

**Luchtverontreiniging door ozon
tijdens de zomer van 2003 in België**

Gerwin Dumont
Frans Fierens

IRCEL - CELINE
Kunstlaan 10-11
1210 Brussel

Inleiding

De uitzonderlijk warme zomer van 2003 heeft ook in België aanleiding gegeven tot de verhoogde verontreiniging van de omgevingslucht met ozon.

In een korte schematische inleiding worden de processen beschreven die betrokken zijn bij de vorming, omzetting en verwijdering van de fotochemische luchtverontreiniging.

Daarna wordt de toestand in België tijdens de zomer van 2003 geschetst en geëvalueerd in een ruimtelijk en een tijdsperspectief. Dit gebeurt aan de hand van de nieuwe concepten, streefwaarden en langetermijndoelstellingen die in de recente EU-Richtlijn betreffende ozon in de omgevingslucht (2002/3/EG) worden gehanteerd. Zowel de overlast voor de volksgezondheid wordt nagegaan, als de overlast voor akkergewassen, semi-natuurlijke vegetatie en bossen in België.

Tot slot worden de maatregelen besproken met de nadruk op de duurzame maatregelen en met wat commentaar op de zin/onzin van kortetermijnmaatregelen tijdens ozonepisodes. Daarbij wordt het ozon 'weekend'effect ter sprake gebracht.

Gerwin Dumont
Frans Fierens
17 december 2003

1 | Beschrijving van de fotochemische verontreiniging

Fotochemische luchtverontreiniging is de verontreiniging van de omgevingslucht met chemische stoffen zoals ozon (O_3), peroxyacetylnitraat, stikstofdioxide (NO_2), waterstofperoxide (H_2O_2) en andere stoffen die een oxiderende werking hebben. Deze stoffen ontstaan in aanwezigheid van stikstofoxiden (NO_x) en niet-methaan vluchtige organische stoffen (NMVOS) onder invloed van zonlicht op warme dagen. NO_x is de verzamelnaam voor NO_2 en NO en wordt gevormd door oxidatie van stikstof uit de lucht bij verbranding van brandstoffen. NMVOS komen vrij door verdamping of verbranding van brandstoffen en door verdamping van oplosmiddelen. Ozon geldt als representatieve stof voor de fotochemische verontreiniging.

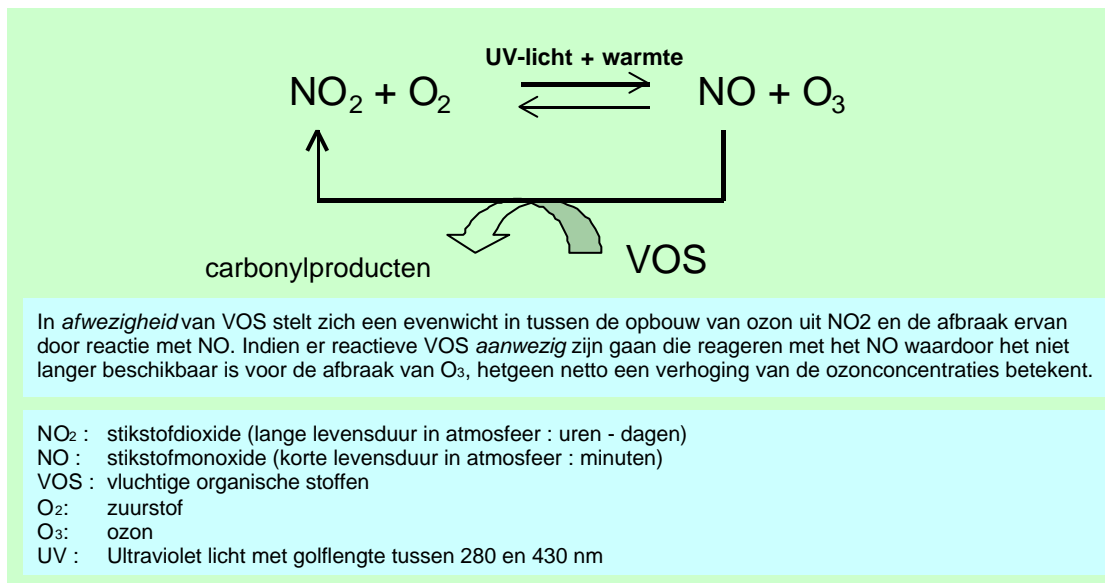
De NO_x - en de NMVOS-emissies zijn dus de voorlopers - ook precursoren genoemd - van de O_3 -verontreiniging. Ze worden voor zowat de helft door het wegverkeer geloosd. In tweede orde zijn ook de energievoorziening, de industrie en de huishoudens verantwoordelijk voor de uitstoot van deze precursoren. De vorming van ozon, als secundaire verontreiniging, kan optreden op plaatsen en in regio's die ver verwijderd zijn van de emissiebronnen. Ook omwille van aanvoer van ozon uit hogere luchtlagen heeft de fotochemische verontreiniging een sterk grensoverschrijdend karakter. Bijgevolg kan enkel een Europees gecoördineerde, grootschalige en duurzame vermindering van de uitstoot van NO_x en NMVOS de problematiek van de fotochemische verontreiniging efficiënt bestrijden. Een EU-bestrijdingsstrategie van de verzuring en de fotochemische luchtverontreiniging resulteerde in juli 2001 in een EU-richtlijn 2001/81/EG met 'National Emission Ceilings' (NEC) of Nationale Emissiemaxima (NEM) per lidstaat, gekoppeld aan een nieuwe EU-richtlijn voor ozon in de omgevingslucht 2002/3/EG waarvan de bepalingen vanaf 9 september 2003 van kracht zijn.

O_3 bezit een sterk oxiderend karakter en is schadelijk voor mensen, planten en materialen. Het heeft een negatieve invloed op de longfunctie, vermindert de opbrengst en de stressbestendigheid van gewassen en degradeert sommige materialen en kunstwerken.

1.1 ½ Mechanismen

De fotochemische processen in de atmosfeer bestaan uit honderden complexe en niet-lineaire reacties. Hieronder worden schematisch enkele basisprincipes weergegeven van de ozonvorming in de omgevingslucht.

Figuur 1: Schematische voorstelling van fotochemische ozonvorming uit de emissies van NO_x en van NMVOS onder invloed van zonlicht (UV) en hoge temperaturen.



Vorming en aanvoer van ozon

Ozon (O_3) wordt in de omgevingslucht gevormd door inwerking van UV-licht op stikstofdioxide (NO_2). In aanwezigheid van zuurstof worden daarbij stikstofoxide (NO) en O_3 gevormd. (zie figuur 1).

Naast de plaatselijke vorming en opslag van ozon in de omgevingslucht, kan ook ozonaanvoer uit andere gebieden en vanuit hogere lagen van de atmosfeer de concentratie aan de grond aanzienlijk opdrijven.

Fotochemisch evenwicht

Ozon zal door reactie met NO terug afgebroken worden waarbij opnieuw stikstofdioxide ontstaat. Globaal stelt er zich daardoor een evenwicht in tussen enerzijds de vormingsreacties en anderzijds de afbraakreacties van O_3 .

Reacties van NO , O_3 en NO_2 bepalen de concentratie van O_3 in een absoluut niet-verontreinigde atmosfeer. Afhankelijk van de beginvoorwaarden zou die in dit hypothetisch geval beperkt blijven tot een 10-tal $\mu g/m^3$.

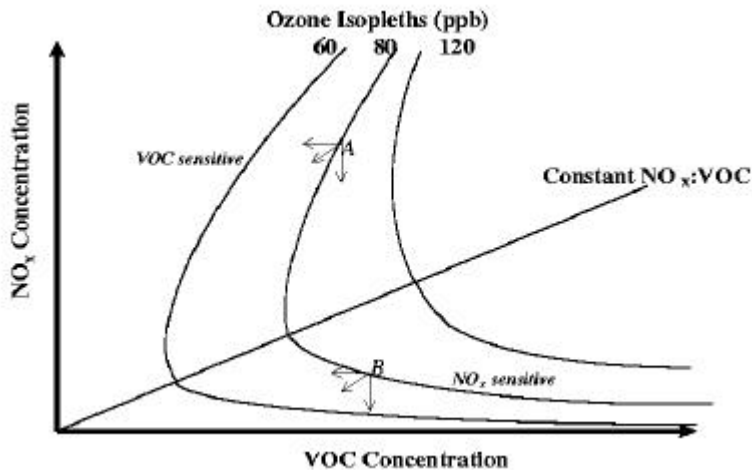
In aanwezigheid echter van luchtverontreiniging, meer bepaald van reactieve koolwaterstoffen (NMVOS) en onder de vereiste meteorologische omstandigheden (zonlicht en hoge temperatuur) wordt enerzijds een supplementaire productie van NO_2 aangemaakt en wordt anderzijds de afbraak van ozon door NO sterk afgeremd. Dit resulteert in een netto aangroei van ozon. De processen die het extra ozon aanmaken zijn complex en betreffen wel honderden soorten NMVOS, radicalen en NO_x .

Het fotochemisch evenwicht tussen ozon en stikstofdioxide is sterk beïnvloed door de eventueel overmatige aanwezigheid van stikstofoxide (NO). Het verkeer loost in eerste instantie NO , wat als dusdanig maar een tiental minuten in de lucht overleeft vooraleer het wordt omgezet naar een veel langer in de lucht verblijvend NO_2 . Het NO is dus ruim voorradig in de directe omgeving van de uitlaten van auto's, dus in verkeersdrukte binnenstedelijke zones. Daar wordt ozon door het overmatige NO meer afgebroken en omgezet naar NO_2 dan op plaatsen waar minder NO aanwezig is. **Daarom zijn de ozonconcentraties in die binnenstedelijke gebieden meestal lager dan deze op het platteland**, maar de concentraties aan stikstofdioxide zijn in de steden dan wel hoger. Op feestdagen en in het weekend (met minder autoverkeer en dus met minder NO uitstoot) gaat het fotochemisch evenwicht dan eerder de andere kant op, is er minder afbraak van ozon en verhogen de ozonconcentraties in de steden. Dit fenomeen dat zowel uit de metingen als uit modelberekeningen blijkt, wordt het ozon 'weekend'effect genoemd (zie verder)

Ozonheuvel en ozonregimes

Door de manier waarop ozon gevormd wordt is het een secundaire verontreiniging: het wordt immers niet direct door de mens in de atmosfeer gebracht maar wordt er gevormd op basis van NO_x en NMVOS. Het verband echter tussen de hoeveelheid ozon die gevormd wordt en de aanvankelijk aanwezige concentraties aan NO_x en NMVOS, is absoluut niet lineair evenredig. Dit verband wordt het best beschreven in een ozon isopleten-diagramma, zoals in figuur 2.

Figuur 2: : Het verband tussen ozon en zijn precursoren: het ozon isopleten-diagramma of "ozonheuvel"



Bron : Keating & Farrell, 1998

In de figuur wordt de aanvankelijke concentratie aan NO_x in de y-as uitgezet tegen de concentratie aan VOS in de x-as. De isopletencurves tonen dan de verschillende maximum ozonconcentraties voor elke combinatie van NO_x en VOS.

Men kan zich dit diagramma het best in drie dimensies als een heuvel voorstellen waarbij de ozonconcentraties langs een verticale z-as worden uitgezet. De isopleten vormen dan als het ware hoogtelijnen.

Het isopletdiagramma kan worden onderverdeeld in twee gebieden op basis van de heuvelkamlijn die de punten met de grootste buiging van elke isopleet onderling verbindt. Vaak is dit een lijn die een gelijke NO_x:VOC verhouding volgt (Constant NO_x:VOC). Onder deze lijn is de ozonvorming "NO_x-gevoelig": dit betekent dat vermindering van de NO_x-concentraties ook onmiddellijk een vermindering van ozon met zich meebrengt. Dit wordt geïllustreerd door op punt B in het diagramma de verticale pijl naar beneden te volgen. Boven de kamlijn bevindt zich het "VOS-gevoelig" gebied. In punt A bv. in dit gebied leidt een vermindering van VOS-concentratie wel altijd tot een vermindering van ozon (horizontale pijl naar links) maar een geringe vermindering van de NO_x-concentratie (verticale pijl naar beneden) leidt hier uitgesproken naar een hogere isopleet, naar meer ozon dus. Om tot een effectieve daling van de ozonproductie te komen in dit "VOS-gevoelig" gebied moet de NO_x-concentratie helemaal tot over de kam heen dalen tot in de andere flank : het "NO_x-gevoelig" gebied. Beide zijden van de ozonheuvel stellen een verschillend ozonregime voor met duidelijk verschillende imperatieven voor een ozon reductiestrategie.

België, samen met de in een straal van enkele honderden kilometers omringende regio's (ook "hot spot regio's" genoemd ivm met de ozonproblematiek) ligt wegens de relatief grotere NO_x-concentraties, uitgesproken in het VOS-gevoelige ozonregime (bovenste helft in figuur 2). **Dalingen in de NO_x-concentraties kunnen er een stijging van de ozonwaarden als gevolg hebben.** Nog verdere stijging van de NO_x-concentratie daarentegen (bv. in binnensteden) kunnen hier aanleiding geven tot lagere ozonwaarden: uit de metingen blijkt effectief dat de ozonconcentraties in onze steden lager zijn dan op het platteland.

Het is belangrijk om te beseffen dat het isopletdiagramma uit figuur 2 specifiek gebonden kan zijn aan een bepaalde plaats en aan specifieke meteorologische en seizoenomstandigheden. Optimale ozonbestrijdingsstrategieën kunnen dus verschillend zijn naargelang de plaats en het seizoen. In uitgestrekte verkeersarme (weinig NO_x) streken in Zuid-Europese landen met veel beplantingen (met 's zomers veel natuurlijke VOS-emissies) geldt een NO_x-gevoelig ozonregime. Ozonbestrijding daar en dan is wel gebaat door zelfs geringe vermindering van de NO_x-uitstoot, dus door verkeersbepurende maatregelen die de uitstoot van het verkeer verminderen.

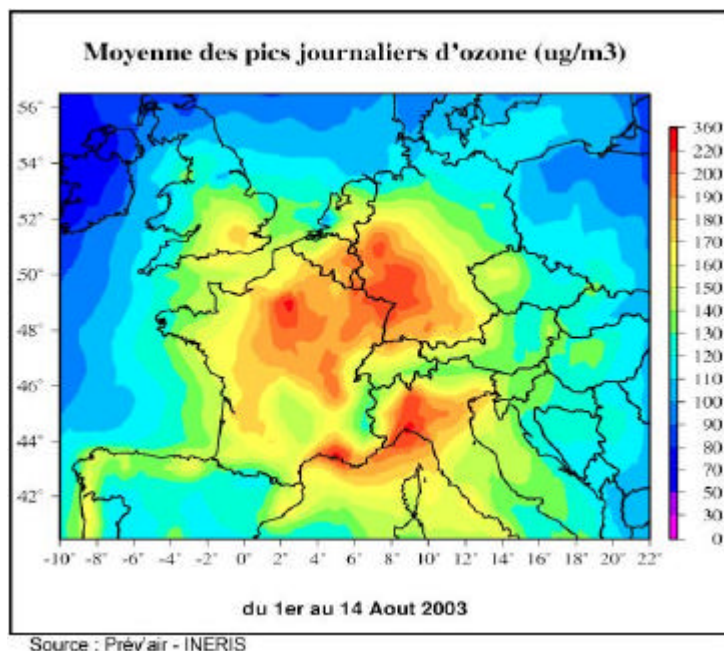
Verwijdering van ozon

Ozon verdwijnt uit de omgevingslucht voornamelijk door omzetting naar andere componenten uit het fotochemisch evenwicht (reactie 4), maar ook rechtstreeks door uitregenen, door droge depositie op de bodem en door afzetting en absorptie door de gewassen. Tot slot breekt ozon, dat een onstabiel molecule is, ook gemakkelijk af aan oppervlakken en aan zwevende deeltjes.

1.2 ½ Ruimtelijk perspectief

Episodes van fotochemische verontreiniging doen zich op *subcontinentale* schaal voor. Ze zijn gebonden aan bepaalde weertypes en aan grootschalig transport van voorbeladen luchtmassa's. Een overzichtskaart van de recente ozonepisode gedurende de eerste helft van augustus 2003 illustreert duidelijk de West-Europese dimensie van de ozonverontreiniging.

Figuur 3: Gemiddelde van de dagelijkse hoogste ozonconcentraties tijdens de eerste helft van augustus 2003 (West-Europa)



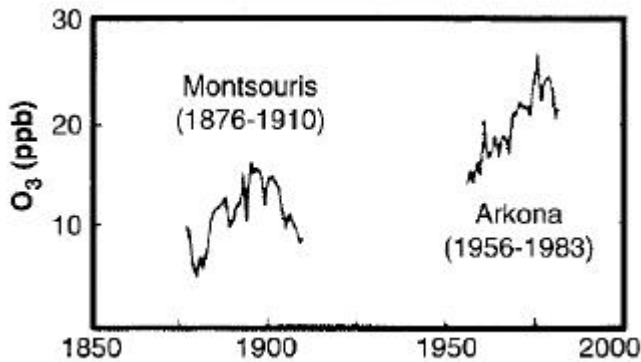
De gemiddelde waarde van de dagmaxima van ozon tussen 1 en 14 augustus 2003 duiden de "hotspot" zones aan van de ozonverontreiniging in West-Europa. Naast België, Luxemburg en het westelijk deel van Duitsland tekenden zich Parijs, de Elzas, Lyon en de Azurenkust in Frankrijk af. Milaan en de Po-vlakte in Noord Italië behoren erbij. Nederland en de Londense regio waren in mindere mate getroffen.

Tijdens de episodes kunnen zich wel regionale en lokale verschillen aftekenen maar het blijven slechts modulaties bovenop een algemeen verhoogd niveau van foto-oxidantia. De modulaties kunnen te wijten zijn aan lokale fenomenen zoals land- en zeebries in kustgebieden of mogelijk ook aan een verschil in afbraak van ozon door overmatig NO (bijv. in binnensteden afkomstig van het verkeer). Afgezien van de smogepisodes vormt de stijgende achtergrondconcentratie in de troposfeer een probleem waarvan de oorzaken en de effecten op *mondiale* schaal gesitueerd zijn.

1.3 ½ Tijdspectief

De problematiek van de fotochemische verontreiniging heeft zich voor het eerst verontrustend gemanifesteerd tijdens *smogepisodes* in Los Angeles in de jaren '50. Pas later (in Europa pas aan het begin van de jaren '80) werd ook de stijging van de achtergrondconcentraties in de vrije troposfeer en in de menglaag als alarmerend ervaren.

Figuur 4: Achtergrondniveau van ozon in de omgevingslucht op het einde van de 19^{de} eeuw (Montsouris, omgeving van Parijs) en in de tweede helft van de 20^{ste} eeuw (Kaap Arkona, Rügen eiland in de Baltische zee, Duitsland)



Uit metingen in het Montsouris Observatorium tijdens het laatste kwart van de 19de eeuw valt af te leiden dat het niveau van ozon aan de grond toen schommelde tussen 5 en 15 ppb (tussen 10 en 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). In de tweede helft van de 20ste eeuw lag dat niveau op kaap Arkona reeds twee maal zo hoog (30 tot 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

De actuele jaargemiddelde waarden van ozon aan de grond in de Belgische achtergrondstations variëren tussen 50 en 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (jaar 2003).

Bron : Finlayson-Pitts en Pitts Jr., 1997
Science 1997 Mei 16; 276: 1045-1051

<http://www.lions.odu.edu/~redwards/notes/tropospheric%20ozone.pdf>

De achtergrondconcentratie van ozon in de troposfeer (tot 10 km hoogte) bedraagt in het noordelijk halfrond nu zowat 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Volgens sommige modellen zal dit troposferisch achtergrondniveau nog verder stijgen met 1% per jaar. Het TNO-LOTOS-model berekent op mondiale schaal een stijging van de ozon in de vrije troposfeer tot 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ over 100 jaar als er geen maatregelen voor de reductie van de antropogene emissies van NO_x en NMVOS worden genomen. Indien alle antropogene emissies kunnen worden uitgeschakeld, dan daalt dit niveau weer tot 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ met alleen nog pieken tot 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. De stijgende tendens van ozon in de vrije troposfeer is onrustbarend zowel voor de toekomstige achtergrondconcentraties van O_3 aan de grond als voor de pieken tijdens zomersmog.

2 ½ Toestand in België

2.1 ½ Indicatoren en doelstellingen

Op 9 maart 2002 trad de Richtlijn 2002/3/EG van het Europees Parlement en de Raad betreffende ozon in de lucht in werking. In deze EU-richtlijn worden 2 parameters ingevoerd die de langetermijndoelstellingen en streefwaarden voor ozon kwantificeren.

1/ Voor de *bescherming van de volksgezondheid* wordt de parameter '**hoogste 8-uursgemiddelde van een dag**' ingevoerd. Met behulp van deze parameter worden drie varianten van een toestandsindicator gedefinieerd:

- een *overschrijdingsindicator*: het aantal dagen per kalenderjaar waarop het hoogste 8-uursgemiddelde van die dag groter is dan 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($\text{NET60}_{\text{ppb-max8u}}$);
- een *jaaroverlastindicator*: het overschot boven 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ van het hoogste 8-uursgemiddelde per dag, opgeteld over alle dagen van een kalenderjaar ($\text{AOT60}_{\text{ppb-max8u}}$);
- het *gemiddelde* over een jaar van het hoogste 8-uursgemiddelde per dag (GMD-max8u).

2/ Voor de *bescherming van gewassen en bossen* wordt de parameter '**AOT40_{ppb}**' ingevoerd (Accumulated exposure Over the Threshold of 40_{ppb} = 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Voor gewassen en halfnatuurlijke vegetatie wordt met deze parameter een geëigende toestandsindicator gedefinieerd voor het goeiseizoen. Voor bossen wordt een analoge toestandsindicator gedefinieerd maar die loopt over een langere accumulatieperiode : van april tot en met september.

- de *seizoenoverlast voor gewassen*: het overschot boven 80 µg/m³ van alle uurwaarden tussen 8 en 20 uur (Midden-Europese tijd) opgeteld tijdens de maanden mei, juni en juli (AOT40_{ppb}-vegetatie);
- de *seizoenoverlast voor bossen*: het overschot boven 80 µg/m³ van alle uurwaarden tussen 8 en 20 uur (Midden-Europese tijd) opgeteld tijdens de maanden april tot en met september (AOT40_{ppb}-bossen).

Tabel 1: Overzicht van de toestandindicatoren

domein	parameter	indicator
toestandsindicator voor de bescherming van de volksgezondheid:	hoogste 8-uursgemiddelde concentratie van een dag	→ <i>overschrijding</i> (NET60 _{ppb} -max8u) → <i>jaaroverlast</i> (AOT60 _{ppb} -max8u) → <i>jaargemiddelde</i> (GMD-max8u)
toestandsindicator voor de bescherming van de vegetatie:	AOT40 _{ppb}	→ <i>seizoenoverlast</i> (AOT40 _{ppb} -vegetatie ^{*1})
toestandsindicator voor de bescherming van de bossen:	AOT40 _{ppb}	→ <i>seizoenoverlast</i> (AOT40 _{ppb} -bossen ^{*2})

*1: AOT40_{ppb}-vegetatie: gecumuleerd overschot boven 80 µg/m³ van alle uurwaarden tussen 8 en 20 uur MET (Midden-Europese Tijd) tijdens de 3 maanden mei, juni en juli.

*2: AOT40_{ppb}-bossen: gecumuleerd overschot boven 80 µg/m³ van alle uurwaarden tussen 8 en 20 uur MET (Midden-Europese Tijd) tijdens de 6 maanden april tot en met september.

De doelstellingen zoals die in de EU-ozonrichtlijn 2002/3/EG zijn vermeld, staan gegroepeerd in tabel 2, met aanduiding van hun onderwerp van bescherming en hun aard (MLTD: middellangetermijndoelstelling, LTD: langetermijndoelstelling of referentiewaarde).

Tabel 2: Doelstellingen voor ozon in de lucht volgens de EU-richtlijn 2002/3/EG.

onderwerp van bescherming	aard	doelstelling
volksgezondheid	LTD	hoogste 8-uursgemiddelde van een dag ≤ 120 µg/m ³ d.i. NET60 _{ppb} -max8u = 0
	MLTD in 2010	hoogste 8-uursgemiddelde van een dag mag niet meer dan op 25 dagen per kalenderjaar 120 µg/m ³ overschrijden d.i. NET60 _{ppb} -max8u ≤ 25 (gemiddeld over 3 jaar)
gewassen en semi-natuurlijke vegetatie	LTD	AOT40 _{ppb} -vegetatie ≤ 6 000 (µg/m ³).uren
	MLTD in 2010	AOT40 _{ppb} -vegetatie ≤ 18 000 (µg/m ³).uren (gemiddeld over 5 jaar)
bossen	referentiewaarde	AOT40 _{ppb} -bossen ≤ 20 000 (µg/m ³).uren
materialen	referentiewaarde	jaargemiddelde concentratie ≤ 40 µg/m ³

In de Richtlijn staat geen doelstelling voor de jaaroverlastindicator (AOT60_{ppb}-max8u). In de EU-modelberekeningen echter (uitgevoerd door IIASA) die aan de grondslag lagen voor zowel de NEC-richtlijn als voor de ozonrichtlijn, wordt als MLTD in 2010 een vermindering

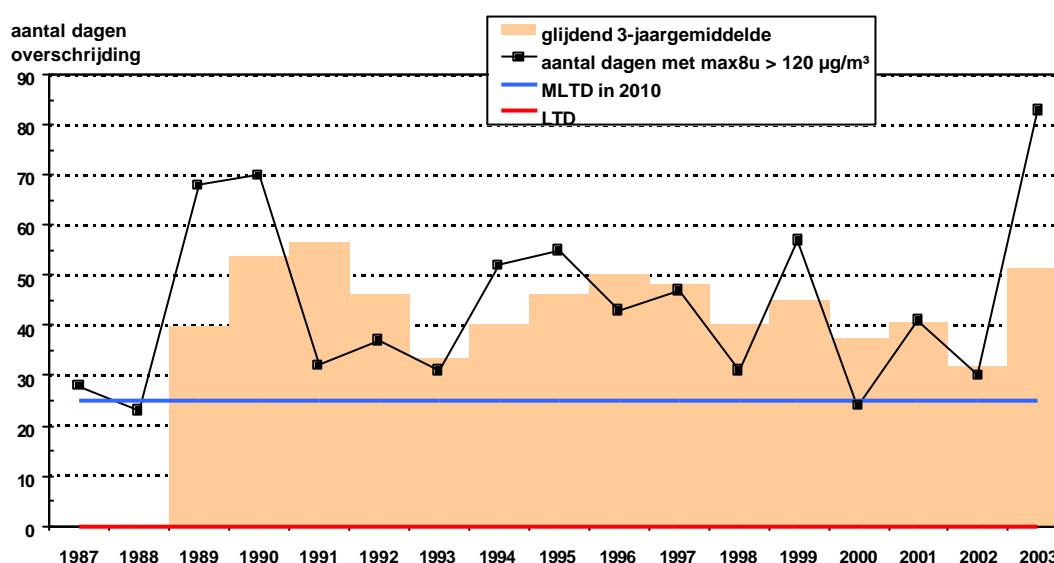
met 2/3 van de overlast van 1990 vooropgesteld met een absolute maximale jaaroverlast van 5 800 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).uren. De LTD bedraagt 0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).uren.

2.2 ½ Toestandsindicatoren voor de volksgezondheid

De overschrijdingsindicator (NET60_{ppb}-max8u) is te hoog

In de ozonrichtlijn 2002/3/EG is de langetermijndoelstelling (LTD) voor de overschrijdingsindicator gelijk aan nul: de 8-uursgemiddelde ozonconcentratie in de omgevingslucht mag op geen enkele dag nog boven 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ uitstijgen. Als middellangetermijndoelstelling (MLTD) wordt vanaf het jaar 2010, gemiddeld over 3 jaar, nog slechts 25 dagen per kalenderjaar toegestaan waarop de LTD mag worden overschreden.

Figuur 5 : Evolutie van de overschrijdingsindicator: het aantal dagen waarop het hoogste 8-uursgemiddelde groter is dan 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (NET60_{ppb}-max8u) (België, 1987-2003)



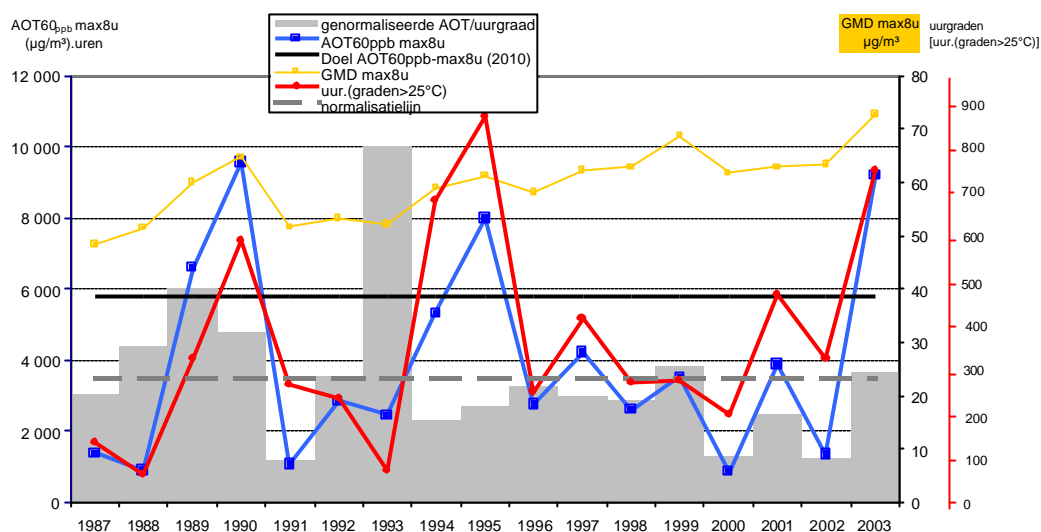
Bron: IRCEL, 2003.

In 2003 waren er in België 83 dagen waarop in minstens 1 meetstation het hoogste 8-uursgemiddelde van die dag de waarde van 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ overschreed. Sinds 1997 vertoonde het - over 3 jaar gespreid - aantal overschrijdingsdagen een daling die echter werd stopgezet in 2003. Gemiddeld over de laatste 10 jaar kwamen er in België 46 dagen per jaar voor met overschrijding van 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ door het 8-uursgemiddelde. Om de MLTD van 25 dagen in 2010 te halen zullen duurzame reductiemaatregelen in Europees verband moeten geïmplementeerd worden, zoals ze voorzien zijn om de emissienormen van de Richtlijn Nationale Emissiemaxima (NEC) 2001/81/EG te kunnen halen.

De jaaroverlast (AOT60_{ppb}-max8u) daalt maar het jaargemiddelde (GMD-max8u) stijgt

Een overschrijdingsindicator houdt geen rekening met de grootte of de duur van de overschrijding. De *jaaroverlastindicator* daarentegen sommeert over een jaar de dagelijkse verschillen van het hoogste 8-uursgemiddelde per dag met de drempelwaarde van 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (AOT60_{ppb}-max8u). Naast de jaaroverlast wordt ook een *jaargemiddelde* van de dagelijkse hoogste 8-uursgemiddelden als indicator gebruikt (GMD-max8u), omdat niet uitgesloten wordt dat bepaalde groepen van de bevolking reeds nadelige effecten kunnen ondervinden bij lagere concentraties dan die drempelwaarde. Om bij de evaluatie van de twee indicatoren te kunnen rekening houden met de meteorologische omstandigheden wordt ook het aantal uurgraden met temperaturen hoger dan 25°C gegeven, als maat voor de kwaliteit van de zomer (figuur 6).

Figuur 6: Vergelijking van het verloop van de jaaroverlastindicator (AOT_{60ppb-max8u}) en de jaargemiddelde indicator (GMD-max8u) van het hoogste 8-uursgemiddelde per dag (België, 1987-2003)



De blauwe lijn toont volgens de linkerschaal de *overlast voor de gezondheid* voor elk jaar;
 De rode lijn toont volgens de buitenste rechterschaal voor elk jaar - als maat voor de kwaliteit van de zomer - het *aantal uurgraden* met temperaturen hoger dan 25 °C (te Ukkel volgens KMI);
 De oker lijn toont volgens de binnenste rechterschaal voor elk jaar het gemiddelde van de dagelijks hoogste 8-uursgemiddelden;
 De balkjes geven per jaar de *overlast per uurgraad* weer. De waarden zijn genormaliseerd ten opzichte van het gemiddelde van de volledige voorgestelde meetreeks.

Bron: IRCEL, 2003

Uit figuur 6 blijkt dat de evolutie van de jaaroverlast en het jaargemiddelde verschillend is. Het verloop van de **jaaroverlast (som van pieken)** schommelt en volgt logischerwijze de jaarlijkse variatie in zonnestraling en temperatuur. *Sinds 1994 blijkt dat voor vergelijkbare uurgraden de ozonpiekwaarden niet meer zo'n hoge waarden aannemen als daarvoor.* Dit wordt geïllustreerd door de (genormaliseerde) overlast per uurgraad (gearceerde weergave in figuur 6). Tussen 1987 en 1993 bedraagt de gemiddelde overlast 16 (µg/m³).uren per uurgraad. In de periode 1994 tot 2003 valt dit terug op 9 (µg/m³).uren per uurgraad. Zelfs in het uitzonderlijke jaar 2003 stijgt die genormaliseerde overlast niet boven de normalisatielijn uit.

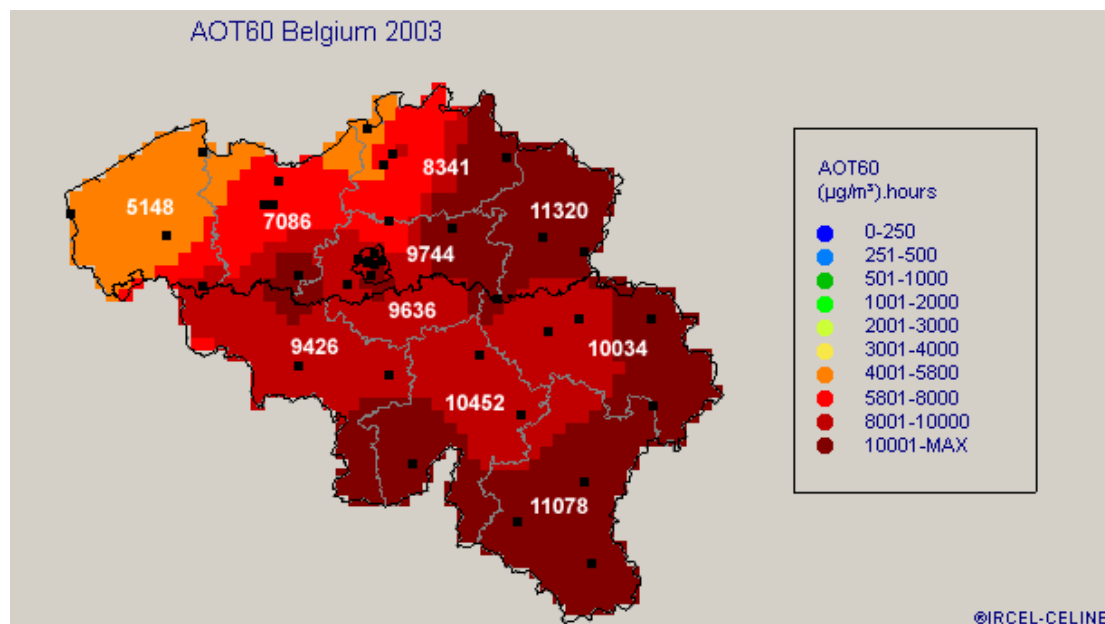
Het rekenkundig **gemiddelde** over een jaar van de dagelijks hoogste 8-uursgemiddelden wordt veel minder beïnvloed door de verschillen in zomerse meteorologische omstandigheden. *Deze indicator stijgt, wat erop wijst dat door het jaar heen, buiten de piekdagen in de zomer, de ozonconcentraties toenemen.* Zelfs in een jaar zoals 2002 met zeer weinig piekoverlast stijgt dit 'achtergrond' niveau nog.

Dit divergerend gedrag tussen de 2 gezondheidsindicatoren (jaaroverlast en jaargemiddelde) wordt ook in de ons omringende landen waargenomen. De daling van de piekconcentraties is zelfs van die aard dat de EU-Commissie in haar leidraad bij de nieuwe ozonrichtlijn, de noodzaak aan kortetermijnmaatregelen sterk afzwakt wegens de afgenomen kans op overschrijding van de alarmpieken (zie verder). Het feit dat 'achtergrond'waarden (bv. jaargemiddelde) stijgen heeft enerzijds te maken met de *stijging van de uitstoot van ozonprecursoren in het hele noordelijk halfrond* en anderzijds met *een lokaal verminderde ozonafbraak* wegens plaatselijke NO_x-reducties waardoor, althans in onze streken, de ozonniveaus in eerste instantie kunnen toenemen (zie het ozon 'weekend'effect).

Figuur 7 toont de spreiding over België van de jaaroverlast voor de gezondheid in 2003. Traditiegetrouw is wegens de hogere temperaturen de grootste overlast te zien in de Kempen en het oosten van Vlaams-Brabant. Minder gewoon is de hoge overlast in het zuiden en het

oosten van het land die wordt toegeschreven aan de uitzonderlijk hoge temperaturen voor die gebieden.

Figuur 7: Ruimtelijke spreiding van de jaaroverlast boven de EU-drempelwaarde van $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gedurende 8 uur ($\text{AOT60}_{\text{ppb-max8u}}$) voor de bescherming van de volksgezondheid (België, 2003)



De ruimtelijke spreiding werd berekend met behulp van de meetwaarden in alle ozonmeetplaatsen van de telemetrische meetnetten van de drie gewesten.

De cijfers geven per provincie de gemiddelde $\text{AOT60}_{\text{ppb-max8u}}$ waarden weer. Het EU-doelcijfer voor 2010 is 5 800.

Bron: IRCEL, 2003.

Uit figuur 7 blijkt dat de LTD voor de jaaroverlast ($\text{AOT60}_{\text{ppb-max8u}} = 0$) in 2003 overal in België wordt overschreden. Ook de MLTD ($\text{AOT60}_{\text{ppb-max8u}} < 5\,800 \text{ } (\mu\text{g}/\text{m}^3)\text{.uren}$) wordt dit jaar op 88 % van de oppervlakte (die ook 88 % van de bevolking huisvest) overschreden (rood en bruin ingekleurde gebieden in de figuur). Alleen in de provincie West-Vlaanderen, het noorden van de provincies Oost-Vlaanderen en Antwerpen bleef de overlast beneden de MLTD.

De impact van de pieken voor de volksgezondheid neemt geleidelijk af

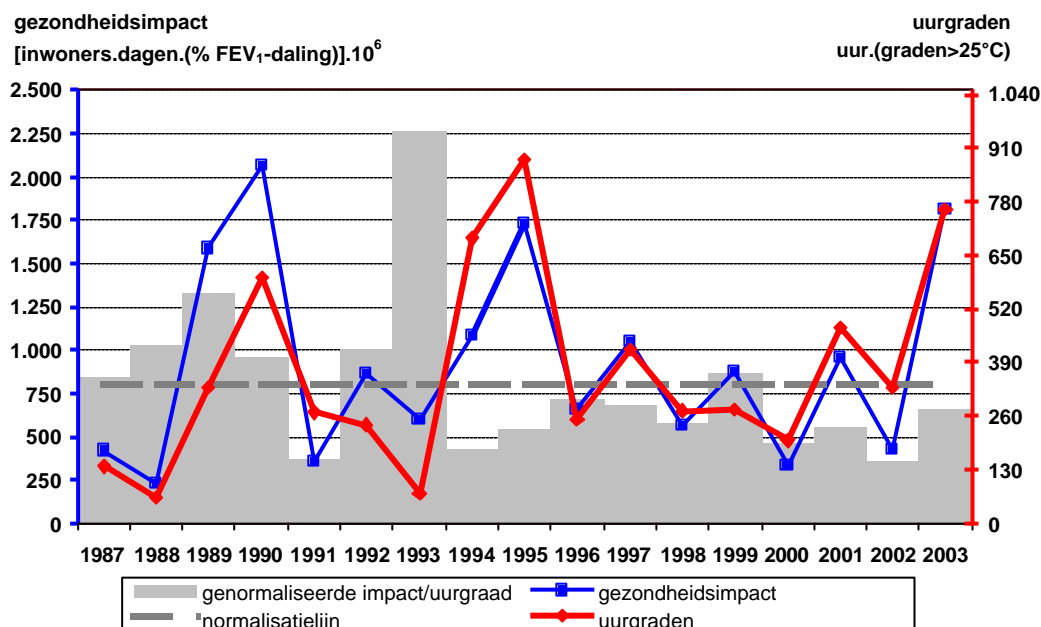
Blootstelling aan ozon kan een longfunctievermindering veroorzaken. Die kan gekwantificeerd worden door het meten van de procentuele vermindering van het volume uitgedemde lucht gedurende 1 seconde bij een geforceerde uitademing (Forced Expiratory Volume in 1 second). Deze FEV_1 -vermindering is gecorreleerd met de 8-uursgemiddelde ozonconcentratie en bedraagt meer dan 3 % wanneer deze 8-uursconcentratie de waarde van $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ overschrijdt.

Om zowel de omvang van de blootgestelde bevolking als de frequentie en de ernst van de blootstelling in rekening te brengen, wordt de gezondheidsimpactindicator gedefinieerd als het product van het aantal blootgestelde mensen met het aantal dagen waarop FEV_1 -vermindering optreedt en met de procentuele FEV_1 -vermindering: inwoners x dagen x % FEV_1 -daling.

De gezondheidsimpact heeft een analoog verloop als de jaaroverlast voor de gezondheid (figuur 6): **voor vergelijkbare meteorologische omstandigheden is er sinds 1994 een kleinere impact op de gezondheid, ook in het ozonrijke jaar 2003.** Dit wordt geïllustreerd

door de (genormaliseerde) impact per uurgraad in figuur 8. De gezondheidsimpact per uurgraad bedraagt tussen 1987 en 1993 gemiddeld 4,0 (miljoen inwoners x dagen x %FEV₁-daling / uurgraad). Van 1994 tot 2002 is dit teruggevallen op gemiddeld 2,1 (miljoen inwoners x dagen x %FEV₁-daling / uurgraad).

Figuur 8: Verloop van de gezondheidsimpactindicator : [aantal inwoners x aantal dagen x procentuele FEV₁-daling] (België, 1987 - 2003)



De blauwe lijn toont volgens de linkerschaal de *gezondheidsimpact* voor elk jaar;
 De rode lijn toont volgens de rechterschaal voor elk jaar - als maat voor de kwaliteit van de zomer - het *aantal uurgraden* met temperaturen hoger dan 25 °C (te Ukkel volgens KMI);
 De balkjes geven per jaar de *gezondheidsimpact per uurgraad* weer. De waarden zijn genormaliseerd ten opzichte van het gemiddelde van de volledige voorgestelde meetreeks.
 (FEV₁ : Forced Expiratory Volume in 1 second)

Bron: IRCEL, 2003

Deze gezondheidsimpactindicator wordt berekend ten opzichte van een afsnijwaarde: alleen ozonoverlast boven 120 µg/m³ gedurende 8 uur veroorzaakt een daling van FEV₁. Zoals van een piekindicator kan worden verwacht neemt deze indicator geleidelijk af. Gezondheidsindicatoren die echter niet gerelateerd zijn aan een afsnijwaarde, zoals bv. de jaargemiddelde indicator (GMD-max8u in figuur 6), vertonen deze daling niet en laten zelfs een geleidelijke toename van het effect zien.

Er worden nieuwe benaderingen ontwikkeld om de gevolgen van ozon op de gezondheid te kwantificeren. Voor een analyse van gezondheidseffecten worden daarbij parameters zoals vroegtijdige sterfte of oversterfte en ook de methodiek van 'verloren gezonde levensjaren (DALY's)' gehanteerd.

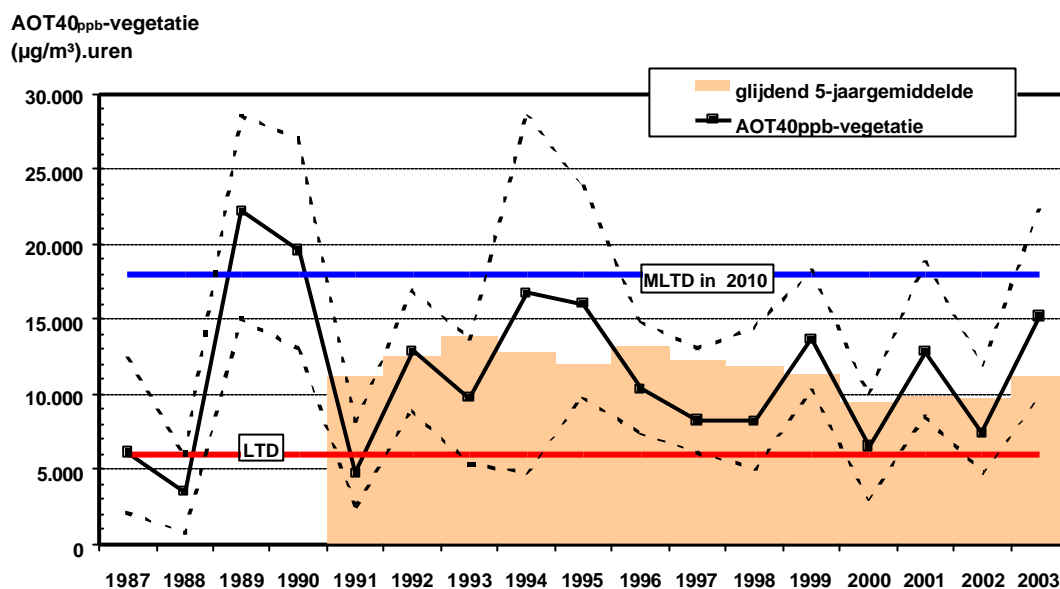
2.3 ½ Toestandsindicatoren voor de gewassen, semi-natuurlijke vegetatie en de bossen

De seizoensoverlast voor gewassen (AOT40_{ppb-vegetatie}) daalt lichtjes maar blijft nog ver boven de langetermijndoelstelling

Het glijdend 5-jaargemiddelde van de seizoensoverlast voor gewassen en semi-natuurlijke vegetatie ligt in België onder de MLTD-waarde van 18 000 (µg/m³).uren en daalt sinds 1994 (figuur 9). Om de LTD van 6 000 (µg/m³).uren te bereiken zullen de emissies van de

verschillende landen in Europa nog verder moeten dalen. Een herziening van de NEC-richtlijn is gepland in 2004 en kan bijgewerkte emissiemaxima bevatten voor 2020.

*Figuur 9: Evolutie van de gemiddelde waarde van de seizoenoverlast voor **akkergewassen en semi-natuurlijke vegetatie** (AOT_{40ppb} -vegetatie), met aanduiding van het glijdend 5-jaargemiddelde (België, 1987-2003)*



De punten op de volle lijn tonen voor elk jaar de gemiddelde waarde voor akkergewassen en semi-natuurlijke vegetatie in België. De stippellijnen geven de laagste en de hoogste jaarwaarde aan.

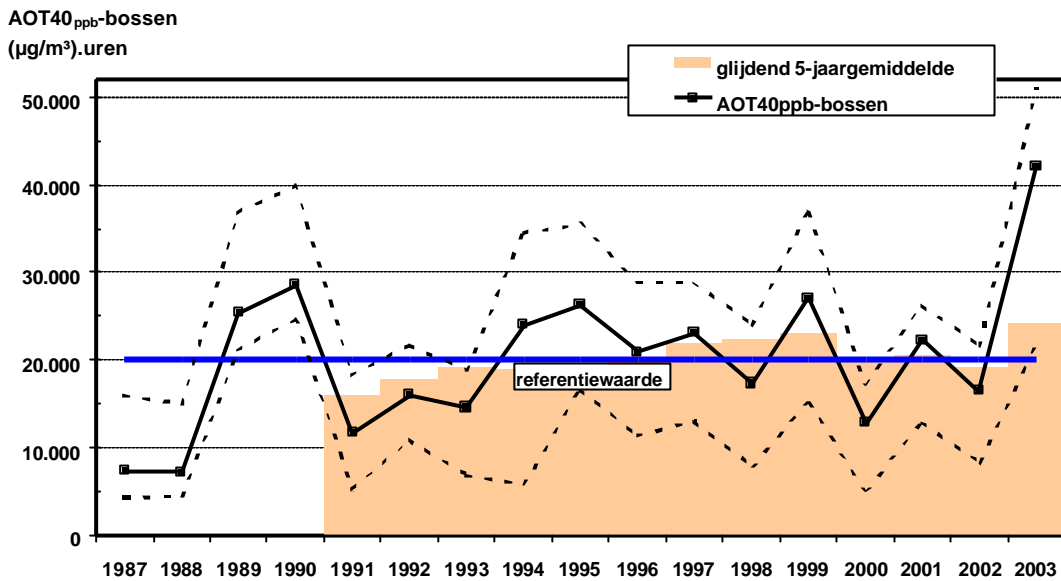
Bron: IRCEL, 2003

Uit figuur 9 blijkt dat in 2003 de gemiddelde waarde van 15 163 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).uren voor de seizoenoverlast voor akkergewassen en semi-natuurlijke vegetatie in België onder de MLTD blijft. Zelfs in het ozonrijke jaar 2003 is die seizoenoverlast beperkt gebleven omdat de grootste ozonbelasting (augustus) buiten het groeiseizoen voorkwam (mei, juni, juli).

De seizoenoverlast voor de bossen (AOT_{40ppb} -bossen) vertoont een stijgende trend

Voor de bescherming van bossen stelt de EU-ozonrichtlijn 2002/3/EG geen MLTD noch LTD vast. Wel wordt een AOT_{40ppb} -waarde als referentiewaarde vooropgesteld, maar die is anders gedefinieerd dan in het geval van de bescherming van de gewassen en er hoort ook een hogere kritische blootstellingswaarde bij. De AOT_{40ppb} -bossen is het gecumuleerd overschot boven $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ van alle uurwaarden tussen 8 en 20 uur MET (Midden-Europese Tijd) tijdens de maanden april tot en met september en heeft als referentiewaarde 20 000 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).uren. Dit betekent dat overschrijdingen van die waarde dienen gemeld te worden aan de Commissie en aan het publiek.

Figuur 10: Evolutie van de gemiddelde waarde van de seizoenoverlast voor **bossen** (AOT40_{ppb}-bossen), met aanduiding van het glijdend 5-jaargemiddelde (België, 1987-2003)



De punten op de volle lijn tonen voor elk jaar de gemiddelde seizoenoverlast voor de bossen in België. De stippellijnen geven de laagste en de hoogste jaarwaarde aan.

Bron: IRCEL, 2003

De gemiddelde overlast voor de bossen in België was in 2003 de grootste van de voorbije 17 jaar. Met een gemiddelde overlast van 42 155 (µg/m³).uren werden de bossen meer dan dubbel zoveel belast als de referentiewaarde die in de EU-ozonrichtlijn 2002/3/EG vermeld wordt. In alle bossen in België werd die referentiewaarde trouwens overschreden.

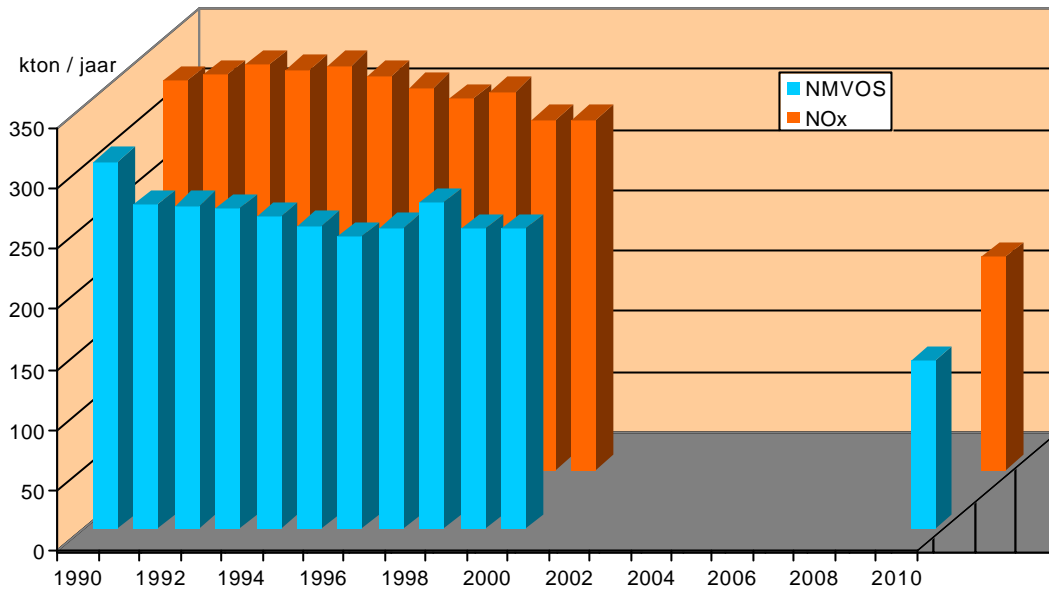
In tegenstelling tot de seizoenoverlast voor de akkergewassen en semi-natuurlijke vegetatie, vertoont de overlast voor de bossen wel een stijgende trend. Dit komt omdat het gevoelig seizoen voor bossen over 6 maand loopt (april t/m september) terwijl het groeiseizoen voor akkergewassen beperkt wordt tot 3 maanden (mei, juni en juli). Hoe langer de beschouwde periode in het jaar, hoe meer de stijgende trend van de 'achtergrond'waarden van ozon tot uiting komt, zoals reeds bij de indicatoren voor de volksgezondheid werd vastgesteld. Daar vertoont de jaargemiddelde indicator ook een stijging, terwijl de overlast door de pieken (alleen tijdens de zomermaanden) eerder een dalende trend volgt.

3 ½ Maatregelen

3.1 Duurzame maatregelen

Zoals reeds op enkele plaatsen werd aangegeven kunnen alleen drastische en Europees gecoördineerde maatregelen voor een duurzame oplossing van het ozonprobleem zorgen in Noord-West-Europa. De EU-NEC-Richtlijn (2001/81/EG) legt voor elke lidstaat maximale lozingshoeveelheden van ozonprecursoren vast voor 2010. Deze maximale quanta moeten garanderen dat de ozonoverlast (AOT60_{ppb}) overall met 2/3 vermindert en hoedanook niet groter is dan 5 800 (µg/m³).uren per jaar. Figuur 11 geeft de evolutie van de uitstoot in België van de voorlopers van ozon.

Figuur 11: Evolutie van de totale emissies van ozonprecursoren NOx en NMVOS (België, 1990-2000) met aanduiding van de doelstellingen voor 2010 uit de NEC-Richtlijn



Bron: <http://webdab.emep.int>

In de jaren 90 zijn de NOx-emissies eerder toegenomen om pas vanaf 1999 merkbaar te dalen en ze liggen in 2000 op 90% van het niveau van 1990. De NMVOS-emissies zijn daarentegen wel vroeger gaan dalen en liggen in 2000 op 82% van het niveau van 1990.

De uiteindelijke doelstellingen voor de emissies in 2010 van ozonprecursoren zijn per EU-lidstaat vastgelegd in de EU-NEC-Richtlijn (2001/81/EG). Ze bedragen voor België 176 kton NOx en 139 kton NMVOS. Ten opzichte van het referentiejaar 1990 betekenen deze emissiedoelstellingen een vermindering met 45% van de NOx-uitstoot en een vermindering met 54% van de NMVOS-uitstoot. Van deze verminderingen is in 2000 slechts 10% gerealiseerd voor NOx en 18% voor NMVOS.

De Belgische emissiedoelstellingen vervat in de EU-NEC-Richtlijn werden onder de gewesten opgesplitst op de Interministeriële Conferentie Leefmilieu (ICL) van 16/6/2000 :

Tabel 3: Overzicht van de gewestelijke opdeling van de in 2010 maximaal toegelaten emissies van ozonprecursoren

Gewest	NOx (kton/jaar)	NMVOS (kton/jaar)
Vlaams Gewest	58,3	70,9
Waals Gewest	46	28
Brussels Hoofdstedelijk Gewest	3	4
Verkeer (België)	68	35,6

3.2 Kortetermijnmaatregelen

Kortetermijnmaatregelen en het ozon 'weekend' effect

De langetermijnmaatregelen die België in het kader van de NEC-richtlijn moet implementeren, zijn de enige weg om het ozonprobleem duurzaam op te lossen. Kortetermijnmaatregelen

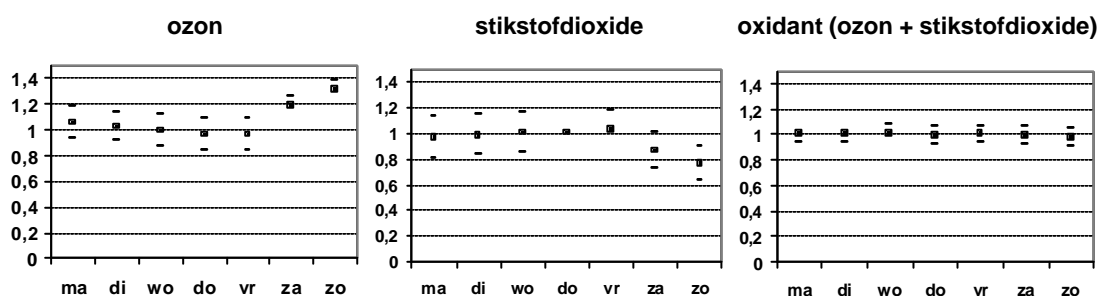
tijdens ozonepisodes zijn vooral belangrijk om de bevolking voor de problematiek - en voor de noodzaak aan langetermijnmaatregelen - te sensibiliseren.

In sommige landen (waaronder België) waar de ozonvorming vooral gedomineerd wordt door de hoeveelheid aanwezige VOS in de lucht (zie "ozonheuveld en ozonregimes" hierboven) zijn kortetermijnmaatregelen tijdens ozonepisodes niet efficiënt voor de bestrijding van ozon. Die beperkte lokale maatregelen, bv. in het verkeer, kunnen zelfs leiden tot een stijging van de ozonpiekconcentraties (zie verder). Kortetermijnmaatregelen tijdens ozonepisodes zijn bij ons vooral belangrijk om de bevolking voor de problematiek te sensibiliseren. In sommige Zuid-Europese regio's of steden echter (bv. Athene), waar de ozonvorming vooral gedomineerd wordt door de aanwezigheid van NO_x en waar herhaaldelijke recirculatie door land- en zeebries van dezelfde verontreinigde luchtmassa's plaats vindt, kunnen lokale kortetermijnmaatregelen wel ozonreducerend werken.

De hoeveelheid geproduceerde O_3 in de omgevingslucht is niet recht evenredig met de hoeveelheid uitgestoten precursoren. Voor de noordwestelijke Europese landen (de ozon hotspot regio's) is zowel modelmatig (modelberekeningen van IASA, LOTOS, BELEUROS, ...) als via metingen in eigen land en in de andere EU-15 lidstaten aangetoond dat een onvoldoende, kortstondige en kleinschalige vermindering van de NO_x - en NMVOS-emissies de gehalten aan O_3 kan doen stijgen. Dit wordt gedemonstreerd door het ozon-'weekend'effect: hoewel er tijdens het weekend minder uitstoot is van precursoren (ongeveer 30 % minder emissies door het verkeer) is er in de steden meer ozon.

Figuur 12 toont aan hoe op zaterdagen en zondagen de *daggemiddelde ozonwaarden* 20 % tot 35 % hoger liggen dan tijdens de werkdagen (de concentraties zijn genormaliseerd op die gemiddelde waarde tijdens de werkdagen). Daarentegen is op weekenddagen tussen 15 % en 25 % minder stikstofdioxide in de stadslucht. De som van ozon en stikstofdioxide (oxidant) blijft in het weekend onveranderd. Deze bevindingen zijn gebaseerd op lange tijdreeksen in 6 stadstations te Gent, Antwerpen en Brussel, over een periode van gemiddeld 5 jaar voor ozon en 15 jaar voor stikstofdioxide. Gelijkaardige bevindingen zijn ook opgetekend voor een set van een 100-tal steden over geheel Europa.

Figuur 12: Genormaliseerde daggemiddelde concentraties van ozon, stikstofdioxide en oxidant voor elke dag van de week, gemiddeld in 6 stedelijke stations (Gent, Antwerpen en Brussel)

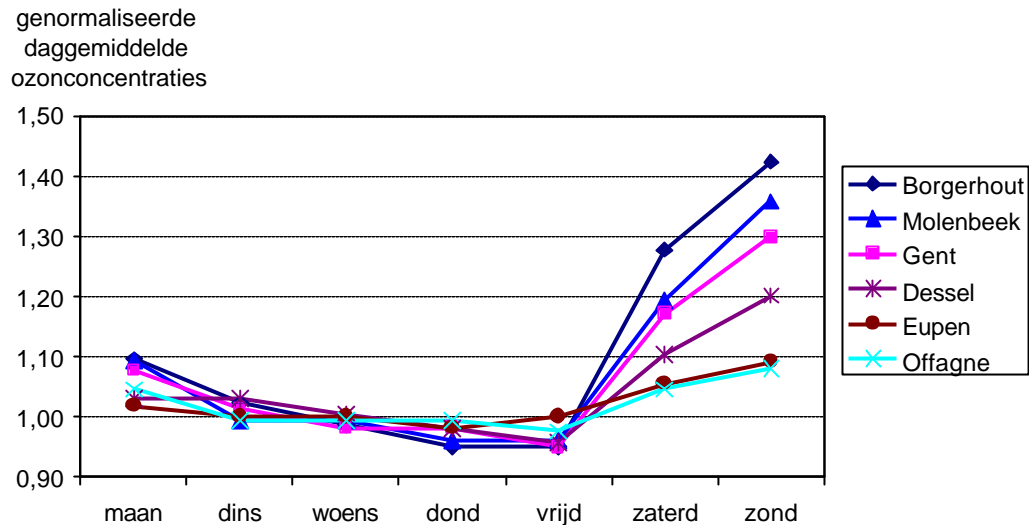


De foutmarges geven het gemiddelde plus en min 1 standaardafwijking weer

Bron: IRCEL, 2001

De verklaring van dit fenomeen ligt in het feit dat ozon wegreacteert met NO afkomstig van wegverkeer, waarbij NO_2 vrijgezet wordt. De weekendverhoging van ozon is dus een gevolg van een verminderd wegreacteren ervan met NO , omdat er dan minder verkeer is. De daling tijdens het weekend van NO_2 is het gevolg van verminderde uitstoot en van het verminderd wegreacteren van ozon tot NO_2 . In feite is het weekendeffect een verschuiving van het fotochemisch evenwicht tussen NO_2 en O_3 in de richting van ozon, wat duidelijk blijkt uit het feit dat hun som (oxidant) gelijk blijft.

Figuur 13: Genormaliseerde daggemiddelde concentraties van ozon, voor elke dag van de week, in 3 stedelijke en in 3 landelijke stations (1998-2002)



Bron: IRCEL, 2003

Figuur 13 illustreert de forse toename in het weekend van de ozonconcentraties in de stedelijke stations zoals bv. in Borgerhout, Molenbeek en Gent (van 20% tot 40% vermeerdering). Opvallend is echter dat ook de landelijke stations zoals in Dessel, Eupen en Offagne, zij het in mindere mate, een 'weekend'effect vertonen. Dit wijst erop dat er in België niet echt plaatsen te vinden zijn waar het verkeer helemaal geen invloed heeft op de processen van luchtverontreiniging (in dit geval de titratie van ozon door NO afkomstig van het verkeer).

Hieruit volgt dat het treffen van precursorbeperkende maatregelen, die niet verder gaan dan een reductie met 30 % van de NO_x, zoals op de weekenddagen, laat vermoeden dat de ozonconcentraties in onze steden met 20 % of meer zullen verhogen. Plaatselijke, tijdelijke en weinig doortastende maatregelen (bv. lokale ingrepen in het verkeer alleen bij hoge ozonconcentraties) kunnen de sensibilisatie van de bevolking en/of de mediatisering van het probleem ten goede komen, maar zijn in de stedelijke gebieden niet ozonreducerend, wel integendeel. De ernst van de fotochemische verontreiniging is te groot voor mens en plant om de bestrijding ervan te herleiden tot losse, spectaculaire maar inefficiënte maatregelen, die de valse indruk wekken dat het probleem ten gronde wordt aangepakt. Een duurzame, drastische en Europees-schalige aanpak is nodig om dit probleem op lange termijn te verhelpen. Dit is de ontstaansreden van de EU-NEC-Richtlijn.

Aanbevelingen voor kortetermijnmaatregelen in de nieuwe EU-richtlijn

De EU-Commissie heeft, bijgestaan door nationale experts, in een "Richtsnoer voor de implementatie van Richtlijn 2002/3/EEG betreffende ozon in de lucht" aanbevelingen voor de lidstaten geformuleerd bij het eventueel uitwerken van kortetermijnactieplannen voor zones waar de alarmdrempel (ozonconcentratie gedurende 3 opeenvolgende uren > 240 µg/m³) kan overschreden worden.

Eerst wordt de nadruk gelegd op het feit dat alleen maar grootschalige, permanente en drastische langetermijnreducties van ozonprecursoren een duurzame oplossing kunnen bieden voor zowel ozon piekwaarden als achtergrondwaarden in Europese agglomeraties en platteland. Die reducties zullen voortvloeien uit de nieuwe ozonrichtlijn zelf, maar voornamelijk uit de nauw verbonden NEC Richtlijn (2001/81/EG) die op haar beurt steunt op de GSI Richtlijn 2001/80/EG. Verder moeten ook Richtlijnen 94/63/EG en 1999/13/EG de uitstoot van VOS intomen.

Wat dan eventuele bijkomende kortetermijnactieplannen betreft waarvan de lidstaten moeten uitzoeken of ze wel degelijk een ozonreductiepotentieel bevatten onder de specifieke regionale omstandigheden en gelet op het specifieke ozonregime, vermeldt het Richtsnoer onder meer volgende conclusies:

- de *noordelijke lidstaten* (FI, SW, DK) moeten zich niet voorbereiden op kortetermijnactieplannen omdat daar klaarblijkelijk geen gevaar bestaat om de alarmdrempel te overschrijden;
- in de meeste streken in de *Noord-Westelijke en Centraal Europese* landen neemt de mogelijkheid om het risico van overschrijdingen nog substantieel te verkleinen door lokale en/of (sub)regionale kortetermijnmaatregelen, meer en meer af en kan zelfs onbestaande zijn, omdat in die regio's :
 - het aantal overschrijdingen van de alarmdrempel de voorbije jaren duidelijk afneemt
 - kortetermijnmaatregelen daar al in de tweede helft van de jaren 90 slechts een beperkt ozonreducerend effect hadden (enkele %)
 - de (verdere) uitvoering van de EU langetermijnstrategie de permanente en algemene toepassing zal vereisen van maatregelen die vroeger als kortetermijnmaatregelen werden opgelegd (bv. een steeds groter wordend aantal voertuigen dat met een katalysator is uitgerust)
- dat steden en gebieden rond de *Middellandse zee* in principe voordeel kunnen halen uit kortetermijnacties om de kans op overschrijdingen van de alarmdrempel beduidend te beperken of de duur en ernst ervan te verminderen, omdat die regio's gekenmerkt worden door specifieke orografische omstandigheden en omdat
 - er tot dusver geen significant dalende trend gezien wordt van de hoge ozonpiekwaarden (misschien omdat de tijdsreeksen nog niet lang genoeg zijn)
 - er daar een tekort is aan kennis en ervaring met kortetermijnacties
 - er in die streken zeer specifieke ozonregimes kunnen voorkomen (zoals veelvuldige hercirculatie van dezelfde verontreinigde luchtmassa's)

De Commissie eindigt met de belangrijke opmerking dat het tijdig ter beschikking stellen van actuele en adequate informatie aan de gezondheidsinstanties en de bevolking verplicht is en dat dit, samen met het uitzenden van voorspellingen van de ozonconcentraties, ook als kortetermijnmaatregel dient beschouwd te worden aangezien hierdoor de duur en de ernst van de blootstelling aan verhoogde ozonconcentraties kan beperkt worden.

In België worden sinds 1994 deze taken ivm de opvolging en de voorspelling van ozonepisodes en de inlichting van de bestuurlijke instanties, de pers en het publiek, in opdracht van de drie gewesten, uitgevoerd door IRCEL onder meer via de uurlijks bijgewerkte website www.irceline.be. IRCEL staat ook in voor informatieverstrekking en medewerking aan de verschillende plannen voor ozonbestrijding, zowel op gewestelijk als federaal niveau.