

Milieu DOSSIER

Het Milieu Dossier accepteert artikelen die de voortgang in het beleid, het daarmee verbonden onderzoek en de respons in de maatschappij op een toegankelijke manier documenteren. De auteursinstructies voor het schrijven van een bijdrage staan op de VVM-website: www.vvm.info Bijdragen worden beoordeeld door een redactieteam, zie hieronder.

> Naar een geïntegreerd klimaat- en luchtbeleid

Impact klimaatverandering op luchtverontreiniging en gezondheid

Leendert van Bree en Jelmer Cnossen

Het KNMI heeft berekend dat Nederland tweemaal zo snel opwarmt als het wereldgemiddelde. De klimaatgevolgen voor ons land kunnen daarom groter zijn dan tot nu toe is aangenomen. Klimaatverandering kan ook de luchtkwaliteit beïnvloeden, hoewel niet alle gevolgen ongunstig zijn voor de gezondheid. Zonder voldoende klimaatbeleid zal vooral de zomersmog toenemen. Klimaatbeleid alleen is niet voldoende om ook de negatieve gevolgen van de luchtkwaliteit te ondervangen. De kosten voor luchtbeleid vallen wel lager uit door de gunstige effecten van klimaatbeleid.

Het klimaat verandert. Volgens het IPCC is de opwarming van de aarde zeer waarschijnlijk het gevolg van een door de mens veroorzaakte toename in concentraties van broeikasgassen. In het KNMI rapport 'Toestand van het klimaat in Nederland 2008'1 wordt berekend dat Nederland twee maal zo snel opwarmt als de wereldgemiddelde opwarming.

Over de effecten van klimaatverandering op luchtverontreiniging is nog niet zoveel bekend. Maar dat die effecten er zijn, is geen verrassing. Klimaatverandering en luchtvervuiling vinden plaats in dezelfde atmosfeer. Klimaatbeleid heeft daarom ook gevolgen voor luchtverontreiniging. Naar die gevolgen wordt nog steeds volop onderzoek gedaan.

In dit artikel wordt kwalitatief ingegaan op de gevolgen van klimaatverandering en klimaatbeleid voor luchtverontreiniging en de invloed hiervan op de gezondheid.

OVER DE AUTEURS

Dr. L. van Bree (leendert.vanbree@pbl.nl of 030-2742843) is Programmaleider Gezondheid, Welzijn en Integrale Leefomgeving bij het team Leefomgevingskwaliteit van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). **Dr.ir. J.M. Cnossen** is sinds 2007 werkzaam als beleidsonderzoeker luchtkwaliteit bij het team Luchtkwaliteit en Europese Duurzaamheid van het PBL en is onlangs overgestapt naar DCMR, Bureau Lucht.

Gevolgen van klimaatverandering voor luchtverontreiniging

De invloed van klimaatverandering op luchtverontreiniging vindt plaats via processen in de atmosfeer: transport in horizontale en verticale richting, chemische reacties, emissies en verwijdering van luchtverontreiniging. Hoe de luchtkwaliteit hierdoor verandert en wat daarvan de gevolgen zijn, is vanwege de vaak complexe processen niet altijd eenduidig.

Meteorologische invloeden

Weersomstandigheden bepalen voor een deel de luchtkwaliteit door hun invloed op de vorming en verspreiding van luchtverontreiniging. Hieronder volgt een opsomming van de belangrijkste meteorologische invloeden.

Zonnestraling en temperatuur

Door klimaatverandering nemen de gemiddelde temperatuur en de hoeveelheid zonnestraling toe. De toename van zonnestraling is volgens het KNMI waarschijnlijk het gevolg van een afname van de bewolking, vooral bij zuidelijke wind. In dat geval wordt warme, droge lucht uit het snel opwarmende Zuid-Europa aangevoerd. Naast de klimaatinvloed zal ook meer zonnestraling het aardoppervlak bereiken door de afname van fijn stof in de lucht.

Winters worden door klimaatverandering gemiddeld minder koud. Mogelijk dat een grotere kans op (zuid-)westenwind¹, met opwarming door het warmere Noordzeewater, en een kleinere kans op koude lucht uit het oosten, hierbij een rol spelen. Ondanks de warmere winters kunnen extreme koude golven met vorst nog wel optreden.

REDACTIE MILIEU DOSSIER:

prof. dr. Leo Jansen • Jan de Graaf • drs. Maarten van het Bolscher, ministerie van VROM • ir. Emile Schols, RIVM
drs. Maurits Groen, Maurits Groen Milieu & Communicatie • drs. Jan Wijmenga, ministerie van VROM
ir. Eduard Dame, Europese Commissie - DG Milieu • drs. Ruud Bruggeman, DHV bv • dr. Joop van Ham



Veranderende windpatronen

Het KNMI schat in dat de kans op (zuid-)westenwind in het vroege voorjaar toeneemt, wat samenhangt met een toename van de luchtdruk in het Middellandse-Zeegebied in januari tot maart. Dit veroorzaakt niet alleen een grotere temperatuuropenaam in Nederland ten opzichte van de mondiale trend, het zorgt ook voor een verandering in het verspreidingspatroon van luchtverontreiniging.

Naast de veranderende horizontale windpatronen verandert ook de verticale stratosferische circulatie als gevolg van de opwarming van de aarde. Bij extreme koudegolven met vorst is de atmosfeer stabiel als gevolg van een temperatuurinversie laag.

Veranderende neerslagpatronen

Als gevolg van de klimaatverandering worden de winters in Nederland gemiddeld natter en de zomers gemiddeld droger. Verder laten waarnemingen al zien dat de kust natter wordt ten opzichte van het binnenland, volgens het KNMI¹ het gevolg van het warmer wordende Noordzeewater.

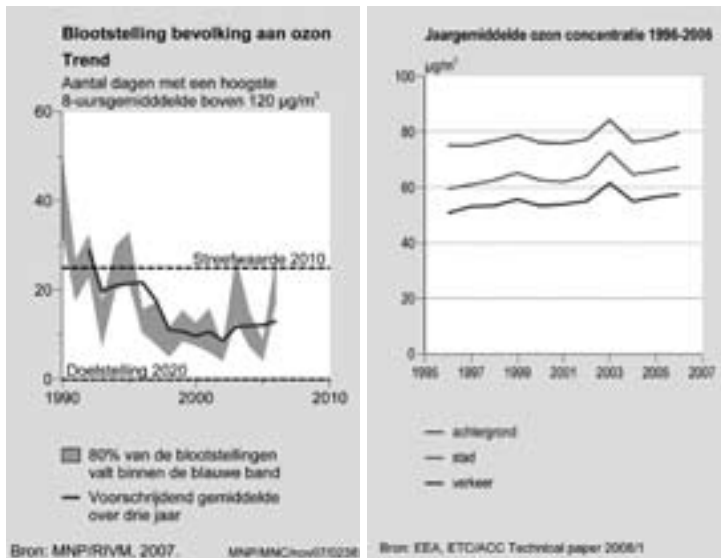
Gevolgen in de zomer

Door toenemende temperatuur en zonnestraling zal de kans op droogte toenemen. Hierdoor stijgt ook de kans op bosbranden waarvan de gevolgen soms op grote afstand merkbaar zijn. Bij bosbranden komen grote hoeveelheden roetdeeltjes en ozonvormende gassen in de atmosfeer terecht. In 1998 werden de gevolgen van hevige bosbranden in Canada nog wekenlang in Europa gemeten. Geschat werd dat bijna 60% van de verhoogde achtergrondconcentratie van koolmonoxide (een ozonvormende stof) afkomstig was van de bosbranden.

Ook de vorming van ozonsmog kan toenemen door toenemende temperatuur en zonnestraling. Ozonsmog treedt vooral op bij een temperatuur boven de 25 graden Celsius. Zulke condities zullen vaker voorkomen door klimaatverandering. In de uitzonderlijke warme zomers van 2003 en 2006 waren er respectievelijk zestien en eenentwintig dagen dat de ozongrenswaarde van 120 µg/m³ werd overschreden, tegenover gemiddeld acht dagen in de minder warme zomers van 2004 en 2005. Het jaar 2003 wordt wel genoemd als model voor de zomer van de toekomst². Dat geldt minder voor de zomer van 2006 omdat in dat jaar, in tegenstelling tot de droogte in de zomer van 2003, een normale neerslaghoeveelheid viel.

Hoewel door een afname van de uitstoot van ozonvormende gassen (stikstofoxiden en vluchtige organische stoffen) kan bijdragen aan kleinere kans op overschrijdingen van ozongrenswaarden in de zomer, kan dit effect teniet gedaan worden door de klimaatverandering. Deze gedachte wordt geïllustreerd door figuur 1 waarin de zomers van 2003 en 2006 duidelijk te zien zijn. Het voortschrijdende gemiddelde over drie jaar van het aantal overschrijdingen neemt door die zomers weer toe.

Ondanks de eerder genoemde afname van ozonvormende gassen in Europa, stijgt het jaarlijkse gemiddelde van de ozonachtergrondconcentratie en die van concentraties in de stad en langs wegen al jaren. Zo blijkt uit metingen over bijna 600 stations in Noord-Europa, weergegeven in figuur 2. Dit wordt volgens klimaatmodellen deels veroorzaakt door een toenemende verticale beweging in de atmosfeer waardoor ozon op grote hoogte naar lagere regionen wordt getransporteerd¹. Hierdoor zal de achtergrondconcentratie van ozon licht toenemen. Intercontinentaal transport van ozon en ozonvormende gassen vanuit Noord-Amerika en (in minder mate) Azië zal naar verwachting niet bijdragen aan de waargenomen verandering in de ozonachtergrondconcentratie. Emissies van ozonvormende gassen



Figuur 1. Trend in overschrijdingen van ozongrenswaarde in Nederland.

Figuur 2. Jaarlijks gemiddelde concentraties van ozon in Noord-Europa voor 1996-2006, voor stad, wegen en landelijke achtergrond³.

in Noord-Amerika zijn namelijk stabiel gebleven en de sterkte van Noord-Atlantische windpatronen is zelfs afgenomen.

Gevolgen in de winter

Wintersmog ontstaat voornamelijk door verhoogde fijnstofconcentraties tijdens stabiel koud weer met vorst. Onder die condities zorgt temperatuurinversie voor een kleinere menglaag waarin een matige verdunning en een opstapeling van stoffen plaatsvindt die in de lucht worden geëmitteerd. 'De vervuiling blijft hangen'. De kans op wintersmog zal afnemen als winters door klimaatverandering gemiddeld minder koud worden. Ondanks de warmere winters door klimaatverandering, kunnen extreme koude golven en daarmee gepaard gaande stabiele condities nog wel steeds optreden.

Veranderende windpatronen zullen ook gevolgen hebben voor de aan- en afvoer van luchtverontreiniging in Nederland. Meer (zuid-)westenwind in de late winter betekent voor Nederland onder andere meer vervuiling van industrie in België en Groot-Brittannië, maar minder uit het Ruhrgebied. Over het netto effect is nog moeilijk iets te zeggen.

Effect klimaatverandering op emissies

Ook emissies worden door klimaatverandering beïnvloed. Antropogene emissies veranderen bijvoorbeeld door gemiddeld minder gebruik van verwarming en meer gebruik van airconditioning in gebouwen. Daarnaast heeft klimaatverandering ook een effect op niet-antropogene emissies zoals biogene emissies. Deze nemen toe door de stijging van temperaturen en concentraties van het planten-groeibevorderende kooldioxide.

Uit recent onderzoek blijkt dat bij het smelten van permafrost in Siberië en Noord-Amerika zeer veel methaan vrijkomt. Methaan is niet alleen een zeer potent broeikasgas, het is ook een ozonvormende stof. Het is aannemelijk dat achtergrondconcentraties van ozon in de troposfeer hierdoor zullen toenemen.

Verwijdering van luchtverontreiniging

Verwijdering van vervuiling vindt voor een belangrijk deel plaats door natte depositie (regenval) en droge depositie (bijvoorbeeld opname door planten), naast chemische reacties. De invloed van

klimaatverandering op verwijdering door depositie is nog moeilijk in te schatten.

De toenemende kans op neerslag in de kustgebieden heeft ook gevolgen voor verwijdering door natte depositie, waarbij vooral de frequentie van regenperiodes belangrijk is, meer dan de neerslaghoeveelheid. Dit kan een gunstig effect hebben op de luchtkwaliteit in kustgebieden en vooral de Randstad. Drogere zomers hebben echter een ongunstig effect. Niet alleen door een afname van verwijdering door natte depositie, maar ook door een toenemende kans op opwaaiend bodemstof.

De netto invloed van klimaatverandering op droge depositie is nog onduidelijk. De opname van planten is complex en wordt op veel manieren beïnvloed. De verwachting is dat in Noord-Europa de temperatuur richting de optimale temperatuur voor droge depositie gaat⁴.

Gevolgen van klimaatbeleid voor luchtverontreiniging

Veel maatregelen tegen klimaatverandering hebben ook gevolgen voor luchtverontreiniging. Hierdoor dringt men naast de uitstoot van broeikasgassen ook die van fijn stof en ozonvormende stoffen (stikstofoxiden, vluchtige organische stoffen en koolmonoxide) terug. Een direct effect hiervan is een minder grote kans op zomersmog omdat door klimaatbeleid de temperatuurstijging en daarmee een toename in ozonvorming wordt afgeremd. Ook indirecte effecten op luchtverontreiniging via klimaatbeleid zijn mogelijk. De gevolgen hoeven echter niet altijd gunstig te zijn.

Gunstige effecten van klimaatbeleid

Een aantal klimaatmaatregelen, vooral die van structurele aard, zijn gericht op de emissiebron. Voorbeelden van zulke bronmaatregelen zijn: efficiëntieverbetering, overstap van kolen op gas in energiecentrales, en zuiniger auto's. Deze maatregelen hebben zowel een gunstig effect op klimaatverandering als op de luchtkwaliteit. Naast het broeikasgas CO₂ wordt ook de uitstoot van ozonvormende stoffen zoals NO_x, CO, VOCs en fijn stof (zoals sulfaat-, nitraat- en roetdeeltjes) beperkt. Andere klimaatmaatregelen die emissies van zowel broeikasgassen als luchtverontreiniging reduceren, zijn bijvoorbeeld heffingen of (vlieg)verkeer of het stimuleren van gedragsverandering van mensen, bijvoorbeeld energiebesparing.

Een veelbesproken klimaatmaatregel is de toepassing van afvang en opslag van CO₂ (CCS). Ook deze maatregel heeft gunstige effecten voor de luchtkwaliteit. Naast een reductie van CO₂ emissies nemen ook de emissies van SO₂ hierdoor sterk af.



In Drenthe wordt momenteel gebouwd aan een geavanceerde mestvergister

Ongunstige effecten van klimaatbeleid

Niet alle klimaatmaatregelen hebben een gunstig effect op de luchtkwaliteit. In de toepassing van bepaalde technieken voor CCS schuilt een gevaar van toenemende emissies van NO_x (door efficiëntievermindering) en NH₃ (door het toegepaste procédé). Deze stoffen leiden tot een toename van ozon en fijnstofconcentraties.

Ook de toepassing van biobrandstoffen als middel om broeikasgasemissies te reduceren, kan (afhankelijk van soort biobrandstof en bijmengpercentage) leiden tot verslechtering van de luchtkwaliteit. Bovendien zullen volgens schattingen emissies in de logistieke en productieketen van biobrandstoffen hoger uitvallen dan bij fossiele brandstoffen het geval is.

In het Beleidsgericht Onderzoeksprogramma Lucht en Klimaat (BOLK)¹¹ door het PBL wordt ingegaan op de effecten van klimaatbeleid op emissies van luchtverontreinigende stoffen in Nederland.

Gezondheidseffecten van luchtverontreiniging bij klimaatverandering

Luchtverontreiniging en gezondheidseffecten

Weersomstandigheden zijn van invloed op de vorming en verspreiding van luchtverontreinigende stoffen. Daarbij kunnen situaties ontstaan waarbij grenswaarden voor luchtverontreiniging worden overschreden, zeker gedurende perioden van zomersmog en wintersmog.

Bij gezondheidseffecten van luchtverontreiniging zijn vooral ozon (op leefniveau) en fijn stof van belang. Verhoogde ozonniveaus treden alleen op in de zomer. Fijn stof is gedurende het gehele jaar aanwezig, met 's winters wat hogere concentraties. Uit gezondheidsonderzoek blijkt dat na kortdurende blootstelling (ozon en fijn stof) en langdurende blootstelling (fijn stof) gezondheidseffecten kunnen optreden, waaronder diverse klachten, afname van long- en luchtwegfuncties, toename van ziekten en ziekenhuisopnamen, soms ook leidend tot voortijdige sterfte met een afname van de levensverwachting van enkele maanden (kortdurende blootstelling) tot enkele jaren (langdurende blootstelling). Er zijn aanwijzingen dat ook langdurende ozonblootstelling gezondheidsschade teweeg kan brengen, maar het gegevensbestand is nog te klein om conclusies op te baseren. Mensen die zich inspannen in de buitenlucht, mensen met ziekten aan hart- en vaatstelsel en luchtwegen, en mensen die extra gevoelig zijn behoren tot de risicogroepen voor ozon en fijn stof. Vanuit de gezondheidsgegevens voor ozon en fijn stof lijkt het erop dat hoe hoger de blootstelling is, hoe groter de omvang en ernst van gezondheidseffecten is.

Klimaatverandering kan van invloed zijn op zowel zomersmog (toename) als wintersmog (afname), niet alleen in landelijke regio's, maar ook in stedelijke gebieden (zie het eerste hoofdstuk in dit artikel). De precieze gevolgen zijn getalsmatig nog onzeker. Wel kunnen daardoor Europese luchtkwaliteitsdoelen onder druk komen te staan, zoals bij zomersmog in regio's en steden.

Ozon en klimaatverandering

Klimaatverandering kan in Nederland leiden tot een toename van het aantal zomerse dagen, waardoor de kans op zomersmog groter wordt. Zomersmog en hittegolven (met hittestress) komen vaak gelijktijdig voor.

Een ander fenomeen, dat voor een deel ook met klimaatverandering samenhangt, is de verhoging van de achtergrondconcentratie van ozon op het hele noordelijk halfrond. Uitgaande van het ontbreken van een drempelwaarde voor effecten, zou een verhoging van deze achtergrondconcentratie van ozon een negatieve invloed op de gezondheid kunnen hebben. Getalsmatig is dit echter nog moeilijk aan te geven.

Fijn stof en klimaatverandering

Wanneer onze winters door klimaatverandering gemiddeld minder koud worden, zal de kans op wintersmog afnemen en dus ook de met wintersmog (fijn stof) verbonden gezondheidseffecten. Bij hogere temperaturen krijgen mensen ook minder last van infecties. Gezien de directe interactie tussen infecties en wintersmog kan klimaatverandering (temperatuurstijging) hier dus een gunstig effect op ziekte en (vervroegde) sterfte hebben.

Samenhangend klimaat- en luchtbeleid

Omdat de impact van emissies op klimaat en luchtkwaliteit per stof verschilt, is het niet eenvoudig om tot geïntegreerd beleid te komen. De vraag is ook wat de beste aanpak is van een samenhangend beleid met het oog op de gezondheid. Omdat ozon zowel broeikasgas is als luchtverontreinigende stof die de gezondheid kan schaden, lijkt ozon een interessant bestrijdingsdoel voor geïntegreerd klimaat- en luchtbeleid. Ook fijn stof lijkt een interessant bestrijdingsdoel voor samenhangend klimaat- en luchtbeleid en dan vooral de fractie primair verbrandingsaerosol (roet), omdat deze fractie, naast een klimaatopwarmend effect, ook als belangrijke fijnstofcomponent voor gezondheidsschade wordt beschouwd⁶. Evenzo geredeneerd lijkt secundair aerosol géén interessant bestrijdingsdoel omdat deze fractie juist klimaatverkoelend werkt en gezondheidskundig minder relevant wordt gevonden. Het is nog lastig te duiden of, en zo ja in welke mate, het fijnstofbeleid uit het verleden, vooral gericht op reductie van secundair aerosol uit oogpunt van bestrijding van verzuring en het terugdringen van ozonvormende stoffen, niet te veel 'klimaatopwarmend' heeft gewerkt ten opzichte van wat nu als 'klimaatkoelend' beleid wordt voorgestaan. Naast ozon en roet, blijkt ook CO als klimaatopwarmer én luchtverontreinigende stof, een goede kandidaat voor geïntegreerd beleid te zijn⁷. Ook methaan als ozonprecursor is geschikt voor geïntegreerd beleid. In Nederland is de melkveehouderij een van de grootste bronnen van methaanemissies. Die emissies kunnen door consumptievermindering en aanpassingen in veevoer worden teruggedrongen. Een andere bron

van methaanemissies is de eerder beschreven smeltende permafrost. Deze is echter alleen tegen te gaan door de opwarming van de aarde af te remmen.

Luchtverontreiniging kan dus een extra reden zijn voor klimaatbeleid. Onderzoek wees uit dat het adopteren van de gemakkelijk beschikbare technologie voor broeikasgasreductie tot reductie van fijnstof- en ozonconcentraties leidt van ongeveer 10%, met als gevolg een aanzienlijke gezondheidswinst^{8,9}.

Beleid in de toekomst

Door de genoemde complicaties wordt er de laatste jaren veel onderzoek gedaan naar mogelijke synergie tussen klimaat- en luchtbeleid. Volgens onderzoek van het EEA is de kans op een succesvolle synergie groter als het beleid gericht is op activiteiten die luchtverontreiniging en broeikasgassen produceren in plaats van beleid op emissie van bepaalde stoffen. Ozon, roet en CO zijn daarom belangrijke aangrijpingspunten voor geïntegreerd klimaat- en luchtbeleid met gunstige effecten op gezondheid.

De gezondheidswinst ten gevolge van klimaatbeleid is echter niet zo groot dat er geen aanvullend luchtbeleid meer gevoerd hoeft te worden om de doelen voor 2020 uit de Thematische Strategie* van de EU te halen. Wel lijken de kosten voor luchtbeleid om die doelen te halen lager uit te vallen door de gunstige effecten van klimaatbeleid. In een recente publicatie van het Climate Action Network Europe¹⁰ wordt berekend dat de monetaire waarden van de gezondheidsbaten met 48% stijgen als de EU de doelstelling voor emissiereductie van broeikasgas in 2020 verhoogt van 20% naar 30%. Deze jaarlijkse extra monetaire gezondheidsbaten, door additionele reducties van fijn stof en stikstof- en zwaveloxiden en hun invloed op de reductie van verloren levensjaren en afname van klachten, chronische bronchitis, ziekenhuisopnamen en verloren arbeidsverlies, worden voorzichtig geschat op een bedrag van tussen 6,5 en 25 miljard Euro.

* Teneinde luchtkwaliteitsniveaus tot stand te brengen "die geen significante negatieve effecten en risico's voor de menselijke gezondheid en het milieu tot gevolg hebben", vult deze thematische strategie de huidige wetgeving aan.

	Maatregel tegen klimaatverandering	Impact luchtkwaliteit	Opmerkingen	
Energie productie	Energie neutraal bouwen	+	Veel nieuwe woningen zijn al energiezuiniger dan oude, maar beschikbare technologie wordt nog niet volledig benut.	
	Verbetering omzettingefficiëntie	+	Efficiëntie van centrales kan nog verbeterd worden.	
	Hernieuwbare energie	Zonne- en windenergie	+	Geen emissies.
		Biomassa	o/-	Biomassa bevat veel stikstof en in sommige gevallen zware metalen. Dit behoeft extra 'end-of-pipe' technologie.
	Kernenergie	+	Geen emissies.	
	Overstap van kolen naar gas	+	Zwavel, stikstofdioxide en fijn stof emissies zijn veel lager voor gas dan voor kolen.	
	Afvang en opslag van kooldioxide	o/-	Verlaagt efficiëntie van centrales en kan leiden tot een toename van stikstofdioxide en ammoniak emissies.	
Transport	Nieuwe en verbeterde technologie	+	Voorbeelden: efficiëntieverhoging van motoren en nieuwe technologie zoals elektrische motoren en brandstofcel.	
	Biobrandstoffen	o/-	Sommige biobrandstoffen leiden tot hogere emissies. Ook toename emissies door aanvoer en verwerking van grondstoffen.	
Industrie	Energie efficiëntie verbetering	+	Voornamelijk minder gebruik van fossiele brandstoffen in productieprocessen.	

Tabel 1. Maatregelen voor klimaatmitigatie en hun effect op luchtkwaliteit.

Referenties

- 1 KNMI, 2008 De toestand van het klimaat 2008.
- 2 MNP, 2005 Effecten van klimaatverandering in Nederland.
- 3 EEA, ETC/ACC, 2008 European exchange of monitoring information and state of the air quality in 2006.
- 4 Accent, 2008 4th ACCENT Barnsdale Expert workshop report. 2008: The impact of Climate Change on Air Quality.
- 5 IPCC, 2007 Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing.
- 6 PBL, 2008 Milieubalans.
- 7 Rypdal et al., 2005 Tropospheric ozone and aerosols in climate agreements: scientific and political challenges. Environmental Science & Policy, 8: 29-43.
- 8 Cifuentes et al., 2001 Climate change. Hidden health benefits of greenhouse gas mitigation. Science, Aug 17; 293(5533):1257-9.
- 9 Cifuentes et al., 2001 Assessing the health benefits of urban air pollution reductions associated with climate change mitigation (2000-2020): Santiago, São Paulo, México City, and New York City. Environ. Health Perspect. 109 (3):419-25.
- 10 CAN Europe, 2008 The co-benefits to health of a strong EU climate change policy.
- 11 Hammingh, P. et. Al. 2008 Effects of Climate Policies on Emissions of Air Pollutants in the Netherlands. First Results of the Dutch Policy Research Programme on Air and Climate (BOLK)
<http://www.pbl.nl/nl/publicaties/2008/index.html>