

## Het milieu in Europa: de tweede balans

### 5. Troposferische ozon

European Environment Agency



## 5. Troposferische ozon

### **Voornaamste bevindingen**

De ozonconcentraties in de troposfeer (tot 10-15 km boven het aardoppervlak) boven Europa zijn doorgaans drie tot vier keer hoger dan in het pre-industriële tijdperk, voornamelijk als gevolg van de zeer grote toename van de NO<sub>x</sub>-emissies door de industrie en het vervoer sinds de jaren vijftig. De natuurlijke variatie in het weer maakt het opsporen van trends in het vóórkomen van episoden van hoge ozonconcentraties onmogelijk.

De drempelconcentraties die zijn vastgesteld ter bescherming van de gezondheid van de mens, de vegetatie en van ecosystemen, worden in de meeste Europese landen veelvuldig overschreden. Ongeveer 700 ziekenhuisopnamen die in de periode maart-oktober 1995 in de EU plaatsvonden (waarvan 75% in Frankrijk, Italië en Duitsland) zijn mogelijk toe te schrijven aan ozonconcentraties boven de voor de gezondheid van de mens vastgestelde drempelwaarde. De mogelijkheid bestaat dat ongeveer 330 miljoen mensen in de EU ten minste één keer per jaar aan concentraties boven de drempelwaarde worden blootgesteld.

De drempel die voor de bescherming van de vegetatie is vastgesteld, werd in 1995 in de meeste EU-landen overschreden. Verscheidene landen rapporteerden dat op sommige plaatsen de drempelwaarde op meer dan 150 dagen was overschreden. Datzelfde jaar werden overschrijdingen geregistreerd op bijna het totale oppervlak aan bos- en landbouwgrond in de EU.

De emissies van de belangrijkste stoffen die ozon kunnen veroorzaken, te weten stikstofoxiden en vluchtige organische stoffen exclusief methaan (NMVOS), namen tot eind jaren tachtig toe om vervolgens tussen 1990 en 1994 met 14% te dalen. Het grootste deel van de NO<sub>x</sub>-emissies komt voor rekening van de vervoersector. Deze sector levert tevens de grootste bijdrage aan de uitstoot van NMVOS in West-Europa. In de LMOE en de NOS is het grootste deel van de NMVOS-emissies van de industrie afkomstig.

Het realiseren van de emissiedoelstellingen voor stikstofoxiden die zijn vastgelegd in het Verdrag betreffende grensoverschrijdende luchtverontreiniging over lange afstand en het Vijfde Milieuactieprogramma zou resulteren in een reductie van de piekconcentraties van ozon van slechts 5-10%. Voor het bereiken van de lange-termijndoelstelling gericht op het niet overschrijden van de drempelniveaus, is het van cruciaal belang dat de algehele concentraties van troposferische ozon worden verminderd. Daarvoor zijn reductiemaatregelen nodig voor de stoffen die ozon kunnen veroorzaken (NO<sub>x</sub> en NMVOS) die het hele noordelijk halfrond bestrijken. Een eerste stap is het vaststellen van strengere nationale emissieplafonds in het kader van het nieuwe protocol.

### **5.1. Inleiding**

Fotochemische smog, gewoonlijk aangeduid als "zomersmog", veroorzaakt al decennia lang ademhalingsproblemen onder de Europese bevolking. Ook kan het ernstige schade toebrengen aan planten. Perioden van zomersmog komen elk jaar in een groot deel van Europa voor.

Zomersmog ontstaat langs fotochemische weg uit een aantal gassen in de troposfeer, de onderste laag van de atmosfeer, die een dikte van 7-15 km heeft. De belangrijkste precursoren (veroorzakende stoffen) van zomersmog zijn stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>, d.w.z. NO en NO<sub>2</sub>), vluchtige organische stoffen (VOS), methaan (CH<sub>4</sub>) en koolmonoxide (CO). Dergelijke verontreinigende stoffen vinden hun

oorsprong in tal van menselijke activiteiten, waaronder de verbranding van fossiele brandstoffen, vooral voor vervoersdoeleinden, en het gebruik van producten die organische oplosmiddelen bevatten.

De door de mens veroorzaakte emissies in Europa van de belangrijkste precursoren van zomersmog, te weten,  $\text{NO}_x$  en VOS, zijn sinds het Dobris-rapport afgenomen. Deze afname was echter onvoldoende voor het bereiken van de reductiedoelstellingen die internationaal zijn overeengekomen. De inwerking van zonlicht op genoemde precursoren leidt tot de vorming van een reeks van chemische verbindingen die bekend staan als fotochemische oxidanten.

De belangrijkste fotochemische oxidant is ozon ( $\text{O}_3$ ), vanwege de hoge concentraties waarin het in de lucht voorkomt en de giftigheid van deze stof. De drempelconcentraties die voor ozon zijn vastgesteld ter bescherming van de gezondheid van mens, vegetatie en ecosystemen,

worden in de meeste Europese landen veelvuldig overschreden. Met uitzondering van ozon lijken fotochemische oxidanten in de concentraties die op dit moment in het milieu worden gemeten, voor de gezondheid van de mens of voor de vegetatie weinig gevaar op te leveren. Van peroxyacetylnittraat (PAN) is echter bekend dat het in hogere concentraties soortgelijke effecten als ozon kan veroorzaken, te weten irritaties aan het ademhalingsstelsel en bladschade (WHO, 1996a, 1996b).

Episodische concentraties van ozon worden toegevoegd aan de achtergrondconcentraties, die sinds de jaren vijftig min of meer zijn verdubbeld (Stahelin e.a., 1994). Deze toename is voornamelijk het gevolg van de wereldwijde stijging van  $\text{NO}_x$ -concentraties. De ozonconcentraties boven Europa worden dan ook mede beïnvloed door emissies van andere continenten. Troposferische ozon is ook relevant voor het probleem van klimaatverandering. Volgens huidige schattingen vergroot

troposferische ozon het totale opwarmingseffect als gevolg van de belangrijkste broeikasgassen die tot dusver door menselijke activiteiten in de lucht zijn geëmitteerd, met 16% (zie paragraaf 2.3).

De processen die ten grondslag liggen aan de vorming van fotochemische oxidanten alsmede de effecten van deze verbindingen, zijn complex en houden ook verband met andere milieuproblemen (zie kaders 5.1 en 5.2). De effecten die ozon op de gezondheid heeft, worden nog verergerd door de effecten van de cocktail van verontreinigende stoffen die zich in de lucht bevindt. Aangezien fotochemische oxidanten over grote afstand en over nationale grenzen worden getransporteerd, moeten internationale inspanningen worden verricht voor de ontwikkeling van samenhangende bestrijdingsstrategieën (Grennfelt e.a., 1994). Het nieuwe protocol dat meerdere verontreinigende stoffen bestrijkt en gericht is op de bestrijding van meerdere effecten en is opgesteld in het kader van het ECE-Verdrag betreffende grensoverschrijdende luchtverontreiniging over lange afstand, is een voorbeeld van een dergelijke brede aanpak.

#### **Kader 5.1: Ozonvorming**

Ozon wordt gevormd in de troposfeer en de verontreinigde grenslaag, die vanaf de grond tot een hoogte tussen de 100 en 3.000 meter reikt. Deze verontreinigende stof ontstaat door de oxidatie van VOS en CO in aanwezigheid van  $\text{NO}_x$  en zonlicht. In de verontreinigde grenslaag fungeren de zeer reactieve VOS als de belangrijkste "brandstof" voor dit proces, dat hoger in de troposfeer voornamelijk door de oxidatie van  $\text{CH}_4$  en CO op gang wordt gebracht. De beschikbaarheid van de katalysator NO vormt gewoonlijk de beperkende factor voor de vorming van ozon.

De processen die aan deze verschillende patronen van ozonvorming ten grondslag liggen, zijn buitengewoon complex. Maatregelen om de frequentie en ernst van ozonvorming te verminderen, kunnen een averechts effect hebben als ze niet op een degelijk inzicht in de betrokken fotochemische processen zijn gebaseerd. Pas geëmitteerde NO kan in een verontreinigd stedelijk milieu bijvoorbeeld onmiddellijk met ozon reageren en de concentratie ervan verminderen. Om die reden en vanwege andere chemische reacties, kan een afname van  $\text{NO}_x$ -emissies leiden tot een stijging van de ozonconcentraties in steden (zie kader 5.2). Onder dergelijke condities worden ozonconcentraties bepaald door VOS. Vandaar dat in sterk verontreinigde gebieden de sleutel tot een verlaging van de ozonconcentratie bij een vermindering van de uitstoot van VOS ligt. In minder verontreinigde gebieden, daarentegen, zijn het niet zozeer de VOS- als wel de  $\text{NO}_x$ -emissies die moeten worden teruggedrongen. De zaak wordt nog gecompliceerder daar het mogelijk is dat door bepaalde atmosferische processen, wanneer luchtmassa's wegtrekken van boven de stedelijke agglomeraties, niet langer VOS de beperkende factor voor de fotochemische "cocktail" zijn, maar  $\text{NO}_x$ .

Het is duidelijk dat het terugdringen van óf VOS- óf  $\text{NO}_x$ -emissies op regionaal en internationaal niveau onvoldoende kan blijken. Om het probleem onder alle omstandigheden te verminderen, is een reductie van beide nodig. Extra argumenten voor een reductie van  $\text{NO}_x$ -emissies zijn de aanzienlijke effecten die  $\text{NO}_2$  en PAN (WHO, 1996a) op de gezondheid hebben, alsmede de bijdrage van  $\text{NO}_x$  aan verzuring (hoofdstuk 4) en eutrofiëring (hoofdstukken 9 en 10).

Door de inwerking van zonlicht op VOS en  $\text{NO}_x$  worden behalve ozon nog een aantal andere fotochemische oxidanten gevormd. Daartoe behoren onder meer peroxyacetylnitrat (PAN), salpeterzuur, secundaire aldehyden, mierenzuur en diverse radicalen. Over de concentraties en effecten van deze stoffen is betrekkelijk weinig informatie beschikbaar. Omdat bij de huidige concentraties geen noemenswaardige effecten optreden, zijn voor deze fotochemische oxidanten geen internationale richtlijnen vastgesteld (WHO, 1996a).

#### **Kader 5.2: Het weekend-effect**

De averechtse werking van een reductie van  $\text{NO}_x$ -emissies op de ozonconcentratie in steden, kan worden geïllustreerd aan de hand van het "weekend-effect". Dumont (1996) maakte melding van het feit dat de ozonniveaus in Belgische agglomeraties in de weekends beduidend hoger waren dan door de week. Tijdens perioden van "zomersmog" was de gemiddelde piekconcentratie in de namiddag op zaterdag en zondag ongeveer 20% hoger dan op werkdagen. Dit zogeheten "weekend-effect" is het resultaat van de lagere  $\text{NO}_x$ -emissies tijdens het weekend in Belgische steden (ongeveer 30% lager dan op werkdagen). Een analyse van Zwitserse gegevens laat een gedifferentieerder beeld zien: in de weekends werden zowel lagere als hogere concentraties gemeten, afhankelijk van de weersomstandigheden (Brönniman and Neu, 1997).

De hogere concentraties die in de weekends optreden, zijn uitsluitend het gevolg van eerste en betrekkelijk kleine reducties in  $\text{NO}_x$ -emissies gecombineerd met een onvoldoende reductie van VOS-emissies. Voor het bereiken van aanvaardbare ozonniveaus en het tenietdoen van de averechtse effecten die in eerste instantie optreden, moet zowel de uitstoot van  $\text{NO}_x$  als die van VOS aanzienlijk worden verminderd.

## 5.2. Gezondheids- en milieueffecten

De belangrijkste gevolgen van blootstelling aan ozon zijn ademhalingsmoeilijkheden bij gevoelige bevolkingsgroepen en schade aan planten en ecosystemen (WHO, 1996a; ECE, 1996). Tot de effecten bij de mens behoren een daling van de longfunctie, een grotere incidentie van ademhalingsstoornissen en ontstekingsreacties in de longen. Het aantal personen dat wegens astma of andere aandoeningen van de luchtwegen de EHBO-afdeling van een ziekenhuis bezoekt of in een ziekenhuis wordt opgenomen, neemt op dagen met hoge ozonconcentraties toe (WHO, 1987; WHO, 1995). Medische noodgevallen vormen echter slechts het topje van de ijsberg. Op dagen met hoge verontreinigingsniveaus is er sprake van een aanzienlijke daling van de arbeidsproductiviteit, en aandoeningen van de luchtwegen en hart- en vaatziekten leiden tot een afname van het aantal werkdagen en een lager prestatieniveau.

Schade aan planten manifesteert zich in de vorm van bladschade, minder opbrengst en geringere zaadproductie. Uit diverse studies is gebleken dat planten schade oplopen door blootstelling aan ozonconcentraties boven een zeker niveau (Fuhrer and Achermann, 1994) en dat dit niveau per soort verschilt. Er blijken al effecten op te treden op niveaus die lager zijn dan die welke momenteel in het milieu worden gemeten.

Verminderde groei en productieverlies als gevolg van ozon worden vooral in verband gebracht met langetermijnblootstelling, ofschoon de gevoeligheid van planten voor schade door diverse klimatologische factoren wordt beïnvloed. Effecten op planten en landbouwgewassen worden niet altijd als zodanig herkend en kunnen worden toegeschreven aan andere oorzaken, zoals vorst. Effecten op vegetatie kunnen worden verhuld of zelfs verminderd door droogte. In Europa verbouwde handelsgewassen waarbij beschadiging door ozon is geconstateerd, zijn onder meer courgettes, watermeloenen, tomaten, wijnstokken, tarwe, aardappelen, klaver, bonen en artisjokken.

### 5.2.1. Blootstelling aan ozon: effecten op de gezondheid

Blootstelling aan ozonconcentraties zoals die in Europa worden aangetroffen, heeft effecten op de gezondheid die weinig specifiek zijn en in veel gevallen bovendien nog andere oorzaken dan luchtverontreiniging kunnen hebben. Daardoor is het niet mogelijk de omvang van de gezondheidseffecten door luchtverontreiniging rechtstreeks vast te stellen. Wel kan het percentage van de ziektegevallen dat rechtstreeks aan verontreiniging kan worden toegeschreven, worden geschat op basis van informatie over blootstelling van de bevolking en gegevens die zijn vergaard middels epidemiologische studies naar de relatie tussen blootstelling en effect.

In sommige gevallen kunnen de symptomen van blootstelling aan ozon aanleiding vormen voor het gebruik van medicijnen of zelfs ziekenhuisopname. In een aantal studies is een verband geconstateerd tussen dagelijkse veranderingen in het aantal ziekenhuisopnamen en ozonconcentraties. In de APHEA-studie (studie naar de kortetermijneffecten van luchtverontreiniging op de gezondheid, op basis van een Europese methode) die zich uitstrekt over vijf grote steden in de EU (Anderson e.a., 1997), zijn gegevens geanalyseerd over spoedopnamen wegens bronchitis, emfyseem en chronische verstopping van de luchtwegen. Samen met een geschatte spreiding van de blootstelling aan ozon in de EU, duiden de resultaten van deze studie op de mogelijkheid dat 0,3% van alle spoedopnamen wegens aandoeningen van de luchtwegen die in de EU plaatsvinden, toegeschreven kan worden aan blootstelling aan ozonconcentraties boven de drempelwaarde die door de CEG is vastgesteld voor de bescherming van de gezondheid, te weten,  $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $\approx 55$  ppb) als 8-uurgemiddelde. Bij meer dan 80% van deze overschrijdingen gaat het om ozonconcentraties tussen  $110$ - $170 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $\approx 55$ - $85$  ppb). In België, Frankrijk en Griekenland werd meer dan 0,5% van de ziekenhuisopnamen aan hoge ozonconcentraties toegeschreven (figuur 5.1).

Voor het berekenen van het totale aantal extra ziekenhuisopnamen dat aan ozon kan worden toegeschreven, moet de voor de bevolking van een land geldende gemiddelde frequentie van ziekenhuisopnamen bekend zijn en moet van veronderstellingen betreffende de medische behandeling van acute

**Figuur 5.1 Percentage van ziekenhuisopnamen in EU-lidstaten dat aan hoge ozonconcentraties kan worden toegeschreven, maart-oktober, 1995**

toe te schrijven percentage

EU15

België

Griekenland

Frankrijk

Italië

Duitsland

Nederland

Oostenrijk

Luxemburg

Denemarken

Verenigd Koninkrijk

Ierland

Spanje

Finland

Zweden

Portugal

van tot

gemiddelde

gebaseerd op 95% betrouwbaarheidsintervallen voor de RR schatting

Opmerking: Schatting waarbij is uitgegaan van ozonconcentraties van meer dan 110  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  als 8-uurgemiddelde

Bron: EMA-ETC (AQ)

ademhalingsproblemen worden uitgegaan. Deze kunnen verschillen tussen populaties en zeker tussen landen. Het opnamecijfer voor Londen lag in het midden van dat voor de vijf APHEA-steden. Uitgaande van de waarnemingen in Londen (20 noodopnamen per dag wegens ademhalingsklachten, op een bevolking van 7,3 miljoen), wordt geschat dat in de periode maart-oktober 1995 in de gebieden in de EU waar ozonconcentraties worden gemeten (d.w.z. de bevolking die op een afstand van 10 km of minder van meetpunten woont) iets meer dan 80 noodopnamen plaatsvonden die kunnen worden toegeschreven aan blootstelling aan ozonconcentraties van meer dan  $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $\approx 55$  ppb) als 8-uurgemiddelde. Als de blootstellingssituatie rond de meetpunten representatief is voor de totale distributie van ozonconcentraties in elk land, dan zou het totale aantal ziekenhuisopnamen in de EU in de periode maart-oktober 1995 dat kan worden toegeschreven aan blootstelling aan ozonconcentraties van meer dan  $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $\approx 55$  ppb) als 8-uurgemiddelde, bijna 700 bedragen. Daarvan zouden er 500 in drie landen hebben plaatsgevonden: Frankrijk, Italië en Duitsland (figuur 5.1), hetgeen deels komt door de grote bevolking van deze landen.

De cijfers in de voorgaande alinea's hebben uitsluitend betrekking op de effecten van blootstelling aan ozonconcentraties van meer dan  $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $\approx 55$  ppb, 8-uurgemiddelde). Epidemiologische studies duiden er echter op dat ziekenhuisopnamen ook toenemen bij lagere concentraties (Ponce de Leon, 1996). Volgens een voorzichtige schatting die uitgaat van gemiddelde ozonconcentraties tussen  $60$  en  $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $\approx 30$ - $55$  ppb, 8-uurgemiddelde) voor 20-40% van de persoondagen, zou het percentage van de ziekenhuisopnamen die toegeschreven kunnen worden aan ozonconcentraties van meer dan  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $\approx 30$  ppb, 8-uurgemiddelde), 1,5% van alle opnamen wegens aandoeningen van de luchtwegen kunnen uitmaken. Dat zou het totale aantal opnamen in de gebieden waar de ozonniveaus worden gemeten, op 400 brengen, hetgeen na extrapolatie naar de hele EU voor de periode maart-oktober 1995 een aantal van 3.000 zou opleveren.

Bij deze schattingen van het aantal ziekenhuisopnamen heeft men echter te maken met diverse onzekerheden, die verband houden met:

- blootstellingspatronen binnen de (willekeurig gekozen) 10 km-radius rond de meetstations;
- de mate waarin metingen in steden juiste gegevens verschaffen over de lucht die mensen daadwerkelijk inademen. Vanwege de geografische spreiding van meetnetten wordt de werkelijke mate van blootstelling van de bevolking waarschijnlijk onderschat, vooral in Zuid-Europa, hetgeen weer kan leiden tot een onderschatting van de effecten;
- de validiteit van het extrapoleren van spreidingsgegevens aangaande de blootstelling aan ozon van populaties die dicht bij meetpunten wonen, naar een heel land. Vandaar dat bij de interpretatie van gegevens van afzonderlijke landen de nodige voorzichtigheid moet worden betracht, vooral waar het gaat om landen waar meetpunten voor de luchtkwaliteit slechts een klein percentage van de bevolking bestrijken.

Het feitelijk aantal ziekenhuisopnamen dat aan hoge ozonconcentraties kan worden toegeschreven, zou wel eens twee keer zo hoog kunnen zijn als bovenstaande schattingen. Zoals hierboven reeds aangeduid, zegt het aantal ziekenhuisopnamen echter alleen iets over de ernstigste gevallen van een aandoening van de luchtwegen. In werkelijkheid lijdt een veel groter aantal mensen aan dit soort klachten.

In een studie die onlangs is uitgevoerd in het kader van een Franse evaluatie van de gevaren van stedelijke verontreiniging voor de gezondheid van de mens, het zogeheten ERPURS-programma, wordt een voorbeeld gegeven van vermindering van de arbeidsproductiviteit door excessieve verontreiniging. Voor de desbetreffende studie is gebruik gemaakt van medische en personeelsgegevens van de nationale elektriciteitscentrale. Tijdens zomerdagen met hoge verontreinigingsniveaus bleek het aantal werkdagen dat verloren ging als gevolg van aandoeningen van de luchtwegen en hart- en vaatziekten, met respectievelijk 22-27% en 19-78% toe te nemen (Medina e.a., 1997).



Er bestaan geen vergelijkbare studies voor Oost-Europa. Kaart 5.1 duidt er echter op dat veel Oost-Europese landen zich voor een soortgelijke situatie gesteld zien.

### **5.3. Trends in ozonconcentraties tegenover doelstellingen voor de luchtkwaliteit**

Episodische ozonconcentraties van meer dan  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $\approx 100$  ppb) worden vaak geregistreerd wanneer er sprake is van hoge barometerstanden, een weersomstandigheid die elke zomer boven de meeste delen van Europa voorkomt en gepaard gaat met een heldere hemel, verhoogde UV-straling en verhoogde temperaturen (Cox e.a., 1975; Guicherit en van Dop, 1977). Veel van deze episoden duren enkele dagen en strekken zich over meerdere landen tegelijk uit. Ozonconcentraties op stadsniveau vertonen in de regel meer variatie, zowel wat tijd als wat ruimte betreft. De concentraties in stadscentra zijn lager dan die in voorsteden en plattelandsgebieden, voornamelijk doordat de stikstofoxide die door het verkeer wordt uitgestoten, het ozon neutraliseert. Tijdens episoden van verhoogde ozonconcentraties kunnen de concentraties in voorsteden en in gebieden verder bovenwinds van de stedelijke bronnen van de precursoren aanzienlijk oplopen (zie

kaders 5.1 en 5.2). Door langdurige perioden van warm weer en het grotere aantal zonnige dagen in Zuid-Europa, is deze verhoging daar vaak nog sterker. In Zuid-Europa treden piekconcentraties van ozon echter zowel in stedelijke centra als elders op.

De overheersende topografie en het meest voorkomende klimaat in Europa kunnen op lokaal niveau complexe luchtbewegingen teweegbrengen, zoals zeewinden die gedurende vele opeenvolgende dagen verontreinigingen naar stedelijke gebieden terug kunnen voeren. Er zijn voorbeeldstudies verricht naar de effecten van deze verschijnselen in Athene (zie tevens hoofdstuk 12, figuur 12.3), Lissabon en Valencia (Moussiopoulos, 1994; Millán, 1993; Borrego e.a., 1994). In de volgende paragraaf worden echter geen bijzonderheden van bepaalde gebieden of steden besproken maar een beschrijving gegeven van algemene trends in Europa.

### **5.3.1. Doelstellingen voor de luchtkwaliteit**

In de richtlijn van de Raad betreffende de verontreiniging van de lucht door ozon (de "ozonrichtlijn", 92/72/EEG) zijn met betrekking tot ozon voor de EU drempelwaarden voor de luchtkwaliteit vastgesteld. Tabel 5.1 geeft een opsomming van deze drempelwaarden, inclusief de waarde waarbij de gemeenschap op de hoogte moet worden gesteld van het feit dat er sprake is van hoge verontreinigingsniveaus. Tevens worden in deze tabel de kritische niveaus gegeven die in het kader van het ECE-Verdrag betreffende grensoverschrijdende luchtverontreiniging over lange afstand (ECE, 1979, 1996) zijn vastgesteld met betrekking tot de effecten van ozon op landbouwgewassen en bossen, alsmede de richtlijn van de Wereldgezondheidsorganisatie voor de bescherming van de gezondheid van de mens (WHO, 1996a).

De richtlijn van de Raad inzake de beoordeling en het beheer van de luchtkwaliteit (de kaderrichtlijn, 96/62/EEG) moest zorgen voor meer samenhang in de wijze waarop de bescherming van de luchtkwaliteit op EU-niveau ter hand werd genomen. Met deze richtlijn is het kader gecreëerd voor een reeks van specifieke richtlijnen die ieder afzonderlijk bepalingen zullen bevatten betreffende één of een groep verontreinigende stoffen, waaronder ozon. De richtlijn over ozon wordt in 1998 door de Commissie voorgelegd.

In het Verdrag betreffende grensoverschrijdende luchtverontreiniging over lange afstand, wordt het begrip "kritische niveaus" gebruikt voor het evalueren van de effecten van ozon op landbouwgewassen en bossen. De effectparameter wordt berekend als de gecumuleerde blootstelling aan ozon boven een drempelniveau van 40 ppb ( $\approx 80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), uitgedrukt in eenheden ppb/uur, en wordt aangeduid als "AOT40".

### **5.3.2. Trends in de concentratie van troposferische ozon**

De eerste kwantitatieve schattingen van ozonconcentraties in Europa vonden plaats in Parijs, tussen 1876 en 1911. De 24-uurgemiddelde-concentratie was toen ongeveer  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $\approx 10$  ppb) (Volz and Kley, 1988). Blijkens deze metingen werd de huidige drempelwaarde van de EU voor de bescherming van de vegetatie ( $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $\approx 33$  ppb), als 24-uurgemiddelde) gedurende minder dan 1% van de totale periode gedurende welke de waarnemingen werden verricht, overschreden (Volz-Thomas, 1993).

Aan het einde van de jaren veertig was de 24-uurgemiddelde-ozonconcentratie in plattlandsgebieden in West-Europa gestegen van 30 tot  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $\approx 15$ -20 ppb) en steeg verder tot  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $\approx 30$  ppb) in de jaren tachtig (Feister and Warmbt, 1987). Volgens de berekeningen van Simpson e.a. (1997) kan ten minste 50% van de toename in deze eeuw rechtstreeks worden toegeschreven aan regionale door de mens veroorzaakte emissies in Europa. Tegenwoordig zijn de daggemiddelde-concentraties twee keer zo hoog als in de jaren vijftig (Staehelin e.a., 1994). Het grootste deel van deze toename is het resultaat van de enorme stijging van  $\text{NO}_x$ -emissies sindsdien. Trends in ozonniveaus zoals die het laatste decennium zijn gemeten, vertonen zowel in omvang als in richting van ontwikkeling aanzienlijke variaties, zelfs tussen meetstations die dicht bij elkaar liggen. Recente studies wijzen op de mogelijkheid dat eventuele werkelijke trends aan het oog worden onttrokken doordat de verschillende stations niet dezelfde instrumenten en meetprocedures hanteren (Roemer, 1997). Bij gebrek aan langetermijnmeetcijfers maakt de jaarlijkse variatie in het weer het in elk geval moeilijk een analyse te maken van emissiegerelateerde trends.

Voor steden zijn slechts irreguliere historische gegevens over ozonconcentraties beschikbaar, die zijn verkregen met behulp van eenvoudige meetmethoden. "Moderne" ozonmetingen in stedelijke gebieden werden voor het eerst in de jaren zeventig verricht, in het Verenigd Koninkrijk, Duitsland, Portugal, Nederland en enkele andere landen buiten Europa. In hoofdstuk 12, tabel 12.2, wordt de stand van zaken in 1995 gegeven.

De laatste 25 jaar varieerden de hoogste uurgemiddelde-ozonconcentraties in het centrum van Londen meestal tussen 60 en 140  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $\approx$  30-70 ppb). Tussen 1973 en 1992 stegen de concentraties met ongeveer 2,8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $\approx$  1,4 ppb) per jaar (PORG, 1987; Bower e.a. 1991, 1994). Metingen op diverse andere meetstations in steden in Noordwest-Europa die de afgelopen 5 tot 10 jaar zijn verricht, laten soortgelijke cijfers als in het centrum van Londen zien. Op een station in een voorstad van Athene (Liosia) werd tussen 1984 en 1989 echter een gemiddelde stijging van de maandelijkse gemiddelde concentratie van zo'n 15% per jaar waargenomen. In 1987

**Kritische en drempelniveaus als vastgesteld in de ozonrichtlijn van de EU, het ECE-Verdrag betreffende grensoverschrijdende luchtverontreiniging over lange afstand en de richtlijn van de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO)**

Tabel 5.1

| Richtlijn van  | Beschrijving   | Criterium gebaseerd op   | Waarde                                       |
|--|--|--|--|
| Europese Raad<br>Richtlijn nr. 92/72/EEG   | Drempelniveau voor het in kennis stellen van bevolking                   | 1-uurgemiddelde  | 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \approx 90$ ppb  |
|  | Drempelniveau voor waarschuwing bevolking                                | 1-uurgemiddelde  | 360 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \approx 180$ ppb |
|  | Drempelniveau voor bescherming gezondheid                                | Vaste 8-uurgemiddelden (0:00-8:00, 8:00-16:00, 16:00-24:00, 12:00-20:00) | 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \approx 55$ ppb  |
|  | Drempelniveau voor bescherming vegetatie                                 | 1-uurgemiddelde  | 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \approx 100$ ppb |
|  | Drempelniveau voor bescherming vegetatie                                 | 24-uurgemiddelde   | 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \approx 33$ ppb   |
| ECE-Verdrag betreffende grensoverschrijdende luchtverontreiniging over lange afstand | Kritisch niveau voor bescherming van gewassen (zogeneten AOT40c)         | daglichturen, mei - juli   | 3 ppm/uur                                    |
|  | Kritisch niveau voor bescherming van bossen (zogeneten AOT40f)           | daglichturen, april - september  | 10 ppm/uur                                   |
| WHO  | Luchtkwaliteitsrichtwaarde ter bescherming van de gezondheid van de mens | Variabel 8-uurmaximum  | 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3 \approx 60$ ppb  |

begonnen op dit station de maandgemiddelde waarden het niveau van 110  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $\approx 55$  ppb), als 8-uurgemiddelde, te overschrijden, een waarde die op dit moment in de EU als drempelniveau voor de bescherming van de gezondheid van de mens geldt en als zodanig in een richtlijn is vastgelegd. In 1988 werd dit drempelniveau op 140 dagen overschreden (Moussiopoulos, 1994). Bij de interpretatie van trends die zijn gebaseerd op waarnemingen van ozonstations die dicht bij bronnen van NO zijn gesitueerd, wat het geval is bij stadslocaties, moet echter de nodige voorzichtigheid worden betracht.

Trends in episoden van hoge ozonconcentraties in steden kunnen voor een beoordeling van schadelijke effecten bijzonder belangrijk zijn. Maar hoewel jaarlijks op tal van meetstations in steden episoden worden waargenomen met concentraties waarmee de richtlijnen en drempelniveaus die voor de bescherming van de gezondheid van de mens zijn vastgesteld, worden overschreden, kan enigerlei trendbreuk in deze concentraties als gevolg van een wijziging in de emissie van precursoren (veroorzakende stoffen) van ozon, gemaskeerd worden door de grote variaties in het weer die van jaar tot jaar optreden.

### 5.3.3. Spreiding over Europa

Schadelijke ozonconcentraties zijn een probleem dat door de meeste landen in Europa wordt gedeeld. Metingen van de ozonconcentraties in Europa tonen een toenemend verschil in concentratie van het noordwestelijk tot het zuidoostelijk deel van Midden-Europa (Grennfelt e.a., 1987, 1988; Feister and Pedersen, 1989). In de zomer varieert het gemiddelde dagmaximum van 60 - 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $\approx$  30-40 ppb) in Noordwest-Europa tot 120-140  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $\approx$  60-70 ppb) in Midden-Europa (Beck and Grennfelt, 1994). Helaas zijn de meetstations zeer ongelijk verdeeld en meer geconcentreerd in Noordwest-Europa, waardoor weinig kan worden gezegd over de ozonconcentraties in grote delen van het Middellandse-Zeegebied en Oost-Europa.

Kaart 5.1 geeft een door een model gegenereerde interpretatie van de verschillen in Europa in de gemiddelde dagelijkse maximumconcentratie van ozon in de zomer (Simpson e.a., 1997). Het gebruikte model is in het bijzonder bedoeld voor het berekenen van de achtergrondconcentraties van ozon in plattelandsgebieden, in tegenstelling tot de concentraties in stedelijke gebieden. De achtergrondconcentratie in de Europese grenslaag, d.w.z. de concentratie in de grenslaag boven de Atlantische Oceaan die naar het vasteland van Europa stroomt, bedraagt momenteel gemiddeld 60-65  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $\approx$  30-33 ppb), ofwel drie keer zoveel als honderd jaar geleden in de buurt van Parijs werd gemeten.

#### ***5.3.4. Overschrijdingen van drempelwaarden voor de luchtkwaliteit***

Overschrijdingen van de drempelwaarden voor de gezondheid van de mens In deze paragraaf gaat de aandacht uit naar de overschrijdingen van de CEG-drempelwaarde voor de bescherming van de gezondheid van de mens zoals die tussen 12.00 en 20.00 uur zijn geregistreerd. Van de vier perioden van acht uur die in de CEG-richtlijn worden onderscheiden, zal het grootste aantal overschrijdingen naar verwachting in deze periode plaatsvinden. De drempelwaarde van 110  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , (55 ppb, 8-uurgemiddelde) werd in de jaren 1994-96 in alle landen van de EU overschreden, in sommige gevallen zeer frequent (zie kaart 5.2; de Leeuw e.a., 1995; de Leeuw en van Zantvoort, 1996, 1997). Ervan uitgaande dat

**Kaart 5.1 Dagelijkse maximumconcentratie van ozon in de zomer, door model gegenereerd vijfjaargemiddelde**

Gemiddelde dagelijkse maximumconcentraties van ozon in de zomer (vijfjaargemiddelde)

1:30 000 000

Concentratie in ppb, in EMEP-rastercellen van 150 x 150 km

Noordelijke IJzee  
Barentsz-zee  
Noorse zee  
Oostzee  
Noordzee  
Atlantische Oceaan  
Golf van Biscaje  
Middellandse Zee  
Tyrrheense Zee  
Ionische Zee  
Adriatische Zee  
Zwarte Zee  
Kaspische Zee

Opmerking: Voor de berekening is voor alle jaren uitgegaan van de emissieniveaus in 1990. Verder zijn de meteorologische gegevens van de zomers van 1989, 1990, 1992, 1993 en 1994 gebruikt.  $1 \text{ ppb } \text{O}_3 \approx 2 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Bron: Simpson e.a., 1997

metingen op stads- en straatniveau representatieve waarden opleveren over de blootstelling van de circa 41 miljoen stadbewoners in de EU, werd meer dan 90% daarvan in 1995 ten minste één keer blootgesteld aan een concentratie boven de drempelwaarde, en meer dan 80% meer dan 25 keer. Extrapolatie van deze cijfers naar de totale bevolking van de EU duidt op de mogelijkheid dat ongeveer 330 miljoen mensen blootgesteld worden aan ten minste één overschrijding per jaar. Dit cijfer komt goed overeen met de resultaten van de modelberekeningen van de ECE (Malik e.a., 1996). De effecten van deze overschrijdingen zijn in paragraaf 5.2 behandeld.

Tussen 1994 en 1996 werd de drempelwaarde voor de bescherming van de gezondheid (12.00-20.00 uur) in de EU drie keer zo vaak overschreden als die voor het in kennis stellen van de bevolking (paragraaf 5.3.1) (Beck e.a., 1998). Het is moeilijk te beoordelen of de drempelwaarde voor het in kennis stellen van de bevolking van enig nut is voor de gemeenschap.

Overschrijding van de drempelwaarden voor de bescherming van vegetatie en bossen

De drempelwaarde voor de bescherming van de vegetatie ( $65 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $\approx 33 \text{ ppb}$ , als 24-uurgemiddelde) werd in de periode 1994-96 in de meeste EU-landen overschreden, in sommige gevallen zeer frequent (de Leeuw e.a., 1995; de Leeuw en van Zantvoort, 1996, 1997). Figuur 5.4 laat zien dat verscheidene landen voor 1995 meldden dat op enkele locaties op meer dan 150 dagen overschrijdingen hadden plaatsgevonden. Datzelfde jaar vonden overschrijdingen plaats op het totale oppervlak aan naaldbossen en landbouwgrond in de EU, en op meer dan

**Kaart 5.2 Overschrijdingen van de drempelwaarde voor ozon voor de bescherming van de gezondheid van de mens, 1995**

Ozon (8-uurgemiddelden)

1:20 000 000

Aantal dagen waarop de drempelwaarde van  $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (12.00-20.00 uur) werd overschreden.

Stations in steden of op andere/niet gespecificeerde locaties.

>50

25-50

1-25

0

Gegevens afkomstig van alle EU lidstaten

Noordelijke IJzee

Barentsz-zee

Witte zee

Noorse zee

Botnische Golf

Finse Golf

Oostzee

Noordzee

Het Kanaal

Atlantische Oceaan

Keltische Zee

Golf van Biscaje

Straat van Gibraltar

Middellandse Zee

Golfe du Lion

Ligurische Zee

Tyrrheense Zee

Adriatische Zee

Egeïsche Zee

Zwarte Zee

Opmerking: Aantal dagen waarop de drempelwaarde van  $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (12.00-20.00 uur) werd overschreden, gemeten in steden/op straat of door stations op een andere/niet gespecificeerde locatie, gedurende heel 1995. Bron: EMA\_ETC/AQ

**Kaart 5.3 Overschrijdingen van de drempelwaarde voor ozon voor de bescherming van de vegetatie, 1995**

Ozon (24-uursgemiddelde)

1:20 000 000

Aantal dagen waarop de drempelwaarde van  $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , als 24-uurgemiddelde, werd overschreden.

Achtergrondstations

Noordelijke IJszee

Barentsz-zee

Witte zee

Noorse zee

Botnische Golf

Finse Golf

Oostzee

Noordzee

Het Kanaal

Atlantische Oceaan

Keltische Zee

Golf van Biscaje

Straat van Gibraltar

Middellandse Zee

Golfe du Lion

Ligurische Zee

Tyrrheense Zee

Adriatische Zee

Egeïsche Zee

Zwarte Zee

Opmerking: Aantal dagen waarop de drempelwaarde van  $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , als 24-uurgemiddelde, werd overschreden, gemeten op achtergrondstations gedurende heel 1995. Bron: EMA-ETC/AQ



99% van het totale oppervlak aan loofbossen. Deze waarnemingen worden doorgaans gestaafd door de resultaten van de modelberekeningen van de ECE (Simpson e.a., 1997). Opgemerkt moet worden dat in recente publicaties (WHO, 1996b) wordt aanbevolen om voor het beoordelen van de potentiële effecten van ozon op vegetatie niet zozeer de drempelniveaus te gebruiken als wel de gecumuleerde blootstellingsniveaus.

In kaart 5.3 wordt de gemeten overschrijding van de AOT40 voor gewassen getoond. Op de kaart is te zien dat de drempelwaarde van 3 ppm/uur in de meeste landen die door het meetnetwerk worden bestreken, wordt overschreden. Alleen in delen van Zweden, Finland en het noorden van het Verenigd Koninkrijk waren er geen overschrijdingen.

#### 5.4. Emissie van precursoren (veroorzakende stoffen) van ozon

De emissies van twee precursoren voor ozon, VOS en  $\text{NO}_x$ , zijn tot eind jaren tachtig in Europa toegenomen, maar vertonen nu een dalende lijn (figuur 5.2, Olendrzynski, 1997). Tussen 1990 en 1994 daalden de VOS-emissies in de EU met circa 9%, terwijl de emissies in Europa als geheel met ongeveer 14% afnamen. De grotere daling in Europa als geheel is terug te voeren op de verhoudingsgewijs hoge daling in de LMOE als gevolg van economische herstructureringen. Voor  $\text{NO}_x$  werden soortgelijke reducties geconstateerd: in de EU tussen 1990 en 1994 een afname van 8% en in Europa als geheel een afname van 14% (EMA-ETC/AE, 1996, 1997). Deze cijfers dienen met de nodige voorzichtigheid te worden geïnterpreteerd, aangezien maar weinig landen consistente tijdreeksen van emissies hebben geproduceerd en sommige trends wellicht alleen maar een afspiegeling vormen van een verandering in berekeningsmethodiek.

#### **Kaart 5.4 Gemeten gecumuleerde blootstelling aan ozon (AOT40)**

AOT 40  
MEI, JUNI en JULI 1995  
(daglichturen)  
1:30 000 000

AOT 40 in ppbh  
in EMEP-rastercellen van 50 x 50 km  
meer dan 15 000  
3000 - drempelwaarde voor gewasbescherming  
minder dan 1 500

Noordelijke IJzee  
Barentsz-zee  
Noorse zee  
Oostzee  
Noordzee  
Atlantische Oceaan  
Golf van Biscaje  
Middellandse Zee  
Tyrreense Zee  
Ionische Zee  
Zwarte Zee  
  
Spitsbergen  
Barentsz-zee

Opmerking: Daglichturen in mei, juni en juli 1995 Bron: Hjellbrekke, 1997

De trend in jaarlijkse VOS-emissies sinds 1987/88 wordt uitvoeriger weergegeven in figuur 5.3. Deze uitgangdatum is van belang voor het kader van de ECE-protocollen voor emissiereductie (paragraaf 5.5). Gegevens over de jaarlijkse  $\text{NO}_x$ -emissies en de bijdragen hieraan van de afzonderlijke sectoren in 1995 worden in paragraaf 4.5 gegeven.

In figuur 5.4 worden voor de verschillende delen van Europa de sectoren getoond die de grootste bijdrage aan VOS-emissies leverden. Het grootste deel van de  $\text{NO}_x$ -emissies in West-Europa kwam voor rekening van het vervoer (63%) (zie figuur 4.9). In de LMOE waren de energie- en vervoerssector elk verantwoordelijk voor 35% van de emissies. Het vervoer leverde in West-Europa ook de grootste bijdrage aan VOS-emissies (45%). In de LMOE was het grootste deel van de emissies van de industrie afkomstig (46%).

Natuurlijke bronnen, vooral in de biosfeer, die bijdragen aan de aanwezigheid van VOS en  $\text{NO}_x$  in de atmosfeer, zijn voor deze emissiecijfers buiten beschouwing gelaten. In de EU maken de natuurlijke emissies van VOS en  $\text{NO}_x$  gemiddeld over het jaar respectievelijk zo'n 20% en 7% uit van de totale door de mens veroorzaakte emissie van VOS en  $\text{NO}_x$  (Simpson, 1995; Stohl e.a., 1996). Tijdens episoden van hoge ozonconcentraties leveren biogene bronnen mogelijk de grootste bijdrage aan VOS in de atmosfeer, vooral in Zuid-Europa. In deze regio zijn de emissies van de vegetatie echter onvoldoende om van wezenlijke invloed op de ozonchemie te zijn, omdat de  $\text{NO}_x$ -concentraties er de beperkende factor lijken te zijn (Simpson, 1995). Een studie naar het belang van  $\text{NO}_x$ -emissies van de bodem duidt erop dat in verschillende gebieden in Europa de dagelijkse maximumconcentraties van ozon aanzienlijk door dergelijke emissies kunnen worden verhoogd (Stohl e.a., 1996).

### 5.5. Beleidsplannen en vooruitgang

De reducties in de emissie van precursoren voor ozon is deels het resultaat van het ECE-Verdrag betreffende grensoverschrijdende luchtverontreiniging over lange afstand, in het kader waarvan protocollen voor reductie van  $\text{NO}_x$ - en VOS-emissies zijn vastgesteld, respectievelijk in 1988 en 1991. In het  $\text{NO}_x$ -protocol werd van de partijen vereist dat deze hun emissies of grensoverschrijdende stromen vóór december 1994 op het niveau van 1987 hadden gestabiliseerd. In het VOS-protocol werd vereist dat de emissies ten opzichte van het referentiejaar (meestal 1988) hetzij gestabiliseerd zouden worden of verminderd met ten minste 30%, en wel vóór 1999. De ECE werkt momenteel aan een

**Figuur 5.2 Door de mens veroorzaakte emissies van  $\text{NO}_x$  (in de vorm van  $\text{NO}_2$ ) en NMVOS in Europa, 1980-1995**

duizend ton per jaar  
 $\text{NO}_x$   
 NMVOS

Bron: ECE

**Figuur 5.3 NMVOS-emissies, 1988-95**

percentage van niveau van 1988  
 West-Europa - Midden- en Oost-Europa - Nieuwe Onafhankelijke Staten

Bron: ECE

**Figuur 5.4 Door de mens veroorzaakte VOS-emissies, onderscheiden naar sector, 1990**

overige  
 huishoudens  
 landbouw  
 vervoer

industrie

West-Europa - Midden- en Oost-Europa

Bron: ETC/AE

protocol dat meerdere verontreinigende stoffen bestrijkt en gericht is op de bestrijding van meerdere effecten en dat naar verwachting in 1999 gereed zal zijn. Doel van het protocol is het vaststellen van nationale emissieplafonds voor  $\text{NO}_x$  en alle VOS, waarbij rekening wordt gehouden met de effecten van de emissies en de kosten die met de bestrijding ervan zijn gemoeid. Er wordt uitgegaan van een brede aanpak, waarbij zowel de bestrijding van de verzuring en eutrofiëring ter hand wordt genomen als de problemen die verband houden met fotochemische oxidanten.

De reductiedoelstellingen voor  $\text{NO}_x$ -emissies die in het Vijfde Milieuactieprogramma van de EU werden vastgesteld, waren gericht op een stabilisering van deze emissies in 1994 op de niveaus van 1990 en een vermindering tot 30% onder de niveaus van 1990 vóór 2000. Dezelfde doelstelling voor het jaar 2000 werd voor VOS vastgesteld. Momenteel werkt de EU aan een ozonbestrijdingsstrategie, waarbij gezocht wordt naar kostenverantwoorde en effect- en brongeoriënteerde maatregelen voor het realiseren van een reeks normen voor ozonconcentraties, welke in een nieuwe ozonrichtlijn zullen worden vastgelegd. Het doel van de ozonstrategie wordt het vaststellen van de behoefte aan andere maatregelen, naast de maatregelen die reeds in de huidige of voorgestelde wetgeving staan gepland. Het eindresultaat wordt een voorstel voor een richtlijn betreffende nationale emissieplafonds voor  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , VOS en  $\text{NH}_3$ , teneinde te komen tot een aanzienlijke reductie van de atmosferische concentraties van ozon en verzurende en eutrofiërende stoffen. De Richtlijn betreffende de geïntegreerde preventie en bestrijding van verontreiniging (IPPC) moet helpen om de doelstellingen van het Vijfde Milieuactieprogramma te verwezenlijken. Met deze richtlijn wordt gestreefd naar een geïntegreerde aanpak van de reductie van emissies in lucht, water en bodem afkomstig van stationaire bronnen. Hierin wordt van de autoriteiten die bij de afgifte van vergunningen voor bedrijven zijn betrokken, verlangd dat zij bij het bepalen van de emissieplafonds in deze vergunningen uitgaan van hetgeen mogelijk is bij gebruikmaking van de best beschikbare technologie.

De Europese Commissie heeft voor het bereiken van de emissiereducties die ingevolge het Milieuactieprogramma zijn vereist, een aantal meer specifieke maatregelen geformuleerd:

- In juni 1996 heeft de Commissie een mededeling aangenomen inzake een toekomstige strategie voor de bestrijding van emissies in de lucht door het wegvervoer, samen met twee voorstellen voor richtlijnen. Het eerste voorstel betreft emissies van personenauto's en bevat een reeks verplichte emissienormen (voor het jaar 2000) alsmede een reeks indicatieve emissienormen met een meer dwingend karakter (voor 2005). Het tweede voorstel heeft betrekking op de kwaliteit van dieselolie en benzine en bevat verplichte normen die in 2000 van kracht zouden moeten worden. De Commissie moet eind 1998 een voorstel voor strengere emissienormen voor personenauto's en nieuwe voorstellen voor kwaliteitsnormen voor brandstof overleggen. Tevens zal de Commissie aanvullende voorstellen ontwikkelen voor lichte bedrijfsvoertuigen en zware vrachtwagens, alsook voor inspectie en onderhoud. Verder is de Commissie in samenhang met het programma "Auto-Oil I" tot de conclusie gekomen, dat zowel voor  $\text{NO}_x$  als voor VOS emissiereducties van ten minste 70% nodig zijn om de concentraties van troposferische ozon beneden de drempelniveaus te krijgen.
- VOS-emissies van industriële stationaire bronnen komen in de 'oplosmiddelenrichtlijn' aan de orde. Deze in november 1996 aangenomen richtlijn bevat emissieplafonds voor alle stationaire bronnen, met een aantal industriële toepassingen.
- In de Richtlijn voor de vermindering van de emissies afkomstig van de opslag en distributie van benzine (fase 1) wordt de reductie vereist van VOS-emissies in elke fase van de keten die via opslag en distributie naar het uiteindelijk gebruik van de benzine loopt.

Zoals uit de figuren 5.7 en 4.10 blijkt, zijn niet overal dezelfde vorderingen met het realiseren van de emissiereductiedoelstellingen gemaakt. Wat VOS betreft, hebben alleen de NOS het ECE-doel van een reductie met 30% ten opzichte van 1988 bijna bereikt. De omvang van de emissies van de andere landen bedroeg in 1995 nog steeds 75-90% van de hoeveelheden die zij in 1988 emitteerden, waardoor het bijzonder onwaarschijnlijk is dat zij de doelstelling vóór 1999 zullen bereiken. Voor de EU-lidstaten kan eenzelfde conclusie worden getrokken. Wat  $\text{NO}_x$  betreft, was de doelstelling van een

stabilisering op het niveau van 1987 in 1994 door de meeste landen bereikt. In de LMOE werd de grootste reductie bereikt (33%). In sommige Oost-Europese landen is de reductie mogelijk deels het gevolg geweest van economische herstructureringen.

De tot dusver bereikte emissiereducties hebben niet tot minder overschrijdingen van de kritische of drempelwaarden geleid. Dit kan deels worden toegeschreven aan jaarlijkse variaties in het weer. Aangezien de ozonconcentraties in de lucht vaak toxische niveaus bereiken, is het echter mogelijk dat kleine reducties onvoldoende zijn om het aantal overschrijdingen te verminderen. Een reductie zoals overeengekomen op EU-niveau en in het ECE-Verdrag betreffende grensoverschrijdende luchtverontreiniging over lange afstand, zal de piekconcentraties van ozon waarschijnlijk met 5 tot 25% verminderen. Voor het bereiken van deze reductiedoelstellingen is het echter nodig dat de voorgestelde EU-richtlijnen en de nationale wetgevingen inzake emissies afkomstig van mobiele en stationaire bronnen, in alle Europese landen sneller worden uitgevoerd.

**Tabel 5.2 Vermindering van overschrijding van de AOT40 (gewassen) als gevolg van reductie van NO<sub>x</sub>- en VOS-emissies met 40% ten opzichte van de niveaus van 1990**

| Emissiereductie van 40% van  | NO <sub>x</sub><br>leidt in heel Europa tot een<br>vermindering van de<br>overschrijding van de<br>drempelwaarden voor de<br>bescherming van gewassen met: |                | VOS<br>leidt in heel Europa tot een<br>vermindering van de<br>overschrijding van de<br>drempelwaarden voor de<br>bescherming van gewassen met: |                |
|------------------------------|--|----------------|--|----------------|
|                              | %  | AOT40(ppb/uur) | %  | AOT40(ppb/uur) |
| West-Europa                  | 2  | 86             | 20   | 797            |
| Midden- en Oost-Europa       | 4  | 160            | 3  | 117            |
| Nieuwe Onafhankelijke Staten | 7  | 292            | 3  | 106            |
| Heel Europa                  | 14   | 537            | 26   | 1.020          |

Opmerking: Er wordt uitgegaan van een gemiddelde overschrijding van de AOT40, het drempelniveau voor de bescherming van gewassen, dat is vastgesteld op 3.000 ppb/uur, met 3.900 ppb/uur. De berekeningen zijn gebaseerd op gemiddelde weersomstandigheden in een periode van vijf jaar. Bron: Simpson e.a., 1997

Voor het bereiken van de lagere kritische en drempelniveaus die voor het beschermen van de vegetatie zijn vastgesteld, is het van doorslaggevend belang de totale concentraties van troposferische ozon te verminderen. Daarvoor zijn maatregelen nodig die het gehele noordelijk halfrond bestrijken.

#### **5.5.1. Bron/receptor-relaties en de doeltreffendheid van emissiereducties**

Bron/receptor-relaties zijn bij het ontwikkelen van bestrijdingsstrategieën een krachtig instrument gebleken, met name in het geval van verzuring (Alcamo e.a., 1990). Zij behelzen een berekening van de totale depositie in een gebied door de bijdragen van alle relevante emissiebronnen en stoffen bij elkaar op te tellen. In het geval van ozon is de situatie ingewikkelder, vanwege de niet-lineaire relatie tussen de verschillende precursoren en de invloed van de achtergrondtroposfeer.

Door de algemene behoefte aan kostenverantwoorde en ruimtelijk geoptimaliseerde bestrijdingsstrategieën is de vraag naar bron/receptor-relaties voor ozon met een brede geldigheid toegenomen. Bovendien moet de bijdrage van NO<sub>x</sub> aan het ozonprobleem worden gekoppeld aan de bijdrage van NO<sub>x</sub> aan verzuring en eutrofiëring, teneinde optimale emissiereducties te realiseren opdat de doelstellingen die met betrekking tot deze problemen zijn geformuleerd, binnen handbereik kunnen worden gebracht. Bron/receptor-relaties voor ozon (Heyes e.a., 1996) worden momenteel gebruikt om de ECE te ondersteunen bij het opstellen van het protocol dat meerdere verontreinigende stoffen bestrijkt en gericht is op de bestrijding van meerdere effecten en de Commissie bij de ontwikkeling van een bestrijdingsstrategie voor ozon.

Tabel 5.2 toont de verminderingen in de overschrijding van het kritisch niveau (AOT40) voor de bescherming van gewassen, gemiddeld over Europa, waarvan wordt aangenomen dat ze het resultaat zijn van een reductie van de emissies van NO<sub>x</sub> en VOS met 40% ten opzichte van 1990. Ofschoon de emissies binnen de verschillende landengroepen aanzienlijk varieerden, blijkt uit de gegevens dat toekomstige VOS-reducties het meeste succes in West-Europa zullen hebben, terwijl voor NO<sub>x</sub> lijkt te gelden dat de grootste reductie in de overschrijding van de kritische niveaus wordt bewerkstelligd door

de emissies in Oost-Europa terug te dringen. De cijfers maken echter ook duidelijk dat reducties van 40% lang niet voldoende zijn om de ozonconcentraties zodanig te verlagen dat geen overschrijdingen van de kritische waarden meer plaatsvinden.

***Literatuuropgave:***

Alcamo, J., Shaw, R. en Hordijk, L (1990). The RAINS model of acidification. International Institute for Applied System Analysis. Kluwer, Academic Publishers, Dordrecht, Nederland.

Anderson, H. R., Spix C., Medina S., e.a. (1997). Air pollution and daily admissions for chronic obstructive pulmonary disease in 6 European cities: results from the APHEA project. In Eur Respir J. Vol. 10, p.1064-71.

Beck, J.P. en Grennfelt, P. (1994). Estimate of ozone production and destruction over north-western Europe. Atmospheric Environment, Vol. 28, p. 129-140.

Beck, J.P., Krzyzanowski, M. en Koffi, B. (1998). Tropospheric Ozone in the European Union. The Consolidated Report. Draft report for the European Commission, ETC/AQ-EMA.

Borrego, C., Countinho, M., en Barros, N. (1994). Atmospheric pollution in the Lisbon airshed. Eds: Power, H., Moussiopoulos, N. and Brebbia, C.A. Urban Air Pollution. Computational Mechanics Publications, Southampton, Verenigd Koninkrijk.

Bower, J.S., Stevenson, K.J., Broughton, G.F.J., Lampert, J.E., Sweeney, B.P., Wilken, J. e.a. (1991). Ozone in the UK: A review of 1989/90 data from monitoring sites operated by Warren Spring Laboratory. Stevenage, Verenigd Koninkrijk.

Bower, J.S., Stevenson, K.J., Broughton, G.F.J., Vallance-Plews, J., Lampert, J.E., Sweeney, B.P., Eaton, S.W., Clark, A.G., Willis, P.G., Stacey, B.R.W., Driver, G.S., Laight, S.E., Berwick, R. en Jackson, M.S. (1994). Air Pollution in the UK: 1992/93. Warren Spring Laboratory, Stevenage, Verenigd Koninkrijk.

Brönniman, S. en Neu, U. (1997). Weekend\_weekday differences of near-surface ozone concentrations in Switzerland for different meteorological conditions. Atmospheric Environment, Vol. 31, p. 1127-1135

Europese Commissie (1996). Voorstel voor een richtlijn van het Europees Parlement en de Raad betreffende de kwaliteit van benzine en van dieselbrandstof. Brussel, België.

Cox, R.A., Eggleton, E.J., Derwent, R.G., Lovelock, J.E. en Pack, D.H. (1975). Long-range transport of photochemical ozone in north-western Europe. In Nature, Vol. 255, p. 118-121.

Dumont, G. (1996). Effects of short term measures to reduce ambient ozone concentrations in Brussels and in Belgium. Paper presented at the Ministerial Conference on Tropospheric Ozone in Northwest Europe. Londen, Verenigd Koninkrijk, mei 1996. EMA (1995). Het milieu in Europa, het Dobrisrapport. Red: D. Stanners en P. Bourdeau, Europees Milieuagentschap, Kopenhagen, Denemarken.

EMA-ETC/AE (1997). CORINAIR 1994 Summary Report, EEA Draft Topic Report. EMA, Kopenhagen.

EMA-ETC/AE (1996). CORINAIR 1990 Summary Report 1, EEA Topic Report 7/1996. EMA, Kopenhagen.

Feister, U. en Warmbt, W. (1987). Long-term measurements of surface ozone in the German Democratic Republic. In J. Atmos. Chem., Vol. 5, p. 1-21.

Feister, U. en Pedersen, U. (1989). Ozone measurements January 1985 - December 1985. Report No 1. Potsdam/Lillestrøm, Meteorological Service of the GDR/ Norwegian Institute for Air Research. EMEP/CCC-Report 3/89, Lillestrøm, Noorwegen.

Fuhrer, J. en Achermann, B. (1994). Critical levels for ozone; a UN-ECE workshop report. FAC Report No16. Swiss Federal Research Station for Agricultural Chemistry and Environmental Hygiene, Liebefeld-Bern, Zwitserland.

Grennfelt, P., Saltbones, J. en Schjoldager, J. (1987). Oxidant data collection in OECD-Europe 1985-87 (OXIDATE). April-September 1985. NILU OR 22/87, NILU, Lillestrøm, Noorwegen.

Grennfelt, P., Saltbones, J. en Schjoldager, J. (1988). Oxidant data collection in OECD-Europe 1985-87 (OXIDATE). Report on ozone, nitrogen dioxide and peroxyacetyl nitrate October 1985 - March 1986 and April-September 1986. NILU OR 31/88. NILU, Lillestrøm, Noorwegen.

Grennfelt, P., Hov, Ø., en Derwent, R.G. (1994). Second generation abatement strategies for NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> and VOCs. In Ambio, Vol. 23, p. 425-433.

Guicherit, R. en van Dop, H. (1977). Photochemical production of ozone in Western-Europe (1971-1975) and its relation to meteorology. In Atmospheric Environment, Vol. 11, p. 145-155.



Heyes, C., Schöpp, W., Amann, M., Bertok, I., Cofala, J., Gyarfas, F., Klimont, Z., Makowski, M. en Shibayev, S. (1996). A model for optimizing strategies for controlling ground-level ozone in Europe. IIASA, Laxenburg, Oostenrijk.

Hjellbrekke, A.-G. (1997). Ozone Measurements 1995. EMEP/CCC-Report 3/97. NILU, Kjeller, Noorwegen. de Leeuw, F.A.A.M., Sluyter, R.J.C.F., van Zantvoort, E.D.G. en Larssen, S. (1995). Exceedance of ozone threshold values in the European Community in 1994. EEA Topic Report 1995. EMA, Kopenhagen.

de Leeuw, F.A.A.M en van Zantvoort, E.D.G. (1996). Exceedance of ozone threshold values in the European Community in 1995. EEA Topic Report 29/1996, EMA, Kopenhagen.

de Leeuw, F.A.A.M en van Zantvoort, E.D.G. (1997). Exceedance of ozone threshold values in the European Community in 1996. EEA Topic Report 7/1997, EMA, Kopenhagen.

Malik, S., Simpson, D., Hjellbrekke, A.-G. en ApSimon, H. (1996). Photochemical model calculations over Europe for summer 1990.

- Model results and comparison with observations. EMEP/MSC-W Report 2/96. DNMI, Oslo, Noorwegen.
- Medina, S., Le Tertre, M.A., Dusseux, E., Camard, J.-P. (1997). Analyse des liens à court terme entre pollution atmosphérique et santé. Résultats 1991-1995. ERPURS, ORS, Ile-de-France, Paris.
- Millán, M.M. (1993). Photo-oxidation in the Mediterranean Region: Relevant Atmospheric Processes. In The Proceedings of EUROTRAC Symposium '92. Red: P.M. Borrell. SPB Academic Publishing, Den Haag, Nederland.
- Moussiopoulos, N. (1994). Air pollution in Athens. In Urban Air Pollution. Red: H. Power, N. Moussiopoulos, en C.A. Brebbia. Computational Mechanics Publications, Southampton, Verenigd Koninkrijk.
- Olendrzynski, K. (1997). Emissions. In Transboundary Air Pollution in Europe. Red: Berge E. EMEP/MSC-W Report 1/97. DNMI, Oslo, Noorwegen.
- Ponce de Leon, A., Anderson, H.R., Bland, J.M., Strachan, D.P., Bower, J. (1996). Effects of air pollution on daily hospital admissions for respiratory disease in London between 1987-88 and 1991-92. In J Epidemiol Comm Health, Vol. 50 (Supplement 1): S63-S70.
- PORG; United Kingdom Photochemical Oxidants Review Group (1987). Ozone in the United Kingdom, Londen, Verenigd Koninkrijk. Roemer M.G.M. (1997). Trend analysis of ground level ozone concentrations in Europe. EMEP/CCC-Note 1/97. NILU, Kjeller, Noorwegen.
- Simpson, D. (1995). Biogenic emission in Europe 2: Implications for ozone control strategies. In J. Geophys. Res., Vol. 100, No D11, p. 22891-22906.
- Simpson, D., Olendrzynski, K., Semb, A., Storen, E. en Unger, S. (1997). Photochemical oxidant modelling in Europe: multi-annual modelling and source-receptor relationships. EMEP/MSC-W Report 3/97. DNMI, Oslo, Noorwegen.
- Stahelin, J., Thudium, J., Buehler, R., Volz-Thomas, A. en Graber, W. (1994). Trend in surface ozone concentrations at Arosa (Switzerland). In Atmospheric Environment, Vol. 28, p. 75-87.
- Stohl, A., Williams, E., Wotawa, G. en Kromp-Kolb, H. (1996). A European inventory of soil nitric oxide emissions and the effect of these emissions on the photochemical formation of ozone. In Atmospheric Environment, Vol. 30, p. 3741-3755.
- ECE (1979). The Convention on Long Range Transboundary Air Pollution. VN, New York en Genève, 1979.
- ECE (1996). Red: L. Kärenlampi. en L. Skärby. Critical levels for ozone in Europe: testing and finalising the concepts. UN-ECE workshop report. Universiteit van Kuopio, Finland.
- Volz, A. en Kley, D. (1988). Evaluation of the Montsouris series of ozone measurements made in the nineteenth century. In Nature, Vol. 332, p. 240-242.
- Volz-Thomas, A. (1993). Trends in photo-oxidant concentrations. In: Photo-oxidants: precursors and products, a contribution to sub-project TOR, Proceedings of the EUROTRAC Symposium 92. Red.: P. Borrell e.a., SPB Academic Publishing, Den Haag, Nederland, p. 59-64.
- WHO (1987). Air Quality Guidelines for Europe. Regional Publications, European Series No 23. Wereldgezondheidsorganisatie, Kopenhagen.

WHO (1995). Update and revision of the Air Quality Guidelines for Europe. Meeting of the Working Group "Classical" Air Pollutants. Wereldgezondheidsorganisatie, Kopenhagen.

WHO (1996a). Update and revision of the WHO air quality guidelines for Europe. Classical air pollutants; ozone and other photochemical oxidants. Europees Centrum voor Milieu en Gezondheid, Bilthoven, Nederland.

WHO (1996b). Update and revision of the WHO air quality guidelines for Europe. Ecotoxic effects, ozone effects on vegetation. Europees Centrum voor Milieu en Gezondheid, Bilthoven, Nederland.