

## Treibhauseffekt und Ozonloch

### Die treibende Kraft

Ohne Treibmittel keine Spraydose, kein Sprühstrahl! Das ist Grund genug, die Treibmittel näher zu beleuchten. Treibmittel sind Gase. Sie halten den Druck im Inneren der Spraydose immer konstant, sodass der Wirkstoff (Haarfestiger, Lack etc.) bis zum letzten Tropfen genutzt werden kann. Lange Zeit galten Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) als die besten Treibmittel. Sie sind weder brennbar noch giftig, und da sie nur äußerst selten mit anderen Stoffen chemisch reagieren, erschienen sie als harmlos und unschädlich für die Umwelt. Heute weiß man, dass diese Verbindungen – auch Treibhausgase genannt - an der Zerstörung der schützenden Ozonschicht in der Atmosphäre mitwirken. Aus diesem Grund beschloss die europäische Aerosolindustrie im Jahr 1977 einen Verzicht auf FCKW. Ersatzstoffe sind heute verflüssigte Gase wie Propan, Butan und Dimethylether sowie komprimierte Gase wie Stickstoff, Kohlendioxid und Pressluft.

### Was ist der Treibhauseffekt?

Die kurzwelligen Sonnenstrahlen, die auf die Erde treffen, werden von der Atmosphäre (Luftmoleküle, Wolken, Wasserdampf, Staub) und der Erdoberfläche teilweise reflektiert („zurückgeworfen“, 64%), teilweise absorbiert („verschluckt“, 36%). Damit Gleichgewicht im Energiehaushalt herrscht, muss die absorbierte Strahlung die Erde in anderer Form wieder verlassen: Sie wird als langwellige Wärmestrahlung von der Erdoberfläche abgestrahlt. Ein Großteil dieser Wärmestrahlung (93%) wird selbst wieder von der Atmosphäre und den Wolken absorbiert und gelangt von dort als Wärme-Gegenstrahlung wieder auf die Erde. Nur 7% der langwelligen Strahlung gelangen in den Weltraum. Die natürlichen Gase, die für die Absorption der Wärmestrahlung in der Atmosphäre verantwortlich sind, sind Wasserdampf und Kohlendioxid. Der Treibhauseffekt ist im Prinzip ein vollkommen natürliches Phänomen und für das Leben auf der Erde notwendig, da auf diese Weise die Lufttemperatur an der Erdoberfläche erhöht wird. Ohne Treibhauseffekt würde die durchschnittliche Temperatur auf der Erde etwa minus 18 Grad Celsius betragen.

- **Der künstliche Treibhauseffekt**

Durch die Menschen gelangen zusätzlich Treibhausgase in die Atmosphäre, vor allem Kohlendioxid (durch Verbrennung von Kohle, Erdöl, Erdgas, Holz) und Kohlenwasserstoffe (aus Verkehr und Industrie). Durch diese Gase wird mehr langwellige Strahlung von der Atmosphäre absorbiert, weniger als 7% gelangen in den Weltraum, mehr als 78% werden als Gegenstrahlung zur Erde zurückgesandt, wodurch sich die Lufttemperaturen an der Erdoberfläche erhöhen. Dieser zusätzliche Treibhauseffekt muss reduziert werden, sonst könnte in den nächsten 50 Jahren die Durchschnittstemperatur auf der Erde um 2-5 Grad Celsius ansteigen. Folgen davon wären Abschmelzen des Poleises, Anstieg des Meeresspiegels, Überschwemmungen an den Küsten, Trockenheit und Dürre im Inneren der Kontinente.

- **GWP (= Global Warming Potential)**

Das „GWP“ ist die Maßeinheit für den Beitrag eines Treibhausgases zur Erwärmung der Atmosphäre. Basis ist das GWP von CO<sub>2</sub>, das gleich "1" gesetzt wird. Beispielsweise hat FCKW-11, das für die Industrie sehr wichtig war, ein GWP von 5000. Das heißt, 1 kg FCKW-11 wirkt wie 5000 kg CO<sub>2</sub>!

(Quelle: [http://www.greenpeace.de/GP\\_DOK\\_3P/BROSCHUE/ARGUMENT/C08AR01.HTM](http://www.greenpeace.de/GP_DOK_3P/BROSCHUE/ARGUMENT/C08AR01.HTM))

- **Die Wirkung von Aerosolen**

Durch menschliche Aktivitäten wird auch der Gehalt von Aerosolen in der Atmosphäre erhöht. Diese in der Luft befindlichen Partikel reflektieren die Sonnenstrahlen und haben daher einen eher abkühlenden Effekt. Andererseits können diese Partikel die Wolkenbildung verstärken und auf diese Weise indirekt zur Erwärmung beitragen.

## Wirkung von FCKWs auf die Ozonschicht

Weitere Informationen über Ozon siehe Kapitel „Körperpflege“/Haut (Oberstufe / Arbeitsblatt 7 & Overheadfolie 3)

Die Atmosphäre besteht aus mehreren, deutlich voneinander abgegrenzten Schichten. Die unterste Schichte, die Troposphäre, ist etwa 15 km hoch. Es folgt eine Grenzschicht (die Tropopause), und darüber befindet sich bis in eine Höhe von rund 50 km die Stratosphäre. Die Stratosphäre besteht aus verschiedenen Gasen, von denen Ozon hier in höherer Konzentration vorkommt als in der Troposphäre, man spricht von der „Ozonschicht“.

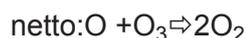
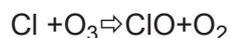
Ozon hat die Eigenschaft, UV-Strahlen zu filtern, sodass nur mehr ein minimaler Teil dieser energiereichen, gefährlichen Strahlen zur Erdoberfläche kommt. Erst durch die Ozonschicht ist überhaupt ein Leben auf der Erde möglich!

Seit Anfang der 80-er Jahre beobachten Forscher über dem Südpol ein „Loch“ in der Ozonschicht, das heißt, dass die Ozonkonzentration dort geringer ist als in anderen Teilen der Ozonschicht. Ursache für das Ozonloch sind vermutlich vom Menschen erzeugte Schadstoffe, wie beispielsweise FCKWs.

- **Die zerstörerische Kettenreaktion**

FCKWs werden erst nach hundert und mehr Jahren restlos abgebaut. Genug Zeit, um sich in der Luft anzureichern und langsam bis in die höchsten Schichten der Atmosphäre aufzusteigen. Dort, unter UV-Bestrahlung, werden sie wirksam: In einer Art Kettenreaktion wird aus einem FCKW- Molekül ein Chloratom (Cl, ein sogenanntes Chlor-Radikal) freigesetzt, welches dann ein Ozonmolekül (O<sub>3</sub>) angreift. Es entsteht ein normales Sauerstoffmolekül (O<sub>2</sub>) und Chlormonoxid (ClO). Chlormonoxid verbindet sich in der Folge mit einem freien Sauerstoff (O), wobei wieder ein Chloratom freigesetzt wird – das wiederum ein Ozonmolekül zerstört.

Die chemische Gleichung zu dieser Reaktion sieht so aus:



- **Was passiert über dem Südpol?**

Die stratosphärische Ozonkonzentration wird in sogenannten Dobson-Einheiten (Dobson unit, DU) angegeben. Die Ozonmenge in DU ist jene Menge an Ozon, die man in einer Luftsäule vorfindet, die vom Erdboden bis zur Obergrenze der Atmosphäre „herausgeschnitten“ wurde. Nimmt man aus dieser Luftsäule alles Ozon heraus, bleibt eine Ozonsäule von wenigen Millimetern übrig. Die Höhe dieser Schicht liefert dann den Zahlenwert für die Ozonmenge in DU: 1 mm Schichthöhe entspricht einem Wert von 100 DU. Im Mittel kommt Ozon in einer Konzentration von etwa 310 DU in der Atmosphäre vor. Von einem „Ozonloch“ spricht man, wenn der Wert unter 200 DU sinkt.

Allerdings unterliegen die Ozonverluste einem deutlichen Jahresrhythmus: Über der Antarktis bildet sich im Winter in der polaren Dauernacht ein stationärer Tiefdruckwirbel (Vortex), der mangels Sonnenwärme auf Temperaturen unter  $-80$  Grad C auskühlt. Er bleibt bis zum antarktischen Frühling stabil. Dieser Kältewirbel schottet die Polarregion gegen den Zustrom ozonreicherer und wärmerer Luft ab, da die Winde um den Wirbel herumströmen. Die isolierte Stratosphäre ist so kalt, dass sich sogenannte Polare Stratosphärische Wolken bilden (Polar Stratospheric Clouds, PSC). Die PSCs bestehen vor allem aus gefrorenem Wasserdampf und Salpetersäure ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{HNO}_3$ ) und ermöglichen den schlagartigen Ozonabbau im Frühling.

Entscheidend sind die chemischen Reaktionen an der Oberfläche der PSCs.

Normalerweise sind Chlor- und Brom-Atome in stabilen Verbindungen gebunden (z.B.  $\text{ClONO}_2$ ). An den PSCs zersetzen sich diese Gase in der Weise, dass Stickoxid ( $\text{NO}_2$ ) an die PSCs gebunden wird (in Form von Salpetersäure  $\text{HNO}_3$ ), und die Chlor-Atome (bzw. Brom-Atome) als Gas (z.B.  $\text{Cl}_2$ ) freigesetzt werden. Während der Polarnacht sind molekulares Chlor und Brom für Ozon zwar harmlos, aber sie bleiben mit den Ozonteilchen durchmischt in der Stratosphäre.

Anders die PSCs, welche das  $\text{NO}_2$  in sich eingelagert haben. Sie sinken in tiefere Schichten ab. Je kälter es ist und je länger die Kälteperiode dauert, umso größer und schwerer werden die PSC- Partikel und umso mehr Zeit haben sie zum Absinken. Wenn sie aus der Stratosphäre herabgesunken sind, haben sie den Spurenstoff Stickoxid ( $\text{NO}_2$ ) mitgenommen, den wichtigsten „Stopper“ reaktiver Halogene beim Ozonabbau.

Mit Aufkommen der ersten Sonnenstrahlen im polaren Frühling (September/Oktober) werden die Chlor- und Brommoleküle in ihre reaktiven Atome gespalten. Diese greifen das vorhandene Ozon ungehindert an. Aufgrund der Schwäche der Sonnenstrahlung wird auch kein neues Ozon nachgeliefert, da der polare Wirbel noch stabil ist. Der Abbauprozess hält so lange an, bis es wärmer wird, wodurch sich die PSCs auflösen und der polare Kältewirbel zusammenbricht. Es strömt dann in die Polarregion massenhaft ozonreiche Luft ein, die auch Stickoxide und andere Spurenstoffe mitbringt, die den Ozon-Abbau durch die Halogene Chlor und Brom wieder stoppen.

Das Ozonloch war im September/Oktober im Jahr 2000 28,3 Millionen  $\text{km}^2$  groß - das entspricht einer Ausdehnung von fast der 3-fachen Fläche Europas.

- **Ozonloch über der Nordhalbkugel?**

Auch über der Nordhalbkugel wird seit Jahren eine zunehmende Ausdünnung der Ozonschicht beobachtet. Allerdings sind über dem Nordpol die Bedingungen, die im Frühling zum schlagartigen Ozonabbau führen, nicht so stark ausgeprägt wie über dem Südpol: Der Polarwirbel ist nicht so stabil, die Temperaturen in seinem Innern sinken nicht so tief ab. Das verringert die Bildung von PSCs.

Zwar sind die Ursachen für das Ozonloch sehr kompliziert, aber der Zusammenhang von FCKWs als Quelle für die zerstörerischen Chlor-Radikale ist wissenschaftlich erwiesen. Deshalb ist es wichtig, den Einsatz von FCKWs zu stoppen und geeignete Ersatzstoffe zu finden.

- **Wo FCKWs verwendet wurden**

Hauptanwendungsbereiche von FCKWs waren die Kältetechnik (Kühlschränke, Kühlanlagen, Klima- anlagen), Lösungsmittel (z.B. chemische Reinigung), Kunststoffherstellung aus Hartschaum (z.B. Isolierungen) und Weichschaum (z.B. Verpackungen) und die Aerosolindustrie. Eine spezielle Form der FCKWs, die Halone, enthalten außer Fluor und Chlor auch Brom. Halone wurden als Feuer- löschmittel eingesetzt.

Seit es Hinweise darauf gibt, dass FCKWs die Ozonschicht zerstören, hat die europäische

Aerosolindustrie auf den Einsatz von FCKWs freiwillig verzichtet. Seit Ende der 80-er Jahre (Montreal-Protokoll, siehe Kapitel „Klimaschutz geht jeden an“) sind FCKWs als Treibmittel in vielen Ländern, auch in Österreich, verboten. Heute werden sie nur mehr dort eingesetzt, wo es keine sinnvollen Ersatzstoffe gibt, z.B. in medizinischen Sprays wie Asthasprays.

- **Ersatzstoffe für FCKWs**

- ⇒ Verflüssigte Gase wie Propan, Butan und Dimethylether. Diese Gase werden unter großem Druck flüssig, wodurch eine größere Menge an Gas in eine Spraydose passt. Sobald der Spray verwendet wird, wird ein Teil des verflüssigten Treibgases gasförmig und nimmt den Platz des versprühten Produkts ein. Auf diese Weise bleibt der Druck im Inneren der Spraydose konstant. Nachteil dieser Treibgase ist, dass sie brennbar sind.
- ⇒ Komprimierte Gase wie Stickstoff, Kohlendioxid und Pressluft werden vor allem in Haushaltsprodukten verwendet. Ihr Nachteil ist, dass der Druck im Behälter immer geringer wird. Das Wirkstoff-Treibgas-Gemisch muss in diesem Fall sehr genau abgestimmt sein, damit die Spraydose völlig geleert werden kann.

- **Bedenkliche Ersatzstoffe**

- ⇒ Bei teilhalogenierten FCKW (H-FCKW) sind neben Halogenen (Chlor, Fluor, Brom) auch andere Atome (vor allem Wasserstoff) mit dem Kohlenwasserstoff verknüpft. Die Wirkung auf die Ozonschicht ist dadurch zwar geringer, aber keinesfalls vernachlässigbar. Verwendet werden H-FCKW vor allem in Kältemitteln und für Kunststoffverschäumungen. Laut Ausstiegsplan des Montreal-Protokolls ist der Einsatz von H-FCKW in Industrieländern noch bis 2030, in Entwicklungsländern noch bis 2040 erlaubt.
- ⇒ Die FKW sind Fluor-Kohlenwasserstoffe ohne Chlor. Sie sind nicht ozonschädlich, fördern aber massiv den Treibhauseffekt - FKW wirkt 3000 Mal stärker als Kohlendioxid. In der Aerosolindustrie werden FKW nicht verwendet, Hauptanwendungsbereiche sind Kühlsysteme (Klimaanlagen, Autoklimaanlagen, Kühlschränke). Für den Einsatz von FKWs gibt es bislang keine allgemein gültigen Regelungen, geschweige denn Ausstiegstermine.

## Pumpen statt spraysen – Die Lösung?

Für viele Produkte gibt es an Stelle der Verwendung von Treibgasen mechanische Pumpsysteme. Alle diese alternativen Systeme haben eines gemeinsam: Die Arbeit, die sonst von einem Treibgas geleistet wird, muss durch Handdruck bei oder vor der Benutzung geleistet werden. Beispiele für Pumpsysteme sind:

- ⇒ Sprühpistolen und Sprühpumpen
- ⇒ für Schaum die sogenannten Foamer. Beim Zusammenquetschen der Flasche wird der Wirkstoff mit Luft vermischt und aufgeschäumt.
- ⇒ Beim sogenannten Air-Spray-System muss der Benutzer zuerst den Behälter aufpumpen, dann kann gesprayed werden.

- **Die Vorteile und Nachteile**

### *Spraypackung*

- Die Treibmittel sind oft zugleich Lösungsmittel. Bei manchen Produkten, wie z.B. Haarspray ist dies notwendig, um ein Verklumpen zu vermeiden.
- Die Verteilung der Wirkstofftröpfchen ist feiner als bei Pumpsystemen.
- Bei Sprayventilen besteht ein geringerer Materialbedarf als bei relativ aufwändigen mechanischen Pumpen.
- Aufgrund der notwendigen hohen Sicherheitsvorschriften bei Spraydosen (Behälter

stehen unter Druck, Treibgase sind brennbar) ist eine Wiederverwertung nicht möglich. Beschädigte Behälter oder Ventile könnten den Verbraucher gefährden.

### *Pumpsysteme*

- Die Verteilung der Wirkstofftröpfchen ist aufgrund der größeren Tröpfchen ungleichmäßiger.
- Wiederbefüllung ist möglich (Mehrwegverpackungen). (Achtung: Hier kann es leicht zu Missbrauch kommen!)
- Sind nur mit Wirkstoff gefüllt und sind daher wesentlich leichter zu lagern und zu handhaben.
- Durch die Zusammensetzung aus unterschiedlichen Materialien gestaltet sich die Entsorgung oft schwierig.

### **Internet-Links:**

Klimawandel, Treibhauseffekt, Ozonloch

<http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/klimaaenderungen-weltweit.htm>

<http://www.umweltbundesamt.org/dzu/default.html> (Rubrik „Klima“) - Umweltbundesamt Deutschland, zahlreiche Artikel zu Klima- und Umweltthemen, Auswirkungen menschlicher Aktivitäten auf Klima, Treibhausgase und Klimaerwärmung.

<http://www.klimaschutz.de/kbklima/> - Verschiedene Aspekte zum Thema Klimaschutz.

[http://www.greenpeace.de/GP\\_DOK\\_3P/HINTERGR/C09HI24.HTM](http://www.greenpeace.de/GP_DOK_3P/HINTERGR/C09HI24.HTM) - Treibhauseffekt.

<http://www.g-o.de/index21.htm> - dort Themengruppe „Umwelt“ anklicken und Thema „Ozonschicht in Gefahr“ auswählen. Anschauliche Information über die Ozonschicht, Beschreibung der Reaktion von FCKW und Ozon.

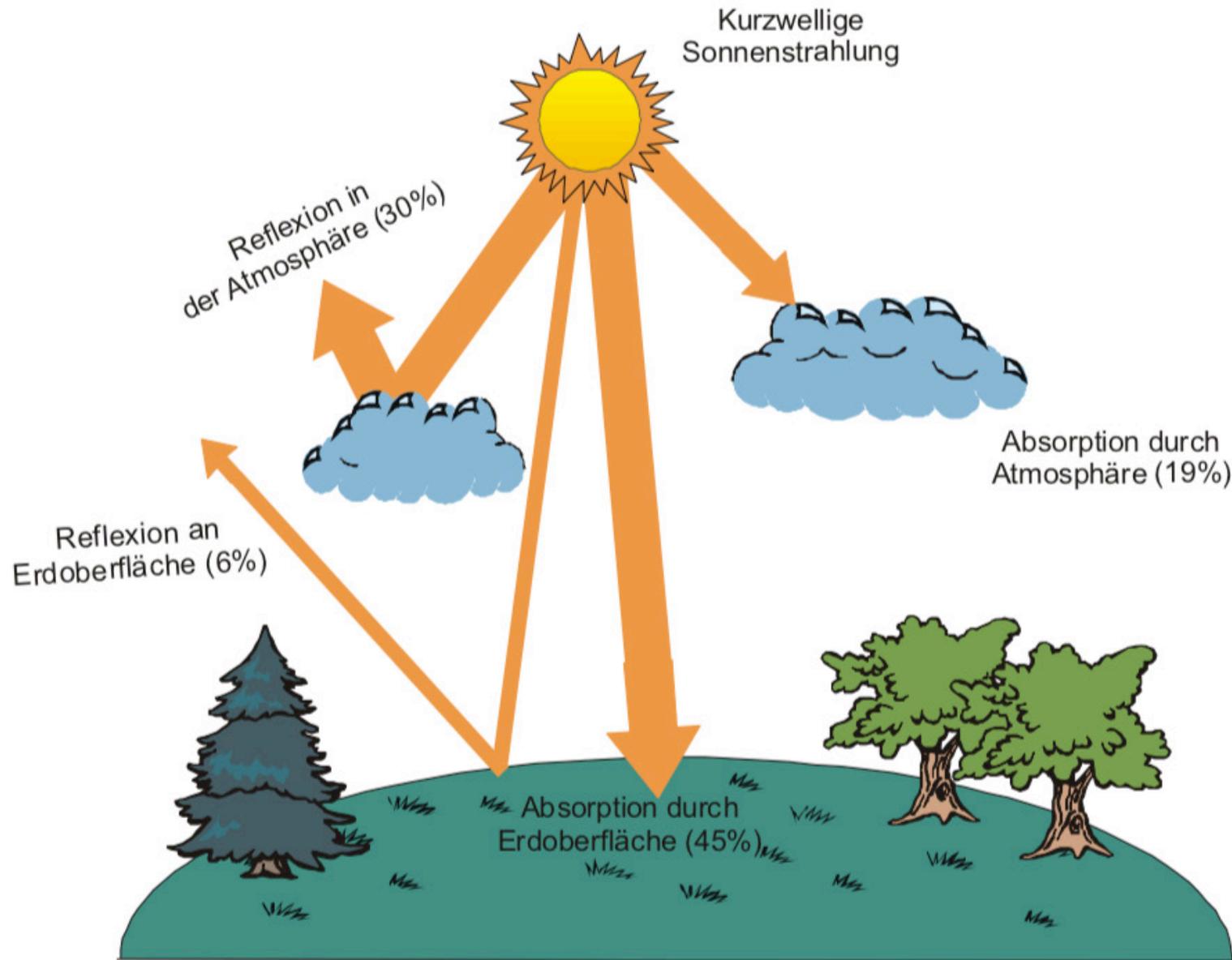
<http://www.zeit.de/Schwerpunkte/Wissen/Klimawandel/Beschreibung.html> - Artikel aus der Zeitschrift „Die Zeit“ zu den Ursachen und Auswirkungen des Klimawandels und weiterführende Links (unter anderem zu den aktuellen Forschungsberichten).

<http://oekorecherche.de/deutsch/o3.html> - Erklärung der Entstehung des Ozonlochs im Polarwinter, Statistiken.

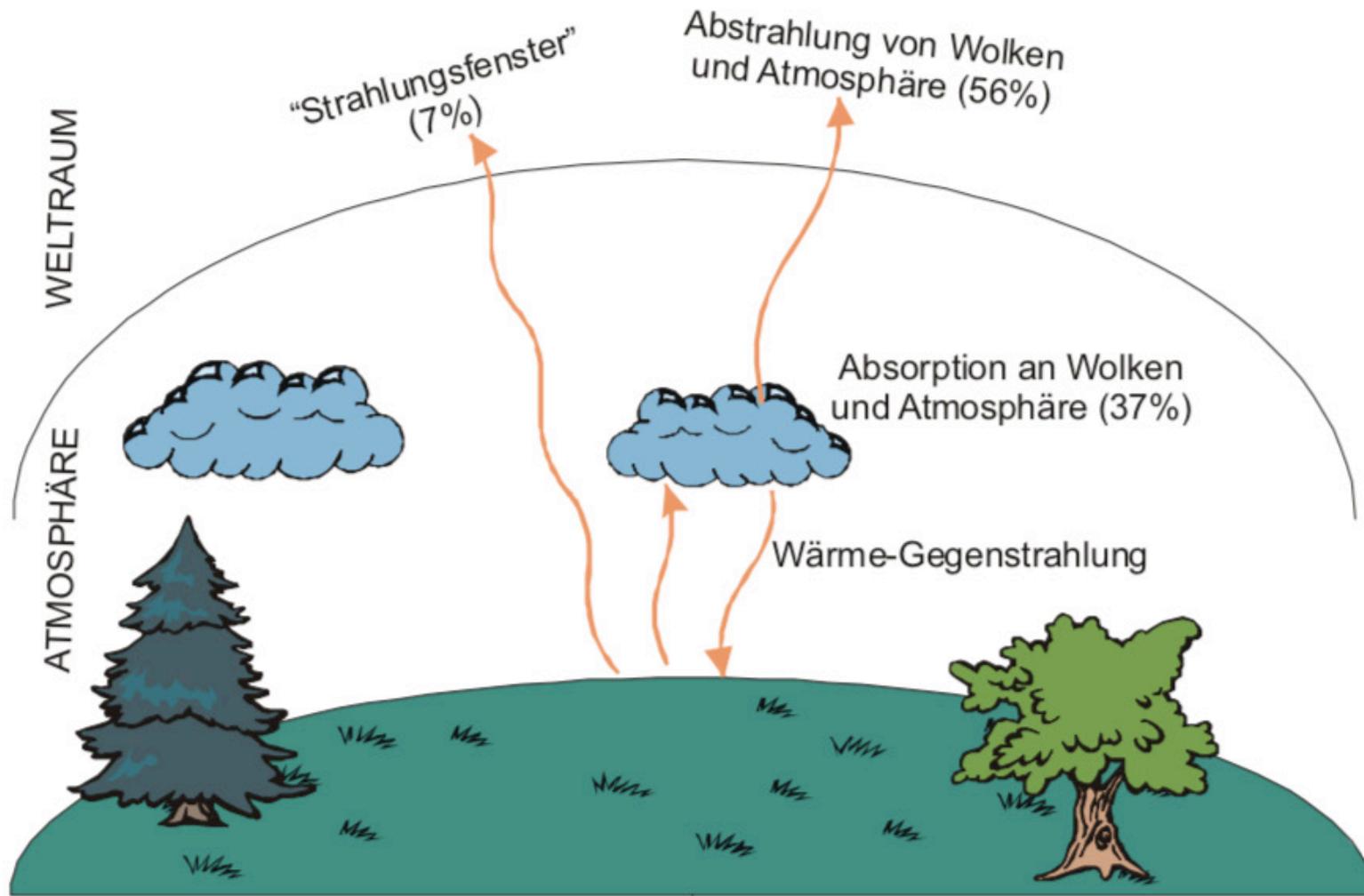
<http://www.umweltministerium.bayern.de/service/umwberat/ubbozs.htm> - Erklärungen zu Ozonschicht, Ozonloch, Ozonabbau.

<http://toms.gsfc.nasa.gov/index.html> - aktuelle Daten zur Ozonschicht, täglich aktualisiert.

<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/stratosphere/sbuv2to/> - aktuelle Daten zum Ozonloch.



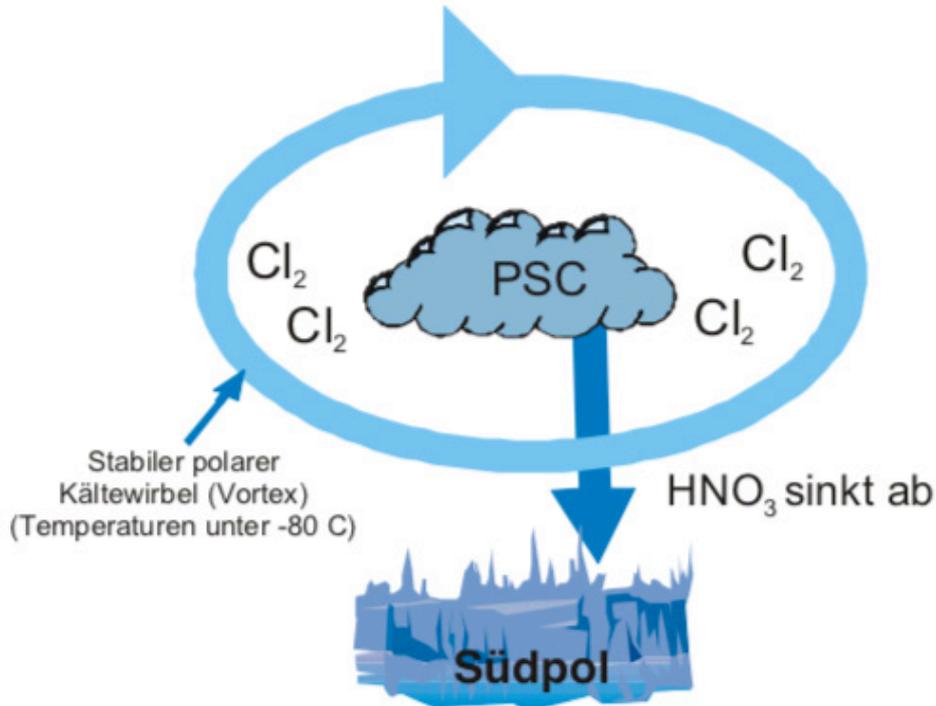
Kurzwelliger Strahlungsfluss im System Erde - Atmosphäre: 36% Reflexion, 64% Absorption



— Absorbierte Strahlung wird als langwellige Wärmestrahlung abgestrahlt

Langwelliger Strahlungsfluss im System Erde - Atmosphäre:  
37% der Wärmestrahlung verbleiben in der Atmosphäre.

### Winter (Mai - August)



### Zeitiges Frühjahr (September/Oktober)

