Reaktionsträgheit in der Troposphäre nicht abgebaut und gelangen wegen ihrer großen Dichte nur langsam, in etwa 10 Jahren nach ihrer Freisetzung, in die Stratosphäre. Erst hier sind Reaktionsbedingungen für ihren Abbau vorhanden, nämlich UV-Licht mit Wellenlängen $\lambda < 340$ nm (vgl. Chlor-Katalyse-Zyklus in B2). Seit die Wirkung der FCKW beim stratosphärischen Ozon-Abbau erkannt ist, wurden ihre Produktion und ihr Einsatz zunächst in den westlichen und dann nach und nach in allen Ländern eingestellt. Ersatzstoffe wurden entwickelt, geprüft und eingeführt.

Am Beispiel der FCKW wird deutlich, dass technischer Fortschritt immer auch Risiken in sich birgt, die nicht sofort erkannt werden können. Um die Risiken bei neuen technischen Entwicklungen möglichst gering zu halten, müssen wir aus den Erfahrungen und dem Wissen unserer Vorgänger lernen.

Die Ozonverteilung über der Erde



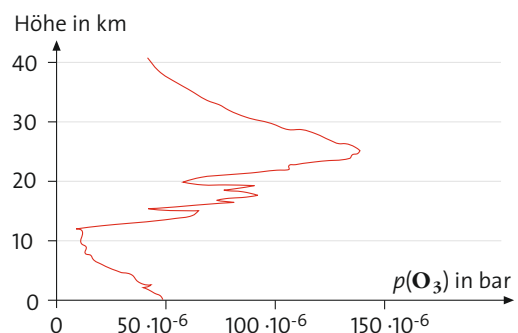
B3 Aus vielen Messdaten wird für jeden Tag ein solches Diagramm der Ozonkonzentration in der südlichen und in der nördlichen Hemisphäre erstellt. 1 DU (Dobson Unit) entspricht einer Ozonschichtdicke von 0,01 mm, gemessen bei $T = 0^\circ\text{C}$. Das „Rekordozonloch“ wurde über dem Südpol am 24. September 2006 registriert.

Aufgaben

A1 Informieren Sie sich in *Chemie 2000+ Online* über die aktuelle Ozonkonzentration in der südlichen und in der nördlichen Hemisphäre. Vergleichen Sie die aktuellen Werte mit denen aus B3.

A2 Erläutern Sie, warum das „Ozonloch“ immer in den Monaten September und Oktober über dem Südpol auftritt und warum die Ozonkonzentration über der Arktis in den Monaten Februar und März Tiefstwerte erreicht.

A3 Begründen Sie, warum das in Bodennähe gebildete Ozon nicht nach dem Chapman-Zyklus gebildet werden kann. Geben Sie an, welche Bedingungen zum Ozon-smog in der Troposphäre führen (*Hinweis*: vgl. S. 107).



B4 Vertikales Ozon-Profil