



Milieurapport Vlaanderen

MIRA

Themabeschrijving

Aantasting van de ozonlaag

Milieurapport Vlaanderen

MIRA **Themabeschrijving** **Aantasting van de ozonlaag**



Coördinerende auteurs:

Nathalie Dewolf en Hugo Van Hooste, MIRA, VMM

Laatst bijgewerkt: *juni 2013*

Woord vooraf

De doelstellingen van MIRA (Milieurapport Vlaanderen) zijn driedelig: (1) de wetenschappelijke basis verschaffen voor het Vlaamse milieubeleid, (2) het maatschappelijk draagvlak versterken door het verhogen van het milieu-inzicht en (3) de Vlaamse kennisbasis afstemmen op internationale standaarden. Het document Themabeschrijving wil bijdragen aan deze doelstellingen door het ter beschikking stellen van een kernachtige en toegankelijke beschrijving van de milieuthema's die door MIRA behandeld worden. Deze informatie moet de gebruiker de nodige achtergrondinformatie verschaffen bij de raadpleging van de milieu-indicatoren.

De beschrijving is gestructureerd volgens de zogenaamde milieuverstoringsketen of DPSI-R keten die de oorzaak en de gevolgen van de milieuverstoringen in beeld brengt. DPSI-R staat voor Driving Forces (maatschappelijke activiteiten), Pressure (druk), State (toestand), Impact (gevolgen) en Respons (beleidsrespons). Het document bevat zoveel mogelijk de laatste stand van zaken van de wetenschappelijke kennis.

Bronvermelding bij overname informatie

Overname van informatie uit dit document wordt aangemoedigd mits bronvermelding.

Hoe citeren?

Kort: MIRA Themabeschrijving Aantasting van de ozonlaag (www.milieurapport.be)

Volledig: MIRA (2013) Milieurapport Vlaanderen, Themabeschrijving Aantasting van de ozonlaag. Dewolf N. & Van Hooste H., Vlaamse Milieumaatschappij, www.milieurapport.be

Inhoudsopgave

Beschrijving van de verstoring	5
Algemeen.....	5
Ruimtelijk perspectief.....	5
Tijdspectief.....	5
Ozonafbrekende stoffen	6
Voornaamste ozonafbrekende stoffen.....	6
Wetgeving uitfasering productie en gebruik ozonafbrekende stoffen.....	7
Mechanismen van de interactie met ozon	8
Ozon in de atmosfeer.....	8
Evenwichtssituatie in de globale stratosfeer	8
Ozonverdunding in de globale stratosfeer	9
Gevolgen van de verstoring	10
Gezondheid.....	10
Ecosystemen	10
Economie	11
Verbanden met andere milieuthema's.....	11
Fotochemische luchtverontreiniging	11
Klimaatverandering	11
Referenties	13
Lijst met relevante websites	13
Begrippen	13
Afkortingen.....	14
Scheikundige symbolen	15

Beschrijving van de verstoring

Algemeen

De *ozonlaag* is een luchtlaag in de atmosfeer en meer bepaald in de stratosfeer op een afstand van 15 tot 30 km van de aarde. Deze laag wordt de ozonlaag genoemd omdat hierin relatief veel ozon (O₃) aanwezig is. Ozon is een sterk reactieve, onstabiele verbinding van drie zuurstofatomen. De ozonlaag filtert een belangrijk deel van de schadelijke ultraviolette straling (UV) uit het invallende zonlicht en beschermt zo het leven op aarde.

De *aantasting van de ozonlaag* werd voor het eerst vastgesteld in de jaren 80 en heeft twee oorzaken. Ten eerste kunnen vulkaanuitbarstingen zorgen voor een (weliswaar tijdelijke) verdunning van de ozonlaag als gevolg van aerosoldeeltjes die gevormd worden bij de emissie van zwaveldioxide (SO₂). Ten tweede leiden bepaalde menselijke activiteiten tot een afname van de dikte van de ozonlaag (IPCC, 2005). De uitstoot van chloor- en broomhoudende verbindingen zorgt voor afbraak van de ozon in de stratosfeer. Ozonafbrekende stoffen werden of worden nog steeds, in beperkte mate, door de mens in verscheidene toepassingen gebruikt.

De aantasting van de ozonlaag kan in beeld gebracht worden door de evolutie van de dikte van de ozonlaag te onderzoeken. De *dikte van de ozonlaag* op een bepaalde plaats is de dikte van de laag die overblijft als alle ozon uit de verticale kolom doorheen de atmosfeer boven die plaats onder een druk van 1 atmosfeer gebracht wordt bij 0 °C. De dikte wordt uitgedrukt in Dobson Eenheden (DE).

In het Montreal Protocol van 1987 werd door de werelddelegaties een eerste initiatief genomen om de productie en het gebruik van bepaalde ozonafbrekende stoffen aan banden te leggen. Sindsdien werden diverse internationale stappen gezet om tot een volledige uitfasering van een aantal ozonafbrekende stoffen te komen. Een mogelijk herstel van de ozonlaag zal echter zeer traag verlopen mede door het feit dat sommige ozonafbrekende stoffen pas na tientallen, soms honderden jaren uit de atmosfeer verdwijnen (UNEP, 2012).

Ruimtelijk perspectief

De aantasting van de ozonlaag is een mondiaal probleem. Het wordt veroorzaakt door de landen die gechloreerde en/of gebromeerde koolwaterstoffen op industriële schaal produceren, op de markt brengen en gebruiken. De emissie van deze gechloreerde en gebromeerde koolwaterstoffen vindt zeer verspreid plaats. De ozonafbrekende stoffen verplaatsen zich - door winden en andere luchtbewegingen - langzaam vanaf het aardoppervlak naar de stratosfeer, ondanks het feit dat ze zwaarder zijn dan de lucht (World Meteorological Organisation, 1998).

De dikte van de ozonlaag hangt sterk af van de breedtegraad. Bij de evenaar is de ozonlaag dunner en minder onderhevig aan schommelingen. Dit is het brongebied van stratosferische ozon waar de dynamica van de atmosfeer de minste invloed heeft op de concentraties. Bij de polen daarentegen is de laag het dikst, maar tevens het meest onderhevig aan schommelingen en de invloed van de chemische afbraak. Dit komt omdat de ozon hier niet geproduceerd wordt, maar geaccumuleerd door transport vanaf de evenaar. De concentraties zijn dan ook sterk onderhevig aan dynamische schommelingen, wat de berekening van trends weer bemoeilijkt. Tegelijk wordt het meest spectaculaire effect op de ozonlaag, het zogenaamde ozongat, precies waargenomen aan de zuidpool. Recente informatie hierover is beschikbaar op de website van de Wereld Meteorologische Organisatie (<http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ozone/index.html>).

Tijdsperspectief

Door de chemische stabiliteit van de ozonafbrekende stoffen en vermits het jaren duurt voor ze de stratosfeer bereiken, bestaat er een karakteristieke tijdsspanne (gemiddeld 15 jaar) tussen de emissie en het effect. De schade die tot nog toe werd toegebracht aan de ozonlaag

is bijgevolg het resultaat van een hoeveelheid ozonafbrekende stoffen die in het verleden is geëmitteerd. Dit betekent dat de dikte van de ozonlaag nog beïnvloed zal worden in de toekomst, zelfs indien de emissie van ozonafbrekende stoffen tot nul wordt herleid.

Men verwacht dat de hoogste stratosferische CFK-concentraties bereikt werden in de periode 2000-2010. Het zal echter naar schatting nog 50 tot 70 jaar duren vooraleer de atmosferische belasting met chloorhoudende gasen zodanig verminderd is dat het gat in de ozonlaag boven de zuidpool verdwijnt (Tabazadeh A. et al., 2004).

Ozonafbrekende stoffen

Voornaamste ozonafbrekende stoffen

Verskillende maatschappelijke activiteiten lagen of liggen nog, aan de basis van de uitstoot van de verschillende ozonafbrekende stoffen:

- Chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's) en gehydrogeneerde chloorfluorkoolwaterstoffen (HCFK's) werden en worden onder andere gebruikt als koelmiddel in huishoudelijke koelkasten en diepvriezers, industriële en commerciële koelinstallaties, airco-installaties, luchtdrogers en airconditioning in auto's, autobussen en vrachtwagens.
- CFK's en HCFK's werden en worden ook gebruikt als blaasmiddel bij de productie van allerhande kunststofschuimen, onder andere comfortschuim voor vullingen van zetels en matrassen en isolerend hardschuim.
- Bepaalde CFK's dienden als drijfgas in medische dosisinhalatoren (MDI's) voor patiënten met astma of chronisch obstructieve longziekten.
- Methylbromide (CH_3Br) werd gebruikt als bodemontsmettingsmiddel in de land- en tuinbouw en als ruimte-ontsmettingsmiddel, onder andere voor containers en bloemmolens.
- Halonen (volledig gehalogeneerde koolwaterstoffen met minstens één broomatoom), onder andere halon 1211 en halon 1301, dienden als brandbestrijdingsmiddel (blusmiddel) in brandbeveiligingssystemen en blusapparaten.
- HCFK's worden, en tetrachloorkoolstof (CCl_4) werd gebruikt als solvent in verschillende toepassingen, onder andere bij droogkuis, metaalontvetting, precisie reiniging en elektronicareiniging.

De emissie van deze ozonafbrekende stoffen leidt in een later stadium tot de afbraak van ozon in de stratosfeer. Sommige ozonafbrekende stoffen verdwijnen pas na tientallen, soms honderden jaren van ozonvernietigende activiteit. Elke ozonafbrekende stof heeft een verschillend vermogen waarmee het de ozonlaag aantast. Het ozonafbrekend vermogen van een stof (ODP-waarde: *ozone depletion potential*) wordt afgewogen ten opzichte van het ozonafbrekend vermogen van CFK-11, waarvan de ODP-waarde per definitie gelijkgesteld wordt aan 1.

De meeste ozonafbrekende stoffen hebben ook een opwarmend vermogen en leveren dus een bijdrage aan de klimaatverandering. De meeteenheid om het opwarmend vermogen uit te drukken is de GWP-waarde (*global warming potential*). CO_2 , het belangrijkste broeikasgas naar hoeveelheid emissie, is hierbij het referentiegas met een GWP-waarde van 1. Een aantal ozonafbrekende stoffen hebben evenwel een GWP-waarde die vele honderden malen groter is dan die van CO_2 .

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de voornaamste ozonafbrekende stoffen, met zowel hun ODP-waarde als GWP-waarde. Chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's) en halonen hebben duidelijk de hoogste ODP-waarde. Gehydrogeneerde chloorfluorkoolwaterstoffen (HCFK's), vroeger ook 'zachte' CFK's genoemd, en fluorkoolwaterstoffen (HFK's) zijn producten die ontwikkeld werden kort nadat de schadelijke werking van CFK's aan het licht kwam. Na emissie breken HCFK's snel af in de leefomgeving, maar toch bereikt 2 tot 15 % van de reactieve chloor nog de stratosfeer zodat hun ODP-waarde niet nul is. HFK's hebben

geen schadelijke invloed op de ozonlaag - de ODP-waarde is gelijk aan nul - maar zijn wel broeikasgassen. Daarnaast is in de tabel ook de levensduur van de stoffen opgenomen.

Tabel: Eigenschappen van de voornaamste ozonafbrekende stoffen en vervangproducten

product	structuur- formule	levensduur (jaar) (c)	ODP (b)	GWP (a) (c)
<i>chloorfluorkoolwater- stoffen:</i>				
CFK-11	CFCl ₃	45	1	4 600
CFK-12	CF ₂ Cl ₂	100	1	10 600
CFK-113	C ₂ F ₃ Cl ₃	85	0,80	6 000
CFK-114	C ₂ F ₄ Cl ₂	300	1	9 800
CFK-115	C ₂ F ₅ Cl	1 700	0,60	7 200
CFK-13	CClF ₃	640	1	14 000
<i>halonen:</i>				
halon 1211	CBrClF ₂	11	3	1 300
halon 1301	CBrF ₃	65	10	6 900
halon 2402	C ₂ Br ₂ F ₄	..	6	
<i>koolstoffetrachloride:</i>	CCl ₄	35	1,1	1 800
<i>1,1,1-trichloorethaan:</i>	C ₂ H ₃ Cl ₃	4,8	0,1	..
<i>methylbromide:</i>	CH ₃ Br	0,7	0,6	5
<i>zachte HCFK's:</i>				
HCFK-21	CHCl ₂ F	2,0	0,040	210
HCFK-22	CHClF ₂	11,9	0,055	1 700
HCFK-123	C ₂ HClF ₃	1,4	0,02	120
HCFK-124	C ₂ HClF ₄	6,1	0,022	620
HCFK-141b	C ₂ H ₃ Cl ₂ F	9,3	0,11	700
HCFK-142b	C ₂ H ₃ ClF ₂	18,5	0,065	2 400
<i>HFK's:</i>				
HFK-134a	C ₂ H ₂ F ₄	13,6	0	1 300
HFK-143a	C ₂ H ₃ F ₃	53,5	0	3 800
HFK-152a	CH ₄ F ₂	1,5	0	140
HFK-125	CHF ₂ CF ₃	29	0	2 800
HFK-32	CH ₂ F ₂	5,0	0	650

(a) tijdshorizon: 100 jaar

Bron: (b) Europese Commissie (2001), UNEP (2010); (c) IPCC (1996, 2005)

Wetgeving uitfasering productie en gebruik ozonafbrekende stoffen

Krachtens de bepalingen van de EG-Verordening nr. 3093/94 is de productie van chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's), gehydrogeneerde chloorfluorkoolwaterstoffen (HCFK's), halonen, tetrachloorkoolstof (CCl₄), 1,1,1-trichloorethaan (C₂H₃Cl₃) en broomfluorkoolwaterstoffen geleidelijk beëindigd. De productie van deze gereguleerde stoffen is derhalve verboden behoudens mogelijke afwijkingen voor *essentiële toepassingen* en om in de fundamentele binnenlandse behoeften van de partijen (overeenkomstig artikel 5 van het protocol van Montreal) te voorzien. In de loop van 1999 werd onderhandeld over de verstrenging van de Europese verordening van 1994. Dit resulteerde in een

'Gemeenschappelijk standpunt' (EG) nr.19/1999, kortweg Ontwerp-Verordening 19/1999 genoemd. De nieuwe EG-Verordening nr. 2037/2000, betreffende de stoffen die de ozonlaag afbreken, werd op 29 juni 2000 goedgekeurd. Deze verordening behandelt niet enkel het *verbod op de productie en het op de markt brengen* van ozonafbrekende stoffen, maar legt ook beperkingen op *het gebruik* van ozonafbrekende producten. De verordening voorziet onder andere in een versnelde reductie van het gebruik van methylbromide (CH₃Br) en een verbod op het gebruik ervan in landbouwtoepassingen vanaf 2006, behoudens kritische landbouwtoepassingen. Voor de aanmaak, de levering en het gebruik van HCFK's zijn uitbanningschema's ingevoerd of verstrengd. Vanaf 2010 mogen producenten en importeurs geen nieuw geproduceerde HCFK's meer leveren aan personen in de Europese Unie. Vanaf 2015 mag geen enkele HCFK meer gebruikt worden voor het onderhoud van koelinstallaties. Er mogen in principe geen HCFK's meer aangemaakt worden in de Europese Unie vanaf 2026. Een actuele stand (april 2013) van de uitfasering van de verschillende ozonafbrekende stoffen in navolging van het Montreal Protocol is terug te vinden op: http://ozone.unep.org/new_site/en/montreal_protocol.php.

Het Vlaamse beleid voor ozonafbrekende stoffen krijgt vorm in de uitvoering van de acties van de Vlaamse milieubeleidsplannen (MINA-plannen). Het MINA-plan 3 werd in september 2003 goedgekeurd door de Vlaamse regering en zette de bakens uit voor het milieubeleid in Vlaanderen voor de periode 2003-2007. Het MINA-plan 3 omvatte doelstellingen in verband met het beleid rond ozonafbrekende stoffen: de emissie van ozonafbrekende stoffen tegen 2007 terugdringen met ten minste 70 % ten opzichte van de emissie in 1999 en het stopzetten van de emissie van ozonafbrekende stoffen tegen 2030, met uitzondering van de emissie van CFK's en HCFK's afkomstig van isolatiepanelen die geblazen zijn met deze stoffen.

In het MINA-plan 3+ (2008-2010) werd de emissiedoelstelling verder verstrengd, namelijk het terugdringen van de emissie in 2010 met ten minste 74,5 % ten opzichte van de emissie in 1999. In het MINA-plan 4 (2011-2015) worden geen verdere concrete doelstellingen meer vermeld.

Mechanismen van de interactie met ozon

Ozon in de atmosfeer

Ozon (O₃) is een instabiele chemische verbinding met een sterk oxiderend vermogen. Ozon is slechts in lage concentraties in de atmosfeer aanwezig. Zelfs in de stratosfeer, waar zich de grootste hoeveelheid ozon bevindt, is de concentratie kleiner dan 10 ppm. Toch speelt ozon een belangrijke rol in de atmosfeerchemie en atmosfeerfysica. Ozon heeft sterke absorptiebanden in zowel het ultraviolette (UV) als het infrarode (IR) golflengtegebied. Stratosferische ozon absorbeert invallend zonlicht bij UV-golflengtes tussen 210 nm en 320 nm. Dit beperkt de hoeveelheid UV-straling die het aardoppervlak bereikt. Bij de absorptie van de UV-straling wordt stralingsenergie omgezet in warmte. Daarom neemt de temperatuur in de stratosfeer binnen de ozonlaag niet verder af met de hoogte.

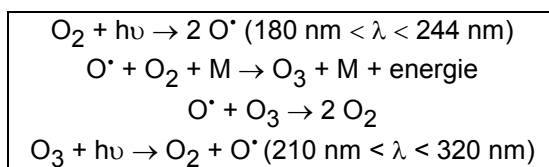
Ook lager in de atmosfeer bevindt zich ozon. De troposferische ozon absorbeert door het aardoppervlak gereflecteerd zonlicht in een brede IR-absorptieband rond 9,6 µm, wat zijn rol als broeikasgas verklaart. Hoewel ozon in de troposfeer belangrijk is bij fotochemische smogepisodes, draagt deze ozonbron weinig bij tot het totale atmosferische ozonbudget: ongeveer 90 % van de totale hoeveelheid atmosferisch ozon bevindt zich in de stratosfeer.

Een toenemende stralingsbelasting kan ook een effect hebben op de fotochemische reacties in de troposfeer, waardoor ondermeer verhoogde ozonconcentraties op leefniveau kunnen ontstaan.

Evenwichtssituatie in de globale stratosfeer

Op de stratosfeer invallende zonnestraling bestaat hoofdzakelijk uit zichtbaar en ultraviolet licht. In de bovenste stratosfeerlagen, waar de meest energetische (UV-B) straling nog niet werd weggefilterd door absorptie, is de fotochemische activiteit het hoogst. Als gevolg hiervan

treden een aantal fotochemische reacties op met moleculaire zuurstof (O_2) en het eruit gevormde ozon (O_3) als reagentia. Ozon absorbeert het zonlicht sterk bij golflengtes tussen 210 en 320 nm; moleculaire zuurstof absorbeert bij golflengtes tussen 180 en 244 nm. Als gevolg van deze absorptie komen de moleculen in een aangeslagen energieniveau terecht en dissociëren tot zogenaamde 'radicalen'. De ozonchemie is dus in eerste instantie een radicaalchemie. Volgens reactiemechanisme geeft schematisch de vormings- en dissociatiereacties weer:

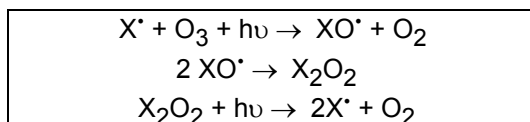


waarbij $h\nu$ staat voor een lichtkwantum en M voor een derde lichaam (deeltje of molecule) waarnaar de geproduceerde reactiewarmte wordt afgevoerd. Een reactie waarbij een lichtkwantum is betrokken, wordt een fotochemische reactie genoemd; indien deze reactie gepaard gaat met de decompositie van een molecule, spreekt men van fotolyse.

Zoals uit dit reactieschema blijkt, verbinden zuurstofradicalen (O^*), uit moleculaire zuurstof gevormd, zich met zuurstofmoleculen ter vorming van ozon. De gevormde ozon reageert zelf met zuurstofradicalen ter vorming van moleculaire zuurstof of dissocieert ter vorming van moleculaire zuurstof en zuurstofradicalen. Dit leidt tot een situatie van dynamisch evenwicht, waarbij de concentratie aan ozon quasi stationair blijft. Men kan deze quasi stationaire ozonconcentratie beschouwen als de natuurlijke achtergrondconcentratie aan ozon. Het in stand houden van deze concentratie gaat gepaard met absorptie van lichtstralen met een golflengte tussen 180 en 320 nm.

Ozonverduunning in de globale stratosfeer

Het reactiemechanisme dat leidt tot ozonverduunning in de stratosfeer wordt gekarakteriseerd door de aanwezigheid van katalytische cycli die kunnen worden geschematiseerd als (UNEP, 2010):



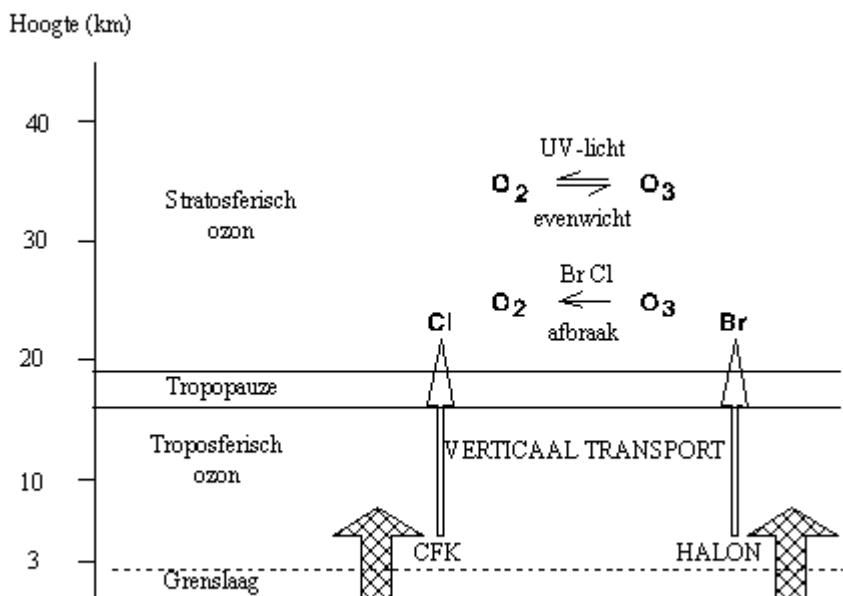
met $X = OH, NO, Cl$ of Br .

De X^* -radicalen treden op als katalysator: ze komen onveranderd uit het reactieschema vrij en doorlopen dus meermaals (in de grootteorde van enkele duizend tot enkele honderdduizend keer) een reactiecyclus. Eén chloorradicaal bijvoorbeeld kan op deze wijze een substantiële hoeveelheid ozonmoleculen vernietigen vooraleer het zelf verdwijnt via een vormingsreactie van een langlevende molecule zoals $ClONO_2$. Als gevolg van hun katalytisch karakter kunnen relatief kleine hoeveelheden reactieve chloorradicalen een belangrijk netto-effect hebben op de ozonconcentratie in de stratosfeer en deze tot onder haar natuurlijk niveau reduceren.

De X^* -radicalen (met $X = OH, NO, Cl$ of Br) ontstaan hoofdzakelijk door fotolyse van H_2O , N_2O (distikstofmonoxide of lachgas), chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's) en andere gehalogeneerde producten zoals halonen. De relatieve bijdrage van de verschillende katalysatoren tot het ozondestructieproces is een functie van de aard en hoeveelheid van de radicalen, zelf een functie van de lichtkwantumenergie en dus van de hoogte in de stratosfeer; OH en NO hebben de grootste absolute bijdrage, CFK's en halonen hebben het sterkst stijgend concentratieniveau.

De primaire bron van NO in de stratosfeer is de emissie van N₂O (in de troposfeer); H en OH ontstaan uit CH₄ (methaan) en H₂O. De Cl/ClO-cyclus ontstaat uit gechloreerde koolwaterstoffen en de Br/BrO cyclus uit gebromeerde koolwaterstoffen.

Onderstaande figuur geeft een vereenvoudigd overzicht van de interacties van CFK's en halonen met ozon.



Bron: Debruyn en Van Rensbergen (1994)

Gevolgen van de verstoring

Gezondheid

De ozonlaag filtert een belangrijk deel van de schadelijke UV-straling uit het invallend zonlicht en beschermt zo het leven op aarde. De verdunning van de ozonlaag resulteert dus in een verhoogde UV-stralingsbelasting op aarde, met schadelijke effecten voor de mens en andere organismen (Frank R. de Grijl et al., 2003)

UV-straling kan DNA en eiwitten beschadigen in de huid en de ogen, en op langere termijn huidkanker en staar veroorzaken. Alhoewel vaststaat dat UV-straling huidkanker kan veroorzaken, is nog niet precies duidelijk hoe dat gebeurt.

Een kwaadaardig (maligne) melanoom is een huidkanker die uitgaat van de pigmentcellen (melanocyten) in de opperhuid. Maligne melanomen, verder melanomen genoemd, zijn de meest agressieve vormen van huidkanker. Ze hebben de neiging om snel uit te zaaien langs de bloedbaan en via het lymfestelsel. De voornaamste oorzaak van melanomen is een overmatige blootstelling aan UV-straling (Wang S. et al., 2001). Vooral een overmatige blootstelling aan UV-straling tijdens de kinderjaren verhoogt het risico op melanomen op latere leeftijd.

Ecosystemen

De UV-straling beïnvloedt de fysiologische processen van planten en landbouwgewassen. Planten en gewassen kunnen de stralingsschade tot op zekere hoogte herstellen, maar over het algemeen zal de groei van de planten en de gewassen toch belemmerd worden. Planten en gewassen reageren verschillend op een toenemende stralingsbelasting. In de landbouw

kan dit de ontwikkeling van stralingsbestendige gewassen noodzakelijk maken. In de vrije natuur kan dit leiden tot een verandering in de samenstelling van de plantensoorten. Dit kan belangrijke secundaire effecten hebben op de samenstelling van het ganse ecosysteem. Er kan een versterkende werking bestaan tussen stralingsbelasting en andere factoren zoals verzuring. Het totale effect is moeilijk te voorspellen.

Uit onderzoek in de wateren rond de Zuidpool is gebleken dat een overmatige blootstelling aan UV-straling schade toebrengt aan het fytoplankton. Fytoplankton (algen) is een voedselbron voor allerlei waterorganismen en vormt de basis van de voedselketen in de zeeën en de oceanen. Fytoplankton neemt tevens (tijdens de fotosynthese) een belangrijk deel van de koolstofdioxide in de atmosfeer op. De ultraviolette straling brengt schade toe aan het genetisch materiaal van het fytoplankton, beïnvloedt de voortplanting en kan leiden tot afsterving. Een vermindering van de hoeveelheid fytoplankton in de zeeën en de oceanen kan leiden tot een vermindering van de biomassa voor menselijke consumptie en tot een hogere concentratie koolstofdioxide (CO₂) in de atmosfeer en zo bijdragen tot de klimaatverandering.

Een toenemende stralingsbelasting kan leiden tot een verhoogde vissterfte in het larvale stadium.

Een toenemende stralingsbelasting kan ook een effect hebben op de fotochemische reacties in de troposfeer, waardoor ondermeer verhoogde ozonconcentraties op leefniveau kunnen ontstaan.

Economie

Een aantal grondstoffen (bv. synthetische polymeren) die gebruikt worden in producten als kunststoffen en verven worden door UV-straling aangetast. Bij een toenemende stralingsbelasting kan het noodzakelijk worden om UV-stabilisatoren toe te voegen, waardoor de prijs van deze producten verhoogt. Het is niet zeker of deze UV-stabilisatoren, ontworpen voor een bepaald spectrum, dezelfde efficiëntie hebben onder een gewijzigde lichtsamenstelling. Zoals bij de andere effecten is dus ook het schatten van een kwantitatief effect op materialen met een grote onzekerheid behept.

Er is geen informatie beschikbaar over andere economische gevolgen van een toenemende stralingsbelasting (bv. mogelijk verhoogde ziekenhuiskosten).

Verbanden met andere milieuthema's

Fotochemische luchtverontreiniging

De aantasting van de ozonlaag heeft ook een invloed op de UV-stralingsintensiteit in de troposfeer. De troposfeer is de onderste laag van de atmosfeer en strekt zich in onze streken uit van het aardoppervlak tot ongeveer 6 tot 16 km hoogte. De UV-straling is mee verantwoordelijk voor een aantal fotochemische reacties met vluchtige stoffen (o.a. koolwaterstoffen) die worden uitgestoten door menselijke activiteiten. Als de UV-stralingsintensiteit in de troposfeer toeneemt als gevolg van veranderingen in de ozonconcentratie in de stratosfeer, kan dit leiden tot een verhoogde fotochemische activiteit in de troposfeer, met mogelijk een verhoogde ozonconcentratie aan het aardoppervlak tot gevolg (zie themabeschrijving Fotochemische luchtverontreiniging).

Klimaatverandering

Nagenoeg alle ozonafbrekende stoffen dragen ook bij tot het broeikaseffect (zie overzichtstabel met eigenschappen van ozonafbrekende stoffen). Bepaalde vervangproducten van CFK's en HCFK's, zoals bijvoorbeeld de HFK's (fluorkoolwaterstoffen) hebben geen ozonafbrekend vermogen (ODP=0), maar wel een aanzienlijke Global Warming Potential (GWP). Om die reden werden de HFK's samen met de PFK's (perfluorkoolstoffen)

en SF₆ (zwavelhexafluoride) mee opgenomen in het Kyoto-protocol (zie themabeschrijving Klimaatverandering).

Er zijn ook nog andere verbanden met het thema Klimaatverandering. De toename van de concentratie van broeikasgassen leidt naast een opwarming van de troposfeer tot een afkoeling van de stratosfeer (Europese Commissie, 2001). De afbraak van ozon door gechloreerde koolwaterstoffen die vooral in de lage en middenstratosfeer (15 - 25 km) gebeurt, wordt sterk beïnvloed door de aanwezigheid van stratosferische wolken. Deze wolken ontstaan wanneer de temperatuur beneden een bepaalde drempelwaarde daalt. Momenteel stelt men vast dat een relatief kleine daling van de stratosferische temperatuur kan leiden tot een aanzienlijke stijging van het aantal stratosferische wolken (zowel in duur van aanwezigheid als in de oppervlakte van de zone waarin ze voorkomen) met afbraak van ozon tot gevolg.

Temperatuursgradiënten zijn ook de drijvende krachten voor de luchtcirculatie in de stratosfeer. Aangezien luchtcirculatie in belangrijke mate de ozonconcentratie beïnvloedt (bv. de zogenaamde Dobson-Brewer-circulatie transporteert gedurende de winter grote hoeveelheden ozon van de evenaar naar de polen), moet ook hier de relatie met klimaatveranderingen aangestipt worden. Het geheel van al deze complexe interacties zijn nog niet helemaal begrepen en zeker nog niet gekwantificeerd.

Referenties

Debruyne W. & Van Rensbergen J. (1994) 'Wetenschappelijk Verslag III.1B Aantasting van de ozonlaag' bij Milieu- en natuurrapport Vlaanderen 1994; ook gepubliceerd als VITO-rapport nr. ENE.RB9418.

Europese Commissie (2001) Scientific assessment: European Research in the Stratosphere 1996-2000, Advances in our Understanding of the Ozone Layer during THESEO, Chapter 5: Stratospheric Ozone and the Link to Climate Change, 191-222.

Frank R. de Grijl, Janice Longstreth, Mary Norval, Anthony P. Cullen, Harry Slaper, Margaret L. Kripke, Yukio Takizawa & Jarv C. van der Leun, Photochem. Photobiol. Sci. (2003) 2, 16-28. Health effects from stratospheric ozone depletion and interactions with climate change.

IPCC (2005) IPCC special report on Safeguarding the ozone layer and the global climate system. Issues related to hydrofluorocarbons and perfluorocarbons.

Tabazadeh A., Cordero E.C (2004) New Directions: Stratospheric ozone recovery in a changing atmosphere. Atmosph. Env., 38, 647-649.

United Nations Environment Program, UNEP (2010) Executive summary: Scientific assessment of ozone depletion:2010,
http://ozone.unep.org/Assessment_Panels/SAP/ExecutiveSummary_SAP_2010.pdf?bcsi_scan_2ba133642188d903=0&bcsi_scan_filename=ExecutiveSummary_SAP_2010.pdf.

United Nations Environment Programme, UNEP (2012) Handbook for the Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer, ISBN 978-9966-20-009-9.

Wang S.Q., Setlow R., Berwick M., Polsky D., Marghoob A.A., Kopf A.W. & Bart R.S., Ultraviolet A and melanoma: a review (2001) J. Am. Acad. Dermatol., 44, 837-846.

World Meteorological Organisation (2003) Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002, Global Ozone research Monitoring Project-Report no47, Geneva.

Lijst met relevante websites

http://ec.europa.eu/clima/policies/ozone/index_en.htm (European Commission)

<http://ioc.atmos.uiuc.edu/> (International Ozone Commission)

http://ozone.unep.org/new_site/en/montreal_protocol.php

<http://www.eea.europa.eu/maps/ozone/welcome> (European Environment Agency)

http://www.woudc.org/index_e.html (World ozone data centre, waar ook data kunnen opgehaald worden)

<http://www.unep.org/ozone> (ozone secretariaat van het ozonprogramma van de Milieufdeling van de Verenigde Naties (UNEP))

<http://www.environment.gov.au/atmosphere/ozone/legislation/montp.html>

<http://www.epa.gov/ozone/strathome.html>

<http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ozone/index.html>

Begrippen

Broeikasgas: gas dat de opwarming van de aarde bevordert. Elk broeikasgas heeft zijn eigen opwarmend effect, relatief ten opzichte van CO₂. Enkele voorname broeikasgassen met hun opwarmend effect of 'global warming potential' (GWP): CO₂ (1), CH₄ (23), N₂O (296).

CFK-11-equivalenten: meeteenheid waarbij het ozonafbrekend vermogen van een product ('ozone depletion potential' of ODP-waarde) afgewogen wordt ten opzichte van het ozonafbrekend vermogen van CFK-11, waarvan de ODP-waarde per definitie gelijkgesteld wordt aan 1.

Chloorfluorkoolwaterstof (CFK): koolwaterstoffen waarop sommige of alle waterstofatomen zijn vervangen door chloor- en/of fluoratomen. Het zijn producten met een hoge chemische en thermische stabiliteit die als koelmiddel, blaasmiddel bij de productie van schuimen, oplosmiddel en reinigingsmiddel worden gebruikt.

Dobson eenheid (DE): de dikte van de ozonlaag op een bepaalde plaats is de dikte van de laag die overblijft als alle ozon uit de verticale kolom doorheen de atmosfeer boven die plaats onder een druk van 1 atmosfeer (1 013 hPa) gebracht wordt bij 0 °C. De dikte wordt uitgedrukt in Dobson Eenheden (DE), waarbij 1 DE gelijk is aan 0,01 mm ozondikte zoals hiervoor gedefinieerd of $2\ 686\ 10^{20}$ moleculen per m².

Essentiële toepassing: gebruik van een gereguleerde stof in een toepassing is essentieel als zij enerzijds nodig is voor de gezondheid, veiligheid of van fundamenteel belang is voor het functioneren van de maatschappij en er anderzijds geen technisch en economisch haalbare alternatieven of vervangende stoffen beschikbaar zijn die vanuit het oogpunt van milieu- en gezondheidszorg aanvaardbaar zijn.

F-gassen: groepering van gefluoreerde broeikasgassen, bestaande uit HFK's, PFK's en SF₆.

Fotolyse: chemisch afbraakproces onder invloed van licht.

Gehydrogeneerde chloorfluorkoolwaterstof (HCFK's): 'zachte' CFK's, met waterstof naast de andere elementen van de structuurformule. Ze zijn minder persistent dan CFK's en hebben een geringer ozonafbrekend vermogen.

Halonen: volledig gehalogeneerde koolwaterstofmoleculen die minstens één broomatoom bevatten. Deze producten worden voornamelijk gebruikt als brandbestrijdingsmiddel.

Klimaatverandering: wijziging van het klimaat onder invloed van de verhoogde concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer. Die verhoogde concentratie zorgt voor een toename van de gemiddelde temperatuur op aarde met verschuiving van de klimaatgordels en wijzigingen in extreme weersfenomenen tot gevolg. Kenmerken voor klimaatverandering zijn het mondiaal karakter, de grote onzekerheden verbonden met de complexiteit van het proces, de terugkoppelingsmechanismen die de processen kunnen versterken of afremmen, een potentieel voor belangrijke onomkeerbare schade, een lange verblijftijd van de gassen in de atmosfeer, een groot tijdsverschil tussen emissies en effecten en grote regionale variaties in oorzaken en zeker qua gevolgen.

Ozonafbrekende stof: stof vermeld in bijlage 1 van EG-verordening 2037/2000; stof waarvan algemeen wordt aangenomen dat het in staat is ozon in de stratosferische luchtlagen af te breken; we onderscheiden CFK's, HCFK's, HBFK's, halonen, tetrachloorkoolstof, methylbromide en 1,1,1-trichloorethaan.

Ozonafbrekend vermogen: numerieke indicatie van het vermogen van een chemisch product om ozon te vernietigen. Het ozonafbrekend vermogen wordt kwantitatief uitgedrukt aan de hand van een ODP-waarde ('Ozone Depletion Potential').

Radicaal: atoom of atoomgroep, die als een eenheid in zogenaamde elementaire reacties reageert. Radicalen hebben één of meerdere ongebonden elektronen en zijn daarom zeer reactief.

Stratosfeer: atmosfeerlaag gelegen tussen een hoogte vanaf ongeveer 6 à 16 km (afhankelijk van de meteorologische omstandigheden) en ongeveer 50 km.

Troposfeer: atmosfeerlaag gelegen tussen het grondniveau en ongeveer 6 tot 16 km hoogte (afhankelijk van de meteorologische omstandigheden).

UV-index: onbenoemd getal dat berekend wordt door de effectieve UV-straling voor zonnebrand te delen door 25. De UV-index kan nooit kleiner zijn dan 0 en heeft eigenlijk geen bovenlimiet.

UV-straling (A, B, C): voor het oog onzichtbare straling met een golflengte tussen 200 en 400 nm (UV-A: 320-400 nm, UV-B: 280-320 nm en UV-C: 200-280 nm).

Afkortingen

CFK: chloorfluorkoolwaterstof

DE: Dobson eenheid

GWP: global warming potential

HBFK: broomfluorkoolwaterstof

HCFK: gehydrogeneerde chloorfluorkoolwaterstof of 'zachte CFK's'

HFK: fluorkoolwaterstof

ODP: ozon depletion potential

MDI: medische dosisinhalatoren

PFK: perfluorkoolwaterstof
ppm: parts per million (delen per miljoen)
PU(R): polyurethaan
UV: ultraviolet
VITO: Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek
WMO: Wereld Meteorologische Organisatie
WGO (WHO): Wereldgezondheidsorganisatie

Scheikundige symbolen

Br^- : bromide
 CCl_4 : tetrachloorkoolstof
 CH_4 : methaan
 CH_3Br : methylbromide
 Cl^- : chloride
 CO_2 : koolstofdioxide
 H_2O : water
NO: stikstofoxide
 N_2O : distikstofoxide of lachgas
 O^\bullet : zuurstofradicalen
 O_2 : zuurstof
 O_3 : ozon

Terug naar Inhoudsopgave