

EFFECTEN VAN VERGAAND KLIMAAT-BELEID OP LUCHT-VERONTREINIGING IN EUROPA

Emissies van broeikasgassen in Europa moeten in 2050 80-95% lager zijn dan in 1990 om de opwarming van de aarde te beperken tot 2° C. Dit artikel gaat in op de consequenties voor de luchtkwaliteit van verschillende manieren om zo'n vergaande emissiereductie te realiseren.

ROBERT KOELEMEEIJER, FERD SAUTER, CLIFFORD CHUWAH EN MAXIMILIAN POSCH*

| Inleiding

Om de opwarming van de aarde te beperken tot 2° C is het nodig emissies van broeikasgassen in ontwikkelde landen met 80-95% te verminderen in 2050 ten opzichte van 1990. De Europese Commissie¹ heeft geschetst hoe Europa in 2050 een koolstofarme economie kan realiseren. Dit vergt ingrijpende veranderingen in het energiesysteem.² Immers, zo'n 80% van de broeikasgasemissies is gerelateerd aan het energiegebruik. In PBL/ECN³ worden vijf bouwstenen onderscheiden van zo'n emissiearme samenleving die ook in andere studies⁴ als belangrijke elementen naar voren komen:

- 1 energiebesparing;
- 2 inzet van biomassa ter vervanging van fossiele energie;
- 3 het produceren van CO₂-arme elektriciteit, in combinatie met een toenemend belang van elektriciteit in het totale energiegebruik;
- 4 afvang en opslag van CO₂ (CCS);
- 5 verminderen van broeikasgasemissies buiten het energiesysteem (landbouw, procesemissies in de industrie, afvalverwerking).

In dit artikel bekijken we wat de impact van een energietransitie is op de luchtkwaliteit en depositie in Europa. De eerste vier bouwstenen staan in onze analyse centraal. We mogen verwachten dat scenario's met nadruk op bouwstenen 1 en 3 gepaard gaan met duidelijke positieve effecten op de luchtkwaliteit, terwijl dat voor scenario's

met nadruk op bouwstenen 2 en 4 in mindere mate het geval zal zijn.⁵

| Energiescenario's

In onze analyse hebben we verkend waar de hoekpunten van het speelveld liggen: Wat mogen we ten minste verwachten ten aanzien van verbetering van de luchtkwaliteit bij vergaand klimaatbeleid? En wat als het klimaatbeleid zo wordt vormgegeven dat ook de luchtkwaliteit maximaal profiteert? We hebben daartoe een drietal scenario's opgesteld (zie tabel 1):

- 1 een baseline scenario (S1), dat zowel qua vraag als qua aanbod van energie dicht aansluit bij het baseline scenario van de Europese Commissie². Het baseline scenario houdt rekening met het vastgestelde en voorgenomen Europese klimaatbeleid, en leidt tot 40% min-

	Scenario 1 (S1)	Scenario 2 (S2)	Scenario 3 (S3)
Globale duiding van scenario	Baseline	Nadruk op biomassa en CCS	Nadruk op besparing en CO ₂ -arme elektriciteit
Emissiereductie	-40%	-80%	-80%
Economische groei	1,7% per jaar	1,7% per jaar	1,7% per jaar
Uitgangspunt activiteitsniveaus	EC reference scenario	EC reference scenario	EC energy efficiency scenario
Samenstelling wagenpark personen auto's	60% verbrandingsmotor; 40% (plug-in) hybride; 0% volledig elektrisch	40% verbrandingsmotor; 40% (plug-in) hybride; 20% volledig elektrisch	0% verbrandingsmotor; 40% (plug-in) hybride; 60% volledig elektrisch
Uitgangspunten voor zeevaart en luchtvaart	IEA referentiescenario	IEA blue-map scenario	IEA blue-map scenario
Primair energiegebruik	71.800 PJ	75.700 PJ	42.900 PJ
Finaal energiegebruik	51.100 PJ	49.100 PJ	29.900 PJ
Biomassa-inzet	10.500 PJ	19.900 PJ	11.500 PJ
Elektriciteitsproductie	4210 TWh	4330 TWh	3130 TWh
Aandeel biomassa in primair energiegebruik	15%	26%	27%
Aandeel elektriciteit in finaal energiegebruik	30%	32%	38%
Afgevangen CO ₂	390 Mton	1990 Mton	340 Mton

Tabel 1: Kerngegevens van verschillende scenario's voor het jaar 2050.

- der broeikasgasemissies in de EU27 in 2050. Verondersteld is dat het emissieplafond voor het Europese CO₂-handelsstelsel (ETS) tot 2050 afneemt met 1,74% per jaar;
- 2 een koolstofarm scenario (S2), waarbij de nadruk ligt op inzet van biomassa en CCS, leidend tot 80% reductie van broeikasgasemissies in de EU27;
 - 3 een koolstofarm scenario (S3), waarbij de nadruk ligt op energiebesparing en CO₂-arme elektriciteit, eveneens leidend tot 80% reductie van broeikasgasemissies.

Voor de vraagkant naar finale energie (en activiteitsniveaus) in de eindgebruiksectoren (gebouwde omgeving, transport, industrie, landbouw) hebben we de scenario's laten aansluiten bij de routekaart Energie van de Europese Commissie². Het energiegebruik door internationale zee- en luchtvaart (buiten de EU27) is niet meegenomen in de EC-scenario's. Voor deze sectoren is daarom aangesloten bij energiescenario's van het IEA⁶.

Voor het modelleren van de aanbod- en conversiekant van energie hebben we gebruikgemaakt van het model E-design. Dit model is ontwikkeld door

PBL en ECN en is toegepast voor Nederland ten behoeve van de klimaatbrief van het kabinet-Rutte.^{3,7} Voor deze studie hebben we een aangepaste versie van het model toegepast voor de EU27 als geheel. Omdat de emissies buiten het energiesysteem minder ver kunnen worden teruggebracht dan die in het energiesysteem¹, veronderstellen we in de scenario's met 80% vermindering van broeikasgasemissies dat de energiegerelateerde emissies met 85% moeten afnemen.

De resulterende inzet van primaire energie is weergegeven in figuur 1. Te zien is dat de energievraag in de baseline (scenario S1) iets boven de 70.000 PJ ligt, en dus iets onder het niveau in 2005 (77.000 PJ). In scenario S3 (*energy efficiency*) is het energiegebruik fors lager dan in scenario's S1 en S2, terwijl dat in scenario S2 (waarin een 80% emissiereductie wordt bereikt) juist iets hoger ligt dan in scenario S1. In scena-

DE BIJDRAGE VAN ZEEVAART AAN DE TOTALE
EMISSIES VAN NO_x IN EUROPA NEEMT TOE VAN
RUIM 20% NU NAAR ZO'N 50-60% IN 2050

rio S2 kan nog relatief veel fossiele brandstof worden gebruikt vanwege de inzet van CCS. De inzet van biomassa in combinatie met CCS speelt in scenario S2 een belangrijke rol bij de emissievermindering. Door deze combinatie treden in sommige sectoren negatieve emissies op, omdat per saldo CO₂ uit de atmosfeer wordt verwijderd. Immers, de CO₂ die in biomassa is vastgelegd en is opgenomen vanuit de atmosfeer wordt vervolgens permanent in de ondergrond vastgelegd.

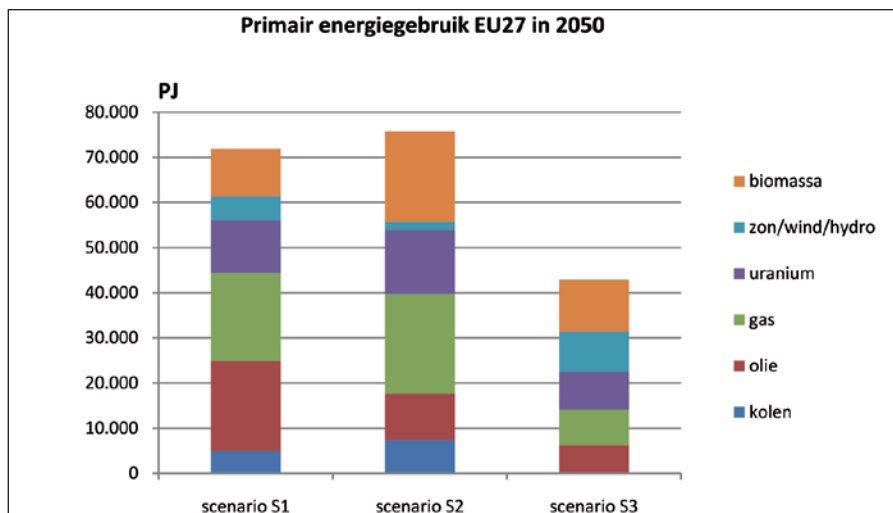
Emissieontwikkelingen luchtverontreinigende stoffen

De resulterende inzet van energiedragers per sector zijn voor de drie scenario's vermenigvuldigd met sector- en brandstofspectifieke emissiefactoren voor de diverse luchtverontreinigende stoffen, zoals afgeleid uit het GAINS-model⁸.

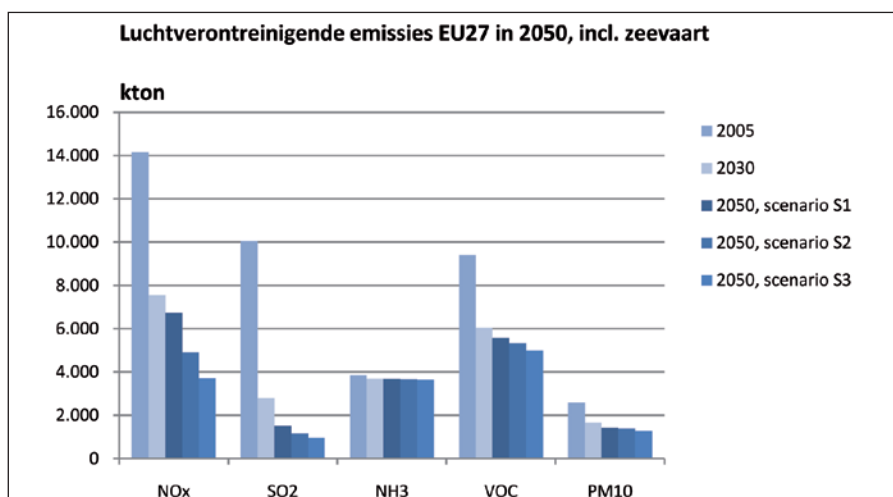
Als CCS wordt toegepast, is rekening gehouden met extra brandstofinzet die nodig is voor de afvang van CO₂.

Hierdoor neemt de NO_x-uitstoot toe. Bij toepassing van CCS is verondersteld dat er nauwelijks meer SO₂ vrijkomt.⁹ Niet-energiegerelateerde emissies, zoals NH₃ uit de landbouw en procesemissies in de industrie, zijn constant gehouden aan die van de GAINS-baseline voor 2030. De effecten van de klimaatmaatregelen in de verschillende scenario's op emissies zijn weergegeven in figuur 2. Enkele opvallende zaken zijn:

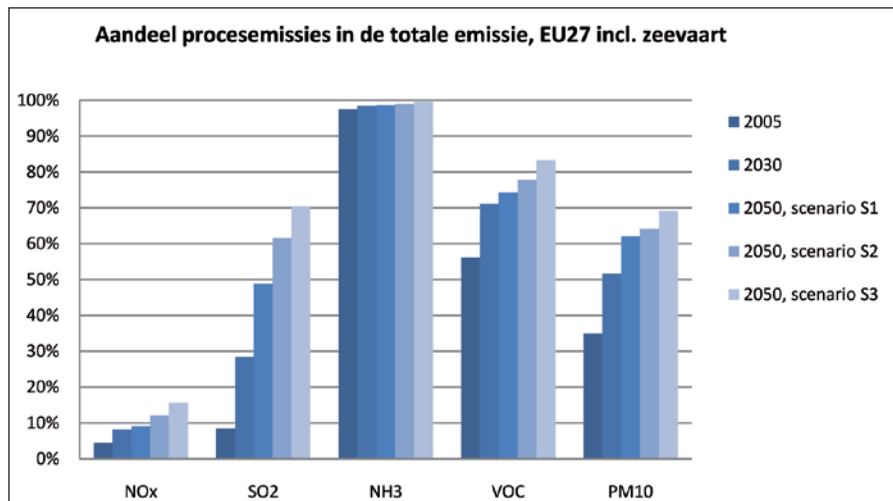
- de emissies van met name NO_x, SO₂, VOC en PM₁₀ dalen al fors met het vastgestelde luchtbeleid, terwijl dat voor NH₃ veel minder het geval is;
- het aandeel procesemissies (figuur 3) wordt voor alle stoffen belangrijker. Bij SO₂ worden de procesemissies zelfs dominant, terwijl deze nu zo'n 10% van de emissies uitmaken. Deze procesemissies van SO₂ zijn vooral het gevolg van productie van



Figuur 1: Primair energiegebruik voor de EU27 in 2050 (incl. internationaal transport) in verschillende scenario's.



Figuur 2: Emissies van luchtverontreinigende stoffen in 2005 (realisatie), de verwachte emissie in 2030 met vastgesteld luchtbeleid, en in 2050 volgens verschillende scenario's. De emissies zijn inclusief die van internationale zeevaart.



Figuur 3: Het aandeel procesemissies (niet gerelateerd aan verbranding) in de emissie van de EU27 als geheel (inclusief zeevaart).

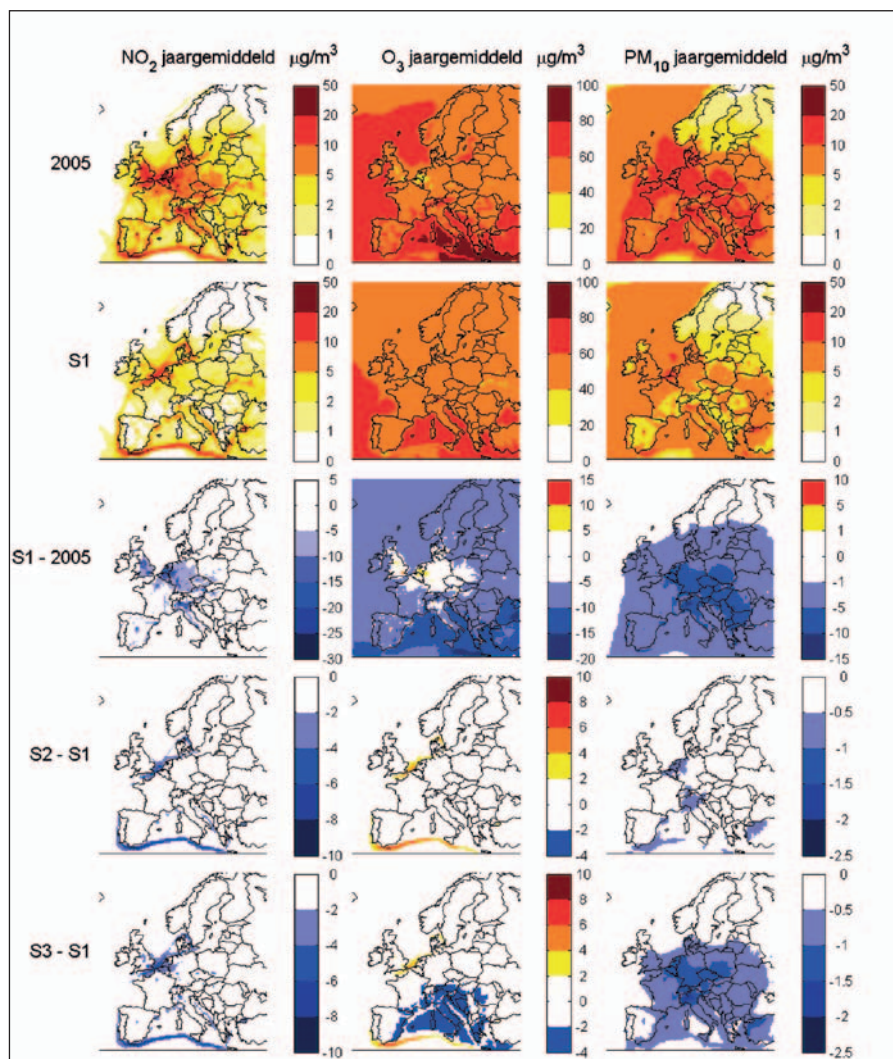
cement, non-ferrometalen en zwa-
velzuur en raffinage van aardolie –
hetgeen ook in 2050 in de
beschouwde scenario's nog voor
50% of meer de vraag naar vloeibare
transportbrandstoffen dekt;

- de bijdrage van zeevaart aan de
totale emissies van NO_x in Europa
neemt toe van ruim 20% nu naar
zo'n 50-60% in 2050. Verondersteld
is dat de zeevaart blijft varen op
vloeibare transportbrandstof (uit
aardolie of biomassa), waardoor de
 NO_x -emissies relatief hoog blijven;
- de relatieve bijdrage van de land-
bouw aan de stikstofemissie naar
de lucht neemt sterk toe, tot 75% in
de baseline en 80-90% in 2050 in de
klimaatmitigatiescenario's, omdat
de uitstoot van andere bronnen
sterk afneemt.

Effecten op luchtkwaliteit en depositie

De hiervoor genoemde emissies zijn
ingebracht in het chemie-transport-
model LOTOS-EUROS.¹⁰ De sectorale
emissies van bronnen op land van de
EU27 zijn verdeeld naar landen op basis
van de emissieverdeling uit GAINS voor
2030.

Het domein van LOTOS-EUROS is groter
dan dat van de EU27-landen, en daar-
om zijn ook voor andere Europese lan-
den aannames gemaakt over emissie-
veranderingen. Voor de randvoorwaar-
den hebben we gebruikgemaakt van
berekeningen van het mondiale che-
mie-transportmodel TM5¹¹, dat gevoed
werd met emissies uit het RCP2.6-



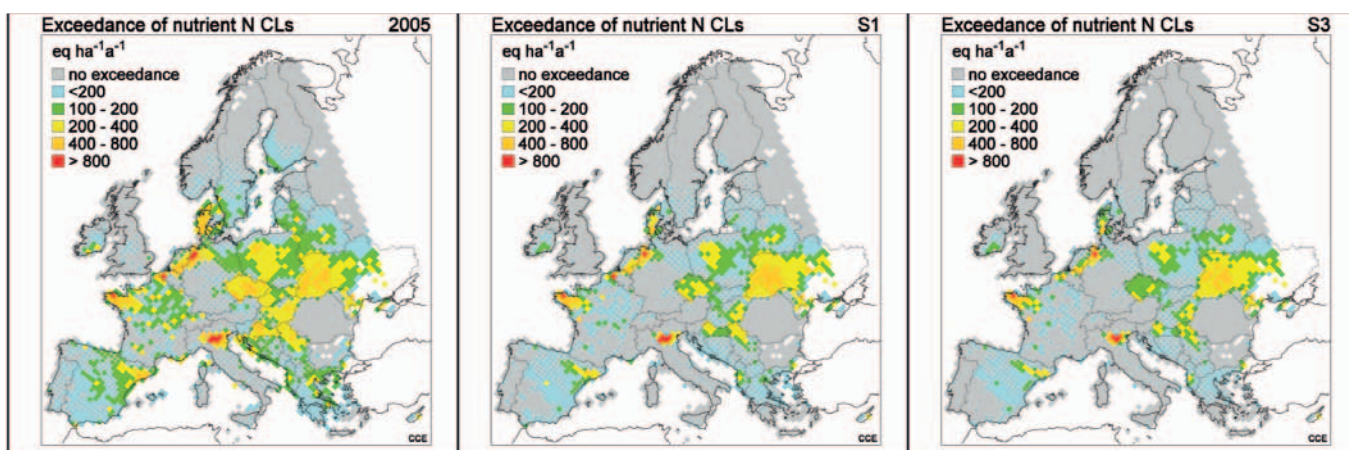
Figuur 4: Jaargemiddelde concentraties van NO_2 (links), O_3 (midden) en PM_{10} (rechts). Rij 1: in 2005; rij 2: in 2050 met voorgenoemd klimaatbeleid; rij 3: verandering tussen 2005 en 2050 door vastgesteld en voorgenoemd beleid; rij 4: aanvullend effect in 2050 bij vergaand klimaatbeleid met nadruk op CCS en biomassa; rij 5: aanvullend effect in 2050 bij vergaand klimaatbeleid met nadruk op besparing en CO_2 -vrije elektriciteit. NB: let op de andere schaal van de onderste twee rijen ten opzichte van die in rij 3.

scenario¹². In de chemie-transport-
berekeningen is 2005-meteorologie
gebruikt. Het jaar is als representatief
beschouwd voor het huidige klimaat.
Effecten van een veranderend klimaat
(temperatuur, neerslag) zijn dus niet
meegenomen in de berekeningen.
De berekende jaargemiddelde concen-
traties van NO_2 , O_3 en PM_{10} zijn weerge-
geven in figuur 4, voor 2005 en voor

2050 (S1 = baseline). Verschilkaartjes
tonen de effecten van het vastgestelde
en voorgenoemd lucht- en klimaat-
beleid (S1-2005), en de effecten van ver-
gaand klimaatbeleid (scenario's S2 en
S3) ten opzichte van de baseline voor
2050. Opvallende zaken zijn:

- de jaargemiddelde NO_2 -
concentraties in Europa halveren
ruwweg tussen 2005 en 2050 in de
baseline. Vergaand klimaatbeleid
leidt tot een extra concentratie-
daling op zee (door lagere emissies
van zeevaart). Boven land daalt in
geval van scenario S3 (met een hoog
aandeel elektrische auto's) de groot-
schalige NO_2 -concentratie in dicht-
bevolkte gebieden met zo'n 30%
extra (2-4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$);

DE JAARGEMIDDELTE OZONCONCENTRATIES
DALEN IN DE BASELINE MET CIRCA 10-20% IN
VRIJWEL GEHEEL EUROPA, BEHALVE IN
NEDERLAND EN OMGEVING



Figuur 5: Mate van overschrijding van kritieke niveaus voor stikstof in 2005, in 2050 (baseline, scenario S1) en 2050 met vergaand klimaatbeleid (scenario S3).

- de jaargemiddelde ozonconcentraties dalen in de baseline met circa 10-20% in vrijwel geheel Europa, behalve in Nederland en omgeving. Dit komt doordat de atmosfeer in Nederland en omgeving momenteel sterk NO_x-verzaadigd is, hetgeen tot ozonafbraak leidt. Bij vermindering van NO_x-emissies neemt dit titratie-effect af, hetgeen tot meer ozonvorming leidt;
- de jaargemiddelde concentraties PM₁₀ dalen met ruwweg 30-40% tussen 2005 en 2050 in de baseline. Met vergaand klimaatbeleid met nadruk op energiebesparing en gebruik van CO₂-arme elektriciteit (S3) daalt de grootschalige concentratie in dichtbevolkt gebied met nog eens 15% extra (1-2 µg/m³).

Bedacht moet worden dat op straatniveau de concentraties sterker zullen dalen dan de grootschalige achtergrondconcentraties. Omdat uitlaatemissies van verkeer tot de gezondheidskundig meest relevante fractie van fijn stof behoren, kan vergaand klimaatbeleid en forse groei van het aandeel elektrische auto's een belangrijkere bijdrage leveren aan de gezondheidswinst dan de grootschalige concentratieverandering van fijn stof suggereert.

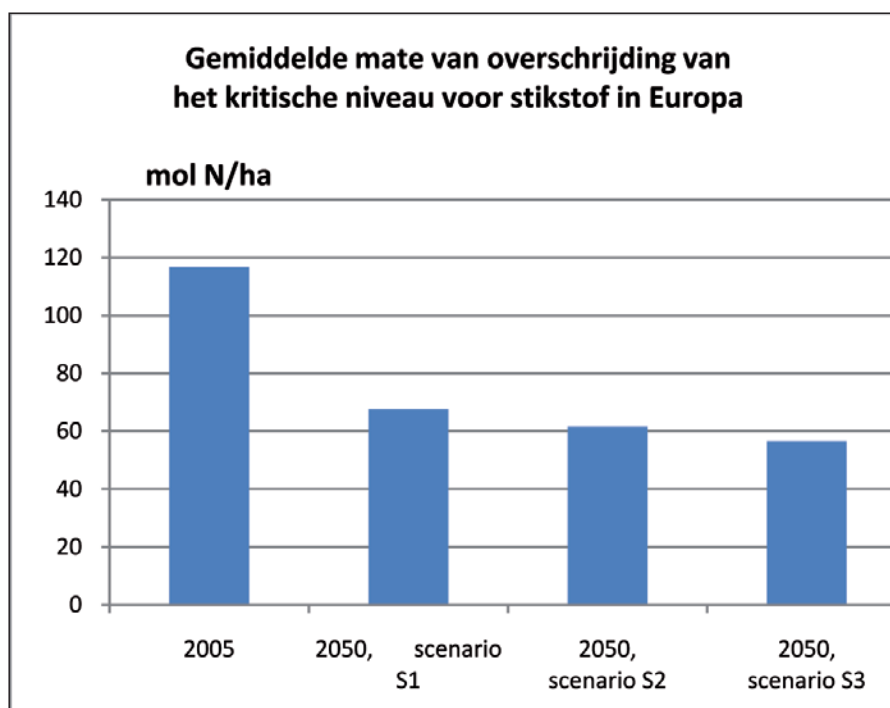
Figuur 5 geeft de mate van overschrijding van het kritieke niveau voor stikstofdepositie op natuur. Het areaal natuur in Europa (alle zgn. EUNIS-klassen¹³) dat nog blootgesteld is aan risico's op eutrofiering, neemt af van 35% in 2005 tot 22% in de baseline in 2050. Dit areaal neemt met vergaand

klimaatbeleid verder af tot 20% (S2) -19% (S3).
 Figuur 6 presenteert de gemiddelde mate van overschrijding voor gebieden die in 2005 waren blootgesteld aan stikstofdepositie boven het kritieke niveau. De mate van overschrijding van de kritieke niveaus voor stikstof neemt, voor gebieden die in 2005 te maken hadden met een overschrijding, in de baseline (S1) af met zo'n 40% ten opzichte van 2005. Bij vergaand klimaatbeleid neemt dit af met zo'n 50% (in geval van het gunstigste scenario voor luchtkwaliteit, S3). Het areaal natuur dat te maken heeft met over-

schrijding van kritische niveaus voor verzuring neemt met het huidige beleid al sterk af¹³ en is hier niet nader gepresenteerd. Doordat emissies van stikstof vanuit de landbouw nauwelijks afnemen in de geanalyseerde scenario's, blijft de stikstofproblematiek nog een hardnekkig probleem in gebieden waar gevoelige natuur en landbouw dicht op elkaar zitten.

Conclusie
 Met het vastgestelde en voorgenomen beleid zal de luchtkwaliteit in Europa de komende decennia sterk verbeteren. Concentraties fijn stof (PM₁₀) dalen met

Figuur 6: Gemiddelde mate van overschrijding van het kritieke niveau voor stikstofdepositie, voor gebieden die in 2005 waren blootgesteld aan stikstofdepositie boven het kritieke niveau.



ruwweg 30-40% tussen 2005 en 2050. Bij vergaand klimaatbeleid zet deze verbetering verder door. In dat geval kan de grootschalige concentratie fijn stof in dichtbevolkt gebied met nog eens 15% extra afnemen. Om in Nederland en omgeving de jaargemiddelde ozonconcentraties te verminderen, zijn voor ozonprecursoren (inclusief methaan) sterkere emissiereducties nodig dan voorzien met ambitieus klimaatbeleid van de EU en RCP2.6. Volgens IIASA zijn aanvullende maatregelen in Azië kosteneffectiever dan aanvullende maatregelen binnen Europa zelf.¹⁴ Meer aandacht daarvoor in internationale samenwerkingsprojecten zou dus voor zowel Europa als Azië voordelen bieden. Ook de stikstofuitstoot neemt af, behalve in de landbouw, waardoor de stikstofproblematiek nog hardnekkig blijft in gebieden waar gevoelige natuur en landbouw dicht op elkaar zitten.

Dankwoord

Dit werk is uitgevoerd als samenwerkingsproject onder de vlag van het Nationaal Modellen- en Datacentrum (NMDC, www.nmdc.eu). We zijn het Coordination Centre for Effects (CCE) van het RIVM erkentelijk voor het verzamelen van gegevens over critical loads in Europa. We bedanken Pieter

Hammingh voor zijn hulp bij het opstellen van de emissiescenario's voor de zeevaart.

Referenties

1. EC (2011). Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050, COM(2011) 112 final, Brussels.
2. EC (2011). Energy roadmap 2050. COM(2011) 885/2, Brussels.
3. PBL/ECN (2011). Naar een schone economie in 2050, PBL-rapport 500083014, Den Haag/Bilthoven.
4. Colette, et al. (2012). Cobenefits of climate and air pollution regulations, ETC/ACM Technical Paper 2011/20.
5. Hammingh, P., Smekens, K.E.L., Plomp, A.J., Koelemeijer, R.B.A. (2010). Co-impacts of climate policies on air polluting emissions in the Netherlands, PBL rapport 500146003, PBL/ECN, Bilthoven.
6. IEA (2010). Energy Technology Perspectives - Scenarios & Strategies to 2050, IEA, Paris.
7. I&M (2011). Klimaatbrief 2050 - Uitdagingen voor Nederland bij het streven naar een concurrerend, klimaatneutraal Europa.
8. Amann, M. et al., (2011). Cost-effective control of air quality and greenhouse gases in Europe: Modeling and policy applications, Environmental Modelling & Software, 26, p. 1489-1501.
9. Van Horssen, A., et al. (2009). The impact of CO₂ capture technologies in power generation and industry on greenhouse gases emissions and air pollutants in the Netherlands, TNO/Utrecht University, Utrecht.
10. Schaap, M., et al. (2008). The LOTOS-EUROS model: description, validation and latest developments, Int. J. Environment and Pollution 32, p. 270-290.
11. Krol, M., et al. (2005). The two-way nested global chemistry-transport zoom model TM5: algorithm and applications, Atmos. Chem. Phys. 5, p. 417-432.
12. Van Vuuren, D., et al. (2011). RCP2.6: exploring the possibility to keep global mean temperature increase below 2°C, Climatic Change 109, p. 95-116.
13. CCE (2011). Modelling Critical Thresholds and Temporal Changes of Geochemistry and Vegetation diversity, CCE Status Report 2011, RIVM, Bilthoven.
14. Van Pul, W.A.J., et al. (2011). Dossier Ozon 2011, RIVM rapport 680151001, RIVM, Bilthoven.

* Robert Koelemeijer is werkzaam bij PBL, Ferd Sauter en Maximilian Posch zijn werkzaam bij het RIVM. Clifford Chuwah is werkzaam bij KNMI en PBL.