

RIVM rapport 725501 002

**Evaluatie van de Verzuringsdoelstellingen:**  
de emissievarianten

J.P. Beck, L. van Bree, M. van Esbroek, J. Freijer,  
A. van Hinsberg, M. Marra, K. van Velze,  
H.A. Vissenberg, W.A.J. van Pul

juli 2001

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van DGM, in het kader van project 725501, Verzekering en Grootschalige Luchtverontreiniging, mijlpaal Evaluatie van de Verzuringsdoelstellingen.

## Abstract

Deposition of sulphur dioxide (SO<sub>2</sub>), nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) and ammonia (NH<sub>3</sub>) from the atmosphere can cause damage to ecosystems. Direct exposure to these substances and ozone (O<sub>3</sub>), formed from NO<sub>x</sub> and Volatile Organic Compounds (VOC), can lead to effects on humans, ecosystems and materials. This cluster of substances (including particulate matter (PM) due to its link to acidifying species) and effects is termed "acidification". In the current Dutch policy on acidification, dating from 1989, goals to abate effects of acidification are formulated so as to reduce emissions and depositions of the above substances. The Third Dutch National Environmental Policy Plan (NMP3) stated that these goals should be updated according to new scientific understanding, in particular, with respect to the critical loads for acidifying deposition. In this report the deposition and concentration levels of acidifying components and ozone have been calculated for a number of emission variants for 2010, 2020 and 2030. These levels are compared to the new critical deposition loads and the current and foreseen EU air quality guidelines. A human health risk analysis has also been carried out on the basis of these data.

The emission variants for 2010 are constructed by assuming a) that the Dutch emissions will follow the National Emission Ceilings directive, the UN-ECE-CLRTAP acidification Göteborg protocol or a maximum feasible emission reduction, and b) that the foreign emissions will follow the NEC directive or the UN-ECE protocol. In the 2020 emission variant the emission goals are assumed to be similar to the 2010 goals, as stated in the NMP3. Emissions that will meet sustainable environmental levels for 2030 were estimated.

Calculations show the environmental quality in 2010 to generally improve compared to the reference year of 1997. The acidifying and eutrophying deposition decreases by 30-40%. However, critical loads are still exceeded in 75% of the ecosystems. The 95-percentile of the ozone concentration decreases by 5 µg.m<sup>-3</sup>. Contrary to this, the yearly averaged ozone concentration increases by 10 µg.m<sup>-3</sup>, and the yearly averaged NO<sub>2</sub> and particulate matter (PM<sub>10</sub>) concentrations decrease by 30% and 25%, respectively. The human health effects will increase in 2010 because of the proportional increase in the age of the population and the calculated increase in the yearly averaged ozone level. The latter is based on a linear concentration effect–response relationship. In general, the differences between these environmental quality indicators of the emission variants for 2010 are small, in the order of 10%. The environmental quality calculated in the 2020 and 2030 variants will further increase.

# Inhoud

<b>Samenvatting</b>	<b>5</b>
<b>1. Inleiding</b>	<b>11</b>
<b>2. Emissievarianten</b>	<b>13</b>
<b>3. Depositie en effecten op milieu en natuur</b>	<b>17</b>
3.1 <i>Potentieel zuurdepositie en effecten op milieu en natuur</i>	21
3.1.1 Potentieel zuurdepositie	21
3.1.2 Bescherming van landecosystemen	26
3.1.3 Overschrijding van de kritische depositieniveaus	32
3.2 <i>Depositie van stikstof en effecten op milieu en natuur</i>	37
3.2.1 Stikstofdepositie	37
3.2.2 Bescherming van landecosystemen	42
3.2.3 Overschrijding van de kritische depositieniveaus	48
3.3 <i>Effecten van een ruimtelijk herverdeling van ammoniakemissies op milieu en natuur</i>	53
3.3.1 Methode	53
3.3.2 Optimale ammoniakemissieverdeling per provincie	54
<b>4. Ozon, fijn stof en NO<sub>2</sub></b>	<b>57</b>
4.1 <i>Luchtkwaliteit ozon</i>	57
4.1.1 Algemeen beeld van ontwikkelingen luchtkwaliteit ozon	57
4.1.2 Potentiële blootstelling van de bevolking	59
4.1.3 Blootstelling van vegetatie	60
4.1.4 EU informatiedrempel	61
4.2 <i>Luchtkwaliteit fijn stof</i>	62
4.3 <i>Luchtkwaliteit NO<sub>2</sub></i>	63
4.3.1 Algemeen beeld van ontwikkelingen luchtkwaliteit NO <sub>2</sub>	63
<b>5. Kwantitatieve gezondheidsrisico-evaluatie</b>	<b>67</b>
<b>6. Conclusies</b>	<b>73</b>
<b>Literatuur</b>	<b>75</b>
<b>Bijlage 1 Verzendlijst</b>	<b>79</b>
<b>Bijlage 2 Selectie van voorbeeldgebieden</b>	<b>83</b>
<b>Bijlage 3 Meting en modellering van ozon</b>	<b>85</b>
<b>Bijlage 4 Gezondheidsrisico-evaluatie: Basisgegevens, methoden en achtergrondinformatie</b>	<b>89</b>



## Samenvatting

### *Algemeen*

Aan de in het NMP3 aangekondigde evaluatie van de verzuringsdoelstellingen is door het RIVM in twee fasen bijgedragen. In de eerste fase is gewerkt aan de rapportage *Evaluatie van de verzuringsdoelstellingen: de onderbouwing* (Albers *et al.*, 2000). In dat rapport wordt de huidige kennis op het terrein van het thema verzuring bijeengebracht en wordt aangegeven in hoeverre die is gewijzigd ten opzichte van de periode waarin de huidige verzuringsdoelstellingen zijn vastgesteld (in 1989). In de tweede fase zijn nieuwe inzichten in het modelinstrumentarium verwerkt en is een aantal emissievarianten doorgerekend. Hiervan wordt in het voorliggende rapport verslag gedaan. Het doel van deze berekeningen is om inzicht te krijgen in de onderlinge samenhang van emissies, milieukwaliteit en gezondheidsrisico's ten behoeve van nieuw te formuleren milieukwaliteits- en emissiedoelstellingen in het NMP4. De volgende milieukwaliteitsparameters zijn bekeken: de effecten van potentieel zuur- en stikstofdepositie, de directe effecten van ozon op vegetatie en de effecten op de volksgezondheid van ozon, stikstofdioxide en fijn stof.

### *De emissievarianten*

Er zijn zeven emissieniveaus voor de verzurende stoffen (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> en VOS) doorgerekend (tabel A). Daarbij is gebruik gemaakt van internationale afspraken en emissiedoelen uit het NMP3. Verondersteld is dat de buitenlandse emissies worden gereduceerd conform het Göteborg-protocol en de in de EU voorgestelde National Emission Ceiling (NEC) richtlijn. Hier zijn de NEC voorstellen van de Europese Commissie uit 1999 gebruikt. Deze stellen aanzienlijk verdere reducties dan de Göteborg-afspraken voor. Ondertussen heeft de Europese Milieuraad echter een gemeenschappelijk standpunt ingenomen over emissieplafonds, die ongeveer op het niveau van het Göteborg protocol liggen. Voor Nederland ligt het nieuwe NEC-plafond voor NO<sub>x</sub> en VOS 6 kton onder het Göteborg protocol, terwijl de SO<sub>2</sub> en NH<sub>3</sub> getallen identiek zijn. Het Europees Parlement houdt, behalve voor NH<sub>3</sub>, vast aan de oorspronkelijke getallen van de Commissie. Na afronding van de conciliatie procedure wordt de NEC richtlijn naar verwachting midden 2001 van kracht. Ook om voldoende 'bandbreedte' te houden zijn de NEC-voorstellen uit 1999 in deze studie gehandhaafd.

Vanwege de grote invloed van ammoniakemissies op de nabije natuur is één variant gericht op lokale maatregelen. Hierin zijn de ammoniakemissies uit de landbouw per provincie ruimtelijk zo verdeeld dat de effecten van stikstofdepositie op milieu en natuur geminimaliseerd zijn. Aanvullend is in een samenwerkingsverband van verschillende departementen een variant samengesteld die een extra inzet van maatregelen in Nederland beschrijft. Daarnaast zijn de ambitieuze NMP3 emissiedoelen voor 2010 gecombineerd met soortgelijke aanpakken voor de emissies in het buitenland met behulp van het MFR-scenario (Amann *et al.*, 1999). In dit MFR-scenario wordt de opbrengst van een maximale beleidsinspanning in de komende 10 jaar beschreven. Ook is teruggerekend van een bepaalde gewenste milieukwaliteit naar emissies. Voor het gewenste kwaliteitsbeeld is het door DGM gedefinieerde hoog beschermingspercentage van de natuur tegen depositie van potentieel zuur en stikstof gebruikt.

Het doel van de studie is het in beeld brengen van de relatie tussen emissies en effecten bij verschillende emissieniveaus. Daarom is geen aandacht besteed aan de wijze waarop emissies worden bereikt; de varianten zijn dus niet beoordeeld op beleidseffectiviteit en doelmatigheid.

Om redenen van herkenbaarheid zijn de zeven emissievarianten gelabeld met een naam en een tentatief jaartal (tabel A).

*Tabel A Overzicht van de doorgerekende emissievarianten*

Variant	Omschrijving			Emissie in Nederland (kton)				
	Nederland	EU landen	Overig buitenland	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	VOS	PM <sub>10</sub>
<b>2010-basis</b>	NEC	Göt	Göt	238	50	104	156	27
<b>2010-NH<sub>3</sub> optimaal</b>	NEC, NH <sub>3</sub> optimaal	Göt	Göt	238	50	104		
<b>2010-NEC</b>	NEC	NEC	Göt	238	50	104	156	27
<b>2010-Göteborg</b>	Göt	Göt	Göt	266	50	128	191	27
<b>2010-NL extra</b>	Extra inzet maatregelen	Göt	Göt	215	40	88	145	27
<b>2020-NMP3</b>	NMP3	MFR	MFR	120	40	54	117	
<b>2030</b>	kwaliteit streefbeeld	Evenr. reducties	Evenr. reducties	70	25	30	50	

Göt = Göteborg protocol, NEC = NEC Commissie voorstel, MFR=MFR scenario.

#### *Potentieel zuur- en stikstofdepositie*

Het verschil tussen de huidige situatie (1997) en de varianten in 2010 is aanzienlijk, desondanks blijven er grote knelpunten bestaan (tabel B en C). De 2010 depositiedoelstellingen uit NMP3 van 1400 mol potentieel zuur/ha/jaar en 1000 mol stikstof/ha/jaar worden de komende 10 jaar niet gehaald (tabel B). Het Göteborg protocol en de oorspronkelijke NEC-plafonds zijn onvoldoende om deze depositiedoelen te halen. Ook extra Nederlands beleid in aanvulling op het Göteborg protocol is ontoereikend. Het percentage hectaren ecosysteem dat onbeschermd is (c.q. areaal met depositieniveaus boven de kritische depositieniveaus) voor potentieel zuur en stikstof blijft de komende 10 jaar in alle varianten in grote delen van Nederland en met name in het zuid-oosten boven de 75%. Het effect van extra emissiereducties in Nederland in aanvulling op het Göteborg protocol heeft niettemin een belangrijke invloed op het terugdringen van de gesommeerde overschrijdingen van de kritische depositieniveaus en vermindert de risico's voor ecosystemen. Deze zijn 20-35 en 25-45% lager voor respectievelijk potentieel zuur en stikstof in vergelijking tot het Göteborg protocol. Verdergaand Nederlands beleid in de vorm van het verplaatsen van de landbouwammoniakemissies uit natuurareaal<sup>1</sup> naar het landbouwareaal (ten opzichte van variant 2010-basis), leidt tot een additionele reductie van de gesommeerde overschrijdingen van de kritische stikstofdepositie voor Nederland van ca 30%.

Pas bij uitvoering van de emissiedoelen uit het NMP3, op voorwaarde van soortgelijke inspanningen in het buitenland, komt realisatie van de NMP3 depositiedoelstellingen voor 2010 in beeld. In dat geval wordt berekend dat 60% aan hectaren landecosystemen beschermd is tegen een te hoge potentieel zuurdepositie, voor stikstofdepositie is dat 80%. Het

<sup>1</sup> Natuurareaal is hier gedefinieerd als die 1x1 km<sup>2</sup> gridcellen waar meer dan 25% van het oppervlak natuur is. Door deze gridcellen vrij van NH<sub>x</sub>-emissies te maken, wordt impliciet een gebied (variërend van 0-1000m) rond natuur emissievrij gemaakt.

streefbeeld schetst een sterk verbeterde situatie. Op dat emissieniveau wordt berekend dat ca 90% aan hectaren landecosystemen beschermd is tegen een te hoge potentieel zuurdepositie, voor stikstofdepositie is dat eveneens 90%. Ook raken grote delen van de (gevoelige) hogere zandgronden en de duinen beschermd tegen de negatieve gevolgen van potentieel zuur- en stikstofdepositie. Er blijft echter een aantal overschrijdingen zichtbaar.

In de depositieberekeningen is niet gecorrigeerd voor het 'ammoniakgat': het gevonden verschil tussen gemeten en berekende ammoniakconcentraties. De kennis over de grootte van het gat geeft aan dat de depositie van potentieel zuur en stikstof in bijvoorbeeld 1997 met enkele honderden molen onderschat wordt. Het is deels onduidelijk waar het verschil aan te wijten is en hoe het zich in de beschouwde emissievarianten zal ontwikkelen. Om de referentiejaar en emissievarianten onderling goed te kunnen vergelijken in termen van emissieverandering, is in deze studie geen correctie uitgevoerd.

*Tabel B. De gesommeerde en gemiddelde depositie van potentieel zuur en stikstof op landecosystemen. Alle getallen, ook voor 1980, 1990 en 1997, zijn berekend.*

referentie jaar / emissie-variant	gesommeerde depositie		gemiddelde depositie	
	potentieel zuur (Mmol.j <sup>-1</sup> )	stikstof (Mmol.j <sup>-1</sup> )	potentieel zuur (mol.ha <sup>-1</sup> .j <sup>-1</sup> )	stikstof (mol.ha <sup>-1</sup> .j <sup>-1</sup> )
<b>1980</b>	23730	11290	6490	3170
<b>1990</b>	17550	11020	4790	3110
<b>1997</b>	11970	8330	3460	2470
<b>2010-Göteborg</b>	8640	6290	2360	1750
<b>2010-basis</b>	7960	5600	2160	1550
<b>2010-NEC</b>	7460	5360	2020	1480
<b>2010-NL-extra</b>	7430	5150	2010	1420
<b>2020-NMP3</b>	4870	3200	1300	880
<b>2030</b>	3340	1990	880	540

*Tabel C. De gesommeerde en gemiddelde overschrijding van de kritische waarden voor potentieel zuur en stikstofdepositie op landecosystemen<sup>1,2</sup>. Waarden voor Nederland.*

referentie jaar / emissie- variant	gesommeerde overschrijding		gemiddelde overschrijding		areaal landecosystemen zonder overschrijding	
	potentieel zuur (Mmol.j <sup>-1</sup> )	stikstof (Mmol.j <sup>-1</sup> )	potentieel zuur (mol.ha <sup>-1</sup> .j <sup>-1</sup> )	stikstof (mol.ha <sup>-1</sup> .j <sup>-1</sup> )	potentieel zuur (%)	stikstof (%)
<b>1980</b>	6280	2550	4910	2140	<10	<10
<b>1990</b>	4110	2470	3370	2080	<10	<10
<b>1997</b>	2390	1620	2090	1440	10	10
<b>2010- Göteborg</b>	1180	830	1150	820	20	20
<b>2010-basis</b>	950	600	970	650	20	30
<b>2010-NEC</b>	800	530	850	610	30	30
<b>2010-NL- extra</b>	790	460	850	550	30	40
<b>2020-NMP3</b>	200	100	420	330	60	80
<b>2030</b>	50	20	270	190	90	90

1) kritische waarden zijn een combinatie van kritische waarden voor bescherming van bodem, grondwater, wortelgroei, bos en natuur (biodiversiteit) (Albers *et al.*, 2000)

2) de overschrijdingen hebben betrekking op die 1x1 km<sup>2</sup> gridcellen waar een kritische waarde gedefinieerd is. Deze gridcellen dekken voor ca 80-90% de EHS.

### Ozon

In deze studie is de luchtkwaliteit van ozon getoetst aan de streefwaarden en doelstellingen in de concept EU dochterrichtlijn (COM(99)125). De langetermijn doelstelling ter bescherming van de gezondheid (geen overschrijding van het 8-uurs dagmaximum van  $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) wordt in geen van de varianten gehaald (tabel D). Aangescherpt Nederlands beleid in aanvulling op het Göteborg protocol brengt slechts een kleine verbetering. Voor het ozonbestrijdingsbeleid blijft een Europese aanpak het meest aangewezen. Wel worden in de 2010-varianten het voorstel van de EC voor de tussendoelstelling voor het jaar 2010 (gemiddeld over 3 jaar minder dan  $20^2$  dagen overschrijding van het 8-uurs dagmaximum van  $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ), mogelijk gehaald. Ten opzichte van de huidige situatie daalt de AOT40 (sommatie van alle daguurwaarden boven  $80 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  in mei, juni en juli) in de Nederlandse natuur de komende 10 jaar met ca 25%.

De piekconcentraties van ozon worden lager: het 95 percentiel daalt de komende 10 jaar met  $5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Daarna worden de pieken verder teruggebracht; het 95-percentiel daalt in de twee laagste emissieniveaus met 10 en  $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  ten opzichte van de huidige situatie. Daartegenover staat dat de gemiddelde concentratie van ozon in de varianten tot ca.  $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  stijgt ten opzichte van recente jaren. Deze laatste observatie is relevant vanwege de discussie over de vorm van blootstellings-respons relaties: bij een lineaire verband kan het effect van een reductie in piekconcentraties gecompenseerd worden door het stijgende gemiddelde. Bij een exponentieel verband levert vooral het 'scheren van pieken' gezondheidswinst op.

Tabel D Milieuindicatoren voor 1990, 1997 en de emissievarianten 2010-2030. Alle gegevens zijn berekend.

referentiejaar/ emissievariant	ozon zonnig jaar <sup>2</sup>		PM <sub>10</sub>	NO <sub>2</sub>	
	aantal dagen overschrijding van $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - 8h dagmax, NL gemiddeld	aantal dagen overschrijding $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -1h NL gemiddeld	AOT40 ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$ ) gemiddeld in NL natuur	jaargemiddelde concentratie gemiddeld over Nederland $\mu\text{g}/\text{m}^3$	aantal inwoners > $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
<b>1980</b>	34	81	26500		
<b>1990</b>	39	80	28500	49	4.2 miljoen
<b>1997</b>	28	29	22500	40	2.4 miljoen
<b>2010-Göteborg</b>	22	4	18000	32	3000
<b>2010-basis</b>	22	4	18000	32	- <sup>1</sup>
<b>2010-NEC</b>	20	2	17000	31	- <sup>1</sup>
<b>2010-NL-extra</b>	22	4	18000	32	- <sup>1</sup>
<b>2020-NMP3</b>	13	0	12500	geen berek.	- <sup>1</sup>
<b>2030</b>	3	0	7500	geen berek.	- <sup>1</sup>

1) In de varianten 2010-basis tot en met 2030 worden op  $5 \times 5 \text{ km}^2$  schaalniveau geen overschrijdingen berekend. Emissiepieken langs wegen en in steden leiden lokaal mogelijk toch tot overschrijdingen.

2) Deze ozongetallen gelden voor een zonnig jaar. In de dochterrichtlijn zijn de 2010 tussendoelstellingen voor gezondheid en ecosystemen voorgesteld als respectievelijk een 3- en 5-jaars gemiddelde.

Bij uitvoering van het Göteborg protocol komt in ongeveer 90% van de natuur het 5-jarig AOT40 gemiddelde onder het EU-voorstel voor 2010 (van  $17000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$ ).<sup>2</sup> Het streven naar een AOT40 van minder dan  $14000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$  in 2020 lijkt bij uitvoering van de NMP3 emissiedoelen realiseerbaar. De AOT40 daalt in de laagste variant tot  $7500 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$ . Dit be-

<sup>2</sup> In de Europese milieuraad van 10 oktober 2000 is een gemeenschappelijk standpunt bereikt over een maximum van 25 dagen overschrijding van de WHO streefwaarde en een AOT40 van  $18000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$  in 2010.

tekent dat de belasting aan ozon nog steeds voor 75% van de natuur boven het duurzame niveau ( $6000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$ .) ligt Het streefbeeld van volledige bescherming van de EHS in 2030 komt in zicht maar wordt niet gehaald.

Het aantal overschrijdingen van het uurgemiddelde van  $180 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (de informatiedrempel in de ozonrichtlijn) daalt de komende 10 jaar fors tot minder dan 5 per jaar. Met de varianten voor 2020 en 2030 worden geen overschrijdingen meer berekend.

#### *Fijn stof*

De variatie in de 2010 berekeningen voor fijn stof wordt alleen veroorzaakt door het secundaire zure aerosol. Voor de emissies van primair  $\text{PM}_{10}$  zijn steeds die volgens het huidige en voorgenomen beleid gebruikt. De jaargemiddelde concentratie aan fijn stof in Nederland daalt van  $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  in 1997 tot ca.  $30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  in 2010 (tabel D). Deze jaargemiddelde waarde van  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  correspondeert met circa 35 overschrijdingen van de daggemiddelde norm van  $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , welke reeds van kracht wordt in 2005. In 2010 zou een reductie tot -indicatief- 7 overschrijdingen gerealiseerd moeten zijn. De verschillen tussen de 2010-varianten zijn klein (ca  $1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Dit wordt onder andere veroorzaakt doordat fijn stof concentraties gedomineerd worden door het buitenland en doordat in drie van de vier 2010-varianten voor het buitenland het Göteborg protocol gebruikt is. Uit de 2010 berekeningen blijkt dat de indicatieve EU-grenswaarde van  $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  in de periode 2010 aanzienlijk wordt overschreden. Voor fijn stof zijn geen berekeningen voor 2020 en 2030 uitgevoerd.

#### *NO<sub>2</sub>*

In alle emissievarianten wordt een daling van de concentraties van  $\text{NO}_2$  (gewogen gemiddeld naar bevolking en naar oppervlak) berekend ten opzichte van 1997. De variant 2010-Göteborg daalt het minst; bij berekeningen voor langjarig gemiddelde meteorologische omstandigheden treedt nog overschrijding van de grenswaarde op ( $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Onder (voor de luchtkwaliteit) ongunstige meteorologische omstandigheden worden voor 2010 voor elk van de varianten overschrijding berekend, waarbij de variant met extra inzet van Nederlands beleid het laagste aantal blootgestelde mensen laat zien.

In de emissievarianten van 2020 en 2030 worden op  $5 \times 5 \text{ km}^2$  schaalniveau geen overschrijdingen berekend. Emissiepieken langs wegen en in steden leiden lokaal mogelijk toch tot overschrijdingen.

#### *Gezondheidsrisico-evaluatie luchtkwaliteit ozon en fijn stof*

Onderstaande effectschattingen voor ozon en fijn stof en de uitkomsten van de berekeningen voor wat betreft gezondheid zijn onzeker doordat nog onvoldoende inzicht bestaat in de plausibiliteit en de oorzakelijkheid van de in de bevolking waargenomen associaties en in de vorm van de gebruikte concentratie-effect relaties en modellen waarmee kan worden gerekend. Voor ozon zijn hier gebruikt a) een lineair verband dat wil zeggen dat een toe- of afname in de luchtconcentratie van een stof eenzelfde toe- of afname in het effect teweegbrengt, en b) het exponentieel verband waarbij de relatie tussen concentratie toe- of afname en het effect bij lagere concentraties lager is dan bij hogere concentraties.

In de komende 10 jaar wordt een doorgaande afname van additionele risico's voor sterfte en spoedopnamen in het ziekenhuis voor  $\text{PM}_{10}$  berekend, uitgaande van de bevolkingsopbouw in 1997. Echter rekening houdend met de toenemende vergrijzing in de bevolking zullen de absolute aantallen in 2010 vergelijkbaar zijn met die voor 1997 (tabel D). De onderlinge verschillen tussen de 2010 varianten zijn gering.

Voor ozon wordt, uitgaande van een lineaire blootstelling-respons relatie (bij een bevolkingsopbouw als in 1997), vrijwel geen veranderingen verwacht in het aantal extra sterfgevallen / spoedopnamen in het ziekenhuis tussen nu en 2010. Bij een exponentiële relatie tussen de ozonconcentratie en de totale dagelijkse sterfte wordt het aantal sterfgevallen lager geschat. In het geval van ozon zal er, rekening houdend met de vergrijzing, sprake zijn van een toename in de absolute aantallen extra sterfgevallen en ziekenhuisopnamen (tabel E).

*Tabel E Overzicht van de resultaten van de risico-evaluatie van fijn stof*

PM10	aantal extra sterfgevallen		aantal extra spoedopnamen	
	bij bevolkingsopbouw als in 1997	rekening houdend met vergrijzing	bij bevolkingsopbouw als in 1997	rekening houdend met vergrijzing
<b>1980</b>	1690	1130	1330	920
<b>1990</b>	1360	1260	1070	1010
<b>1997</b>	1330	1330	930	930
<b>2010-Göteborg</b>	970	1320	770	960
<b>2010-basis</b>	970	1310	760	950
<b>2010-NEC</b>	950	1300	750	940
<b>2010-NL extra</b>	920	1250	730	900

*Tabel F Overzicht van de resultaten van de risico-evaluatie van ozon*

Ozon	aantal extra sterfgevallen			aantal extra spoedopnamen	
	bij bevolkingsopbouw als in 1997		rekening houdend met vergrijzing	bij bevolkingsopbouw als in 1997	rekening houdend met vergrijzing
	exponentieel model	lineair model	lineair model		
<b>1980</b>	820	1800	1320	310	180
<b>1990</b>	870	1860	1740	320	300
<b>1997</b>	710	1950	1950	320	320
<b>2010-Göteborg</b>	630	1960	2550	340	440
<b>2010-basis</b>	620	1960	2560	340	450
<b>2010-NEC</b>	610	1990	2590	340	450
<b>2010-NL extra</b>	640	1950	2540	340	440

Met behulp van dosis-effectrelaties verkregen uit klinisch toxicologisch onderzoek wordt geschat dat het deel van de bevolking waarbij het aantal dagen per jaar waarop een daling in de longfunctie van meer dan 10% optreedt (uitgedrukt in dagen per jaar per 100 personen), in de afgelopen 2 decennia van ca. 45 gedaald is naar ca. 22 in 1997. In de komende jaren neemt dit verder af naar ca. 18 in 2010 tot minder dan 5 in 2030.

## 1. Inleiding

Door de depositie van zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>), stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>), en ammoniak (NH<sub>3</sub>) uit de lucht ontstaat schade aan de natuur. De directe blootstelling aan deze stoffen en aan ozon (O<sub>3</sub>), gevormd uit NO<sub>x</sub> en vluchtige organische stoffen (VOS) kan leiden tot (gezondheids) schade bij mensen, materialen en ecosystemen. Dit complex van stoffen en effecten, inclusief de gerelateerde problematiek van fijn stof, wordt sinds 1983 onder de noemer "verzuring" beleidsmatig integraal aangepakt.

Het huidige Nederlandse verzuringsbeleid is vastgelegd in het *Bestrijdingsplan verzuring* uit 1989, het gelijktijdig verschenen *Eerste nationaal milieubeleidsplan (NMP1)* en het *Plan van aanpak ammoniakemissie uit de Landbouw*. Op basis van de toen beschikbare wetenschappelijke kennis en informatie zijn doelstellingen geformuleerd voor het terugdringen van de deposities en emissies met het oog op de vermindering van de schade aan ecosystemen, gezondheid en materialen.

Sinds het Bestrijdingsplan verzuring zijn de wetenschappelijke inzichten verder ontwikkeld via onder andere het *Additioneel Programma Verzuringsonderzoek (APV)* dat in 3 fases is uitgevoerd. Het APV3 gaf aan dat enkele kritische depositieniveaus hoger liggen dan de niveaus die zijn gebruikt als basis voor de doelen in het Bestrijdingsplan verzuring. In NMP3 zijn desondanks de oorspronkelijke depositiedoelen gehandhaafd, maar is aangegeven dat deze voor het NMP4 zullen worden geëvalueerd.

Internationaal zijn emissies van verzurende stoffen ook onderwerp van beleidsdiscussies. Binnen de UN-ECE Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution is in 1999 het Göteborg protocol met daarin emissieplafonds voor het jaar 2010 getekend. De Europese Commissie heeft inmiddels een voorstel voor emissieplafonds voor de lidstaten gedaan, gebaseerd op het halen van bepaalde milieudoelen (de NEC-directive). De door de Europese Commissie voorgestelde emissies zijn in eerste instantie overgenomen door het Europees Parlement. Op de Milieuraad van 22 juni 2000 is door EU-milieuministers een gemeenschappelijk standpunt bereikt ten aanzien van de NEC-directive met emissieplafonds die enigzins naar beneden zijn bijgesteld. Het Europees Parlement houdt, behalve voor NH<sub>3</sub>, vast aan de oorspronkelijke voorstellen van de Commissie. De NEC-directive zal naar verwachting pas in 2001 van kracht worden na afronding van de conciliatie procedure.

Nationaal krijgen de emissies van NH<sub>3</sub> veel aandacht. In tegenstelling tot bijvoorbeeld NO<sub>2</sub> en fijn stof, heeft ammoniak een relatief korte verblijftijd in de atmosfeer: zo'n 30% van het door de landbouw geëmitteerde ammoniak deponert binnen een straal van 5 km om de bron. Bovendien bestaat meer dan de helft van de stikstofdepositie uit ammoniakdepositie. Dit betekent dat voor bescherming van de natuur tegen stikstofdepositie, beleid op sub-nationale schaal zin kan hebben. Met name het verwijderen van ammoniakemissies uit natuurgebied levert een aanzienlijke reductie van de overschrijdingen van de kritische waarden voor stikstof (NB2000).

De emissiedoelstellingen voor het jaar 2000 voor NH<sub>3</sub> en NO<sub>x</sub> zijn respectievelijk in de nota *derde fase mest- en ammoniakbeleid* en het NMP3 doorgeschoven naar 2005. De emissiedoelen voor 2010 zullen in het NMP4 opnieuw beoordeeld worden.

De RIVM ondersteuning van de in het NMP3 aangekondigde evaluatie van de verzuringsdoelstellingen is in twee fasen uitgevoerd. Allereerst is gewerkt aan de rapportage *Evaluatie van de verzuringsdoelstellingen: de onderbouwing* (Albers *et al.*, 2000). In dat rapport wordt de huidige kennis op het terrein van het thema verzuring bijeengebracht en wordt aangegeven in hoeverre de kennis is gewijzigd ten opzichte van de stand van zaken waarop de huidige verzuringsdoelstellingen zijn gebaseerd (in 1989). Met betrekking tot de indirecte effecten van verzuring, op de natuur, bodemsamenstelling en grondwater worden de huidige normen uitgezet tegen de nieuwste inzichten over de effecten.

Voor dit rapport '*Evaluatie van de verzuringsdoelstellingen: de emissievarianten*' is de kennis uit de bovengenoemde onderbouwing in het modelinstrumentarium ondergebracht en is een aantal emissievarianten doorgerekend. De resultaten van de studie kunnen gebruikt worden bij het bepalen van een onderling samenhangende set van milieukwaliteits- en emissiedoelstellingen ten behoeve van het NMP4.

## 2. Emissievarianten

Op de lange termijn streeft het verzuringsbestrijdingsbeleid naar duurzame depositie- en concentratieniveaus voor gezondheid en milieu. De hier bestudeerde emissievarianten kunnen worden gebruikt om de route naar een duurzame situatie te verkennen. Het rendement van de varianten voor de milieukwaliteit wordt getoetst aan kritische niveaus en aan tussendoelstellingen die, voor onder andere 2010, zijn geformuleerd. Deze worden in de volgende hoofdstukken steeds toegelicht. Het doel van de studie is het in beeld brengen van de relatie tussen emissies en effecten bij verschillende emissieniveaus. Daarom is geen aandacht besteed aan de wijze waarop emissies worden bereikt; de varianten zijn dus niet beoordeeld op beleidseffectiviteit en doelmatigheid. Om redenen van herkenbaarheid zijn de varianten gelabeld met een naam en een tentatief jaartal.

In totaal zijn zeven emissieniveaus voor de verzurende stoffen (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> en VOS) doorgerekend (tabel 2.1). Daarbij is gebruik gemaakt van internationale afspraken en emissiedoelen uit het NMP3. Het speelveld voor het jaar 2010 wordt in hoge mate bepaald door de emissiedoelstellingen die internationaal vastgesteld zijn. Binnen de UN-ECE Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution is in 1999 een protocol afgerond, met daarin emissieplafonds voor het jaar 2010, ter bestrijding van verzuring, eutrofiëring en ozon op leefniveau. De plafonds, die in dit Göteborg protocol zijn afgesproken zijn in verschillende combinaties voor Nederlandse en buitenlandse emissies doorgerekend. Binnen de EU is een richtlijn in voorbereiding (COM(99)125), waarin eveneens emissieplafonds voor 2010 zullen worden opgenomen. Deze wordt aangeduid als NEC-richtlijn (National Emission Ceilings). De NEC voorstellen van de Commissie uit 1999 stellen aanzienlijk verdere reducties voor dan de Göteborg-afspraken. Ondertussen heeft de Europese Milieuraad echter een gemeenschappelijk standpunt ingenomen over emissieplafonds, die ongeveer op het niveau van het Göteborg protocol liggen. Voor Nederland ligt het door de Raad voorgestelde NEC-plafond voor NO<sub>x</sub> en VOS 6 kton onder het Göteborg protocol, terwijl de SO<sub>2</sub> en NH<sub>3</sub> getallen identiek zijn. In reactie daarop houdt het Europees Parlement in grote lijnen vast aan het oorspronkelijke Commissie voorstel. Om voldoende bandbreedte te houden zijn de ambitieuzere NEC-voorstellen uit 1999 in deze studie gehandhaafd.

De verplichtingen die Nederland internationaal aangaat, hebben een relatie met nationale doelstellingen. De minister schreef daarover aan de Tweede Kamer: *"De internationale verplichtingen vormen een bovengrens voor de nationale doelstellingen.[...] Vier betrokken ministeries voeren op dit moment het project 'Evaluatie van de doelstellingen voor het thema Verzuring' uit. Het resultaat daarvan, dat wil zeggen nieuwe doelstellingen voor het thema verzuring, wordt in het NMP4 vastgelegd. Tot die tijd blijven de huidige doelstellingen van het NMP3 van kracht. Met het vastleggen van emissieplafonds in het nieuwe UN/ECE-protocol of in een EU-richtlijn, wordt niet vooruitgelopen op de uitkomst van de nationale evaluatie. De nationale ambities kunnen, zoals blijktens NMP3 reeds het geval is, verder reiken dan de internationaal aanvaarde emissieplafonds. Beide internationale verplichtingen staan het voeren van een specifiek en verdergaand beleid ook niet in de weg."*

De volgende emissievarianten zijn doorgerekend:

- 1) Nederlandse emissies volgens het NEC-voorstel, buitenlandse emissies volgens het Göteborg-protocol (variant 2010-basis):

- 2) Emissies zoals onder 1) (2010-basis) maar waarbij de ammoniakemissies per provincie ruimtelijk geoptimaliseerd zijn uitgaande van een zo klein mogelijke overschrijding van de kritische stikstofdepositieniveaus voor natuur (variant 2010-NH3 optimaal).
- 3) Emissies in EU-landen volgens NEC, emissies in de rest van het buitenland volgens het Göteborg-protocol (variant 2010-NEC);
- 4) Nederlandse en buitenlandse emissies volgens het Göteborg-protocol (variant 2010-Göteborg). Zoals boven gemeld zijn de emissies in deze variant slechts beperkt hoger dan de emissieplafonds die de milieuministers van de EU zijn overeengekomen (Gemeenschappelijk Standpunt);
- 5) Nederlandse emissies waarbij een extra inzet van maatregelen is verondersteld: de zwavel- en stikstofoxidenemissies zijn vastgesteld in een interdepartementale werkgroep van VROM, EZ en V&W; de VOS- en ammoniakemissies zijn door DGM vastgesteld. Buitenlandse emissies volgens het Göteborg-protocol (variant 2010-NL extra);
- 6) Een emissievariant voor 2020 waarbij is verondersteld dat de NMP-3 emissiedoelstellingen van 2010 worden verschoven naar 2020. Voor buitenlandse emissies is aangenomen dat dezelfde emissiereducties als in Nederland plaatsvinden (variant 2020-NMP-3);
- 7) Een emissievariant 2030: hierin is teruggerekend van een bepaalde gewenste milieukwaliteit naar emissies. Het gewenste kwaliteitsbeeld was een hoog beschermingspercentage van de natuur tegen depositie van potentieel zuur en stikstof.

De emissies in de variant '2010-NL extra' omvatten voor NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub> door een interdepartementale werkgroep (VROM, EZ en V&W) geformuleerde emissies op een niveau waarop alle technisch mogelijke maatregelen worden ingezet voor zover deze -door de werkgroep- economisch en ook politiek/beleidsmatig haalbaar worden geacht. Voor VOS zijn de gegevens afkomstig van een *quick scan* onderzoek door DGM van het VOS reductiepotentieel. De NH<sub>3</sub> emissie in de '2010-NL extra' variant is eveneens door DGM geschat.

De in bovenstaande passage door de minister aangehaalde NMP3 doelstellingen zijn in de variant '2020-NMP3' doorgerekend. In de variant 2030 is teruggerekend van een bepaalde gewenste milieukwaliteit naar emissies. Het voor deze variant gewenste kwaliteitsbeeld is a) een hoog beschermingspercentage van de natuur tegen de depositie van potentieel zuur en stikstof. Dat wil zeggen richtwaarden van 400-800 mol.ha<sup>-1</sup>.jaar<sup>-1</sup> voor de potentieel zuurdepositie en voor stikstofdepositie 300-500 mol ha<sup>-1</sup>.jaar<sup>-1</sup> en b) voor ozon geen overschrijding van de WHO streefwaarde (gezondheid) van 120 µg.m<sup>-3</sup> (8-uursdagmaximum) en een AOT40 (vegetatie) van 6000 tot 10000 µg.m<sup>-3</sup>.h.

In de hoofdstukken over milieukwaliteit en effecten wordt steeds aangegeven welke milieukwaliteit met betrekking tot bepaalde indicatoren behaald wordt in deze 2030 variant.

De emissies van primair PM<sub>10</sub> nemen een speciale positie in. Voor de 2010-varianten is steeds het emissiecijfer uit het 2010-EC-MV5 scenario toegepast. Voor 2020 en 2030 zijn geen additionele emissievarianten gedefinieerd. De luchtkwaliteits- en gezondheidsrisicoberekeningen voor PM<sub>10</sub> zijn daardoor slechts voor 2010 uitgevoerd.

Als referentie zijn in tabel 2.1 ook de MV5 emissiecijfers van de verzurende stoffen opgenomen. Kort samengevat vertegenwoordigen de emissies in het EC pad het huidige voorgenomen beleid. Voor een verslag van de verwachte milieukwaliteit en effecten in deze scenario's wordt verwezen naar de MV5 (RIVM, 2000).





### 3. Depositie en effecten op milieu en natuur

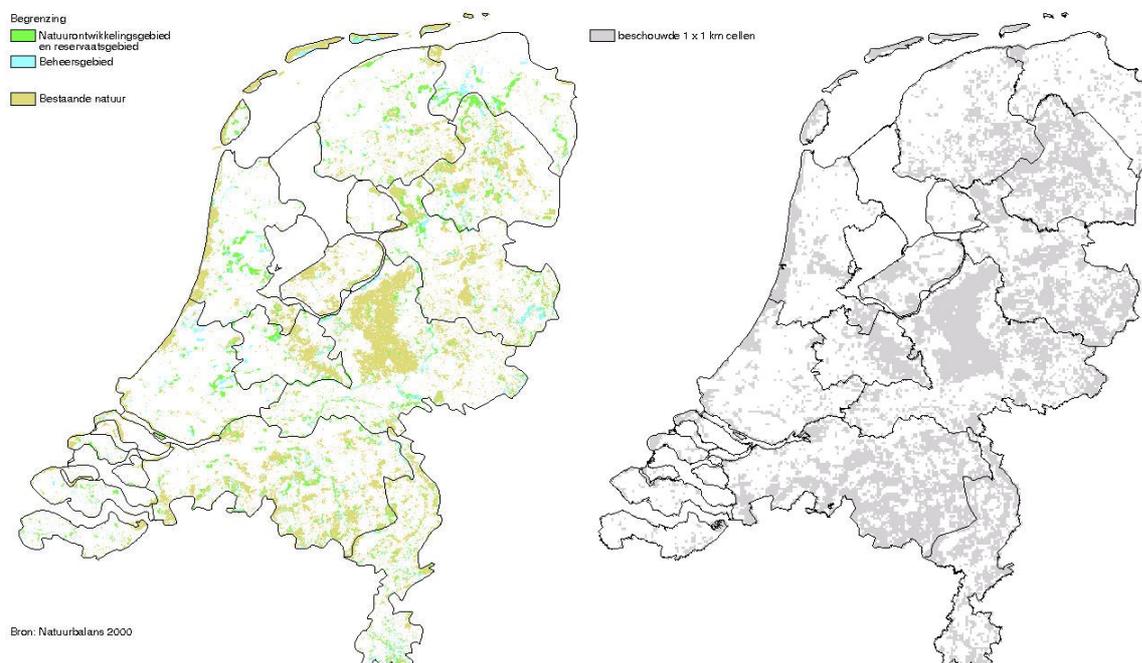
In dit hoofdstuk worden de emissievarianten geëvalueerd op hun gevolgen voor depositie en de daaraan gerelateerde effecten op milieu en natuur. In paragraaf 3.1 ligt het accent op de potentieel zuurdepositie. Achtereenvolgens worden daarin de niveaus van zure depositie en de effecten van depositie op milieu en natuur in kaart gebracht. De effecten worden beschreven door de verwachte depositieniveaus te vergelijken met de kritische depositieniveaus voor effecten op milieu en natuur. Een overschrijding van het kritisch depositieniveau wordt daarbij beschouwd als een knelpunt. Hoewel de omvang van het knelpunt toe zal nemen met de mate van overschrijding, moet de mate van overschrijding niet gelijkgesteld worden aan de afname van de kwaliteit van milieu of natuur. Zo kunnen andere, in dit rapport niet beschouwde factoren (zoals lokaal beheer of versnippering) een belemmering vormen voor voldoende milieu- en natuurkwaliteit terwijl kritische depositieniveaus voor stikstof en potentieel zuur niet worden overschreden. Daarnaast is de afname van de kwaliteit van milieu en natuur sterk afhankelijk van de specifieke gevoeligheid van de beschouwde typen milieu en natuur en betekent een zelfde mate van overschrijding van de kritische depositieniveaus voor verschillende natuurtypen niet a priori eenzelfde reductie in voorkomen van plantensoorten.

De gecombineerde kritische depositiekaart voor gelijktijdige bescherming van bodem, grondwater, wortelgroei, bos en natuur (voorkomen van plantensoorten), zoals afgeleid in het rapport 'Evaluatie van de verzuringsdoelstellingen: de onderbouwing' (Albers *et al.*, 2000), vormt de basis voor deze analyse. Het gaat daarbij om, de minimale kritische depositie voor de bescherming van bodem, grondwater, wortelgroei, bos en natuur per beschouwde lokatie. In totaal wordt het overgrote deel van het areaal van de EHS zoals beschreven in de EHS2000-kaart uit de Natuurbalans 2000 (figuur 3.1a) gedekt (vergelijk figuur 3.1a en b). Uitzonderingen daarop zijn gebieden met vooral aquatische ('natte') natuur, nog te realiseren natuurontwikkelingsgebieden en overige gebieden waarvoor informatie (zoals b.v. bodem of grondwatergegevens) ontbreken om kritische depositieniveaus te berekenen.

In paragraaf 3.2 wordt op analoge wijze de invloed van stikstofdepositie behandeld. Een emissievariant voor 2010 waarbij de ammoniakemissies zijn herverdeeld over de provincies zodanig dat de kritische waarden van stikstof voor natuur en milieu zo min mogelijk worden overschreden wordt besproken in paragraaf 3.3.

Begrensdde EHS 2000

Beschouwde 1 x 1 km cellen



Figuur 3.1. Links (a) de EHS (bron Natuurbalans 2000) en rechts (b) de in deze studie beschouwde 1x1 km<sup>2</sup>-cellen met landecosystemen waarvoor een kritische depositie voor potentieel zuur en stikstof berekend kon worden voor de bescherming van bodemkwaliteit, grondwaterkwaliteit, wortelgroei, bosgroei en/of vegetatiesamenstelling.

De vergelijking van de verschillende emissievarianten ten aanzien van verzuring en vermessing worden gebaseerd op de volgende set van berekende indicatoren:

- Kaartbeelden van de depositie van potentieel zuur en totaal stikstof (respectievelijk figuur 3.2 en figuur 3.6);
- Tabellen met de gesommeerde depositie totalen in Nederland en per provincie (tabellen 3.1 en 3.6);
- Tabellen met de geschatte gemiddelde depositie voor landecosystemen per provincie en Nederland (tabellen 3.2 en 3.7);
- Kaartbeelden van de geschatte mate van bedreiging van landecosystemen door potentieel zuur- en stikstofdepositie. Deze is uitgedrukt in het percentage bedreigd areaal van landecosystemen in 5x5 km<sup>2</sup>-gridcellen en het geschatte percentage typen bedreigde landecosystemen in 5x5 km<sup>2</sup>-gridcellen (figuren 3.3, 3.4, 3.7 en 3.8);
- Tabellen van het geschatte percentage areaal waarbij de kritische stikstof- en potentieel zuurdepositie van landecosystemen niet wordt overschreden (tabellen 3.3 en 3.8);
- Tabellen met de geschatte gesommeerde overschrijdingen van de kritische depositiewaarden voor landecosystemen per provincie en over Nederland (tabellen 3.4 en 3.9);
- Kaartbeelden van de overschrijding van de kritische depositieniveaus van land ecosystemen voor potentieel zuur en stikstofdepositie (figuur 3.5 en 3.9.) 1x1 km<sup>2</sup> grids;
- Tabellen met de geschatte gemiddelde overschrijdingen van de kritische depositiewaarden voor landecosystemen per provincie en over Nederland (tabellen 3.5 en 3.10).

De bovengenoemde gegevens over bescherming en overschrijding worden gebruikt als indicatoren. De indicatoren hebben vooral tot doel om een vergelijking tussen de varianten te vergemakkelijken. De gegevens in de figuren en tabellen zijn het resultaat van modelberekeningen. Onzekerheden in modellen, onderliggende landelijke basisbestanden en scenarioaannames beïnvloeden de mate van betrouwbaarheid van de gepresenteerde gegevens. De kaartbeelden zijn primair bedoeld om de geografische variatie in de verschillende indicatoren zichtbaar te maken. Op lokaal niveau kunnen onzekerheden relatief groot zijn. De gegevens in de tabellen hebben vooral tot doel de varianten op eenduidige wijze te kunnen vergelijken. De mate van onzekerheid die rond de getallen bestaat is niet weergegeven. Informatie rond onzekerheden van gebruikte modellen en data is te vinden in Albers *et al.*, (2000), Erisman en van der Eerden, (1999), Van Jaarsveld, (1995), Van Hinsberg en Kros, (1999) en verwijzingen daarin.

De depositie van potentieel zuur en stikstof voor de referentie jaren en de emissievarianten is berekend met behulp van bron-receptor relatie afgeleid van het atmosferisch transport en depositiemodel OPS (Van Jaarsveld, 1995).

Deze zogenaamde bron-receptor relaties of source-receptor matrix (SRM)-methode is beschreven in Albers *et al.* (2000). In deze methode is de ruimtelijke verdeling van de bronnen vast verondersteld (verdeling van 1995) en wordt gerekend met over een aantal jaren gemiddelde meteorologische omstandigheden. Er is rekening gehouden met de grootschalige achtergrond aan potentieel zuur en stikstof depositie (respectievelijk 300 mol eq./ha/j en 100 mol N/ha/j). Er zijn geen correcties uitgevoerd voor het ammoniakgat. Dit betekent onder andere, dat de deposities van de referentiejaren onderschattingen zijn van die uit de Milieubalansen. Voor 1997 is dat ruim 600 mol N/ha/j. Ook voor de 2010-2030 emissievarianten zullen de deposities onderschat worden. Aangezien niet duidelijk is hoe groot de ammoniakgatcorrectie zou moeten zijn voor deze varianten, is geen correctie uitgevoerd.

De ruimtelijke resolutie van de depositieberekeningen is  $5 \times 5 \text{ km}^2$ . Totalen en gemiddelde depositieniveaus per provincie zijn berekend op basis van provinciekaarten.

De kritische depositiekaarten, die gebruikt zijn voor het berekenen van overschrijdingen, hebben een detailniveau van  $1 \times 1 \text{ km}^2$  (Albers *et al.*, 2000). Overschrijding is, analoog aan Albers *et al.* (2000), berekend als het verschil tussen de huidige/toekomstige depositie en de kritische depositie van de landecosystemen. Als landecosystemen zijn beschouwd die systemen waarvoor een kritische depositieniveau voor bescherming van bodem, grondwater, wortelgroei, bos en/of natuur is bepaald.

Het percentage bedreigd areaal is geschat op basis van het areaal aan landecosystemen, c.q. het aantal  $1 \times 1 \text{ km}^2$  cellen waarvoor een kritische depositie is bepaald. Men moet zich realiseren dat in de praktijk niet al het areaal binnen de  $1 \times 1 \text{ km}^2$  cellen daadwerkelijk gerekend kan worden tot het beschouwde landecosysteem (vergelijk ook figuur 3.1a en 3.1b). Dit betekent dat de gepresenteerde gesommeerde deposities en gesommeerde overschrijdingen van de kritische deposities overschattingen zijn. Het percentage bedreigd areaal per  $5 \times 5 \text{ km}^2$ -depositiegrids is ook als indicator opgenomen net als het percentage typen bedreigde landecosystemen per  $5 \times 5 \text{ km}^2$ -grid. Het aantal typen en het percentage landecosystemen per  $5 \times 5 \text{ km}^2$  is bepaald op basis van het aantal verschillende combinaties in de onderliggende basisinformatie (bodemkaart, grondwatertrappenkaart, vegetatiestructuurkaart, landelijke natuurtypenkaart).

De gebruikte kaart van natuurtypen is een combinatie van kaarten van het EC-LNV en ALTERRA (Albers *et al.*, 2000). Gezien de bestuurlijke status is nog geen gebruik gemaakt van de provinciale natuurdoeltypenkaarten (NB2000; RIVM *et al.*, 2000). Aangezien de

provinciale kaarten veelal ook uitgaan van bestaande natuur vertonen de provinciale kaarten en de gebruikte landelijke kaart echter veel overeenkomsten. Gerealiseerd moet echter worden dat door het werken met andere natuurdoelen, de kritische depositiekaarten en de indicatoren kunnen veranderen. Daarbij geldt tevens dat in dit rapport (net als bijvoorbeeld in de Milieubalans 2000) niet alleen gefocust is op kritische deposities voor vegetatiesamenstelling maar ook voor bescherming van bodemkwaliteit, grondwaterkwaliteit, wortelgroei en bosgroei. In de Natuurbalans 2000 zijn de provinciale natuurdoelen geanalyseerd.

Ten aanzien van de onzekerheden van de analyses wordt opgemerkt dat het werken met 5x5 km<sup>2</sup> depositie-informatie doorwerkt in de nauwkeurigheid van de gepresenteerde gegevens. De betrouwbaarheid van de inschatting van de bedreiging is afhankelijk van zowel de depositiegegevens als de kritische depositieniveaus. Beide gegevens bevatten onzekerheden. In Albers *et al.* (2000) wordt hierover meer informatie gegeven. In varianten waarbij de depositieniveaus de kritische depositieniveaus van landecosystemen sterk overstijgen zijn uitspraken over de bescherming robuust. Bij de varianten waar de depositie- en kritische niveaus vergelijkbaar worden qua orde van grootte zijn uitspraken over het wel of niet beschermen van ecosystemen gevoeliger voor onzekerheden in de basis gegevens.

Om de vergelijking van de verschillende emissievarianten te illustreren zijn in Bijlage 2 een tweetal kaarten toegevoegd met een aantal concrete voorbeeldgebieden. De kaarten dienen alleen ter ondersteuning van de beoordeling van de emissievarianten en hebben geen verankering in het natuur- en/of milieubeleid.

## 3.1 Potentieel zuurdepositie en effecten op milieu en natuur

### 3.1.1 Potentieel zuurdepositie

Figuur 3.2 geeft een beeld van de te verwachten ruimtelijke depositiepatronen op basis van de verschillende emissievarianten.

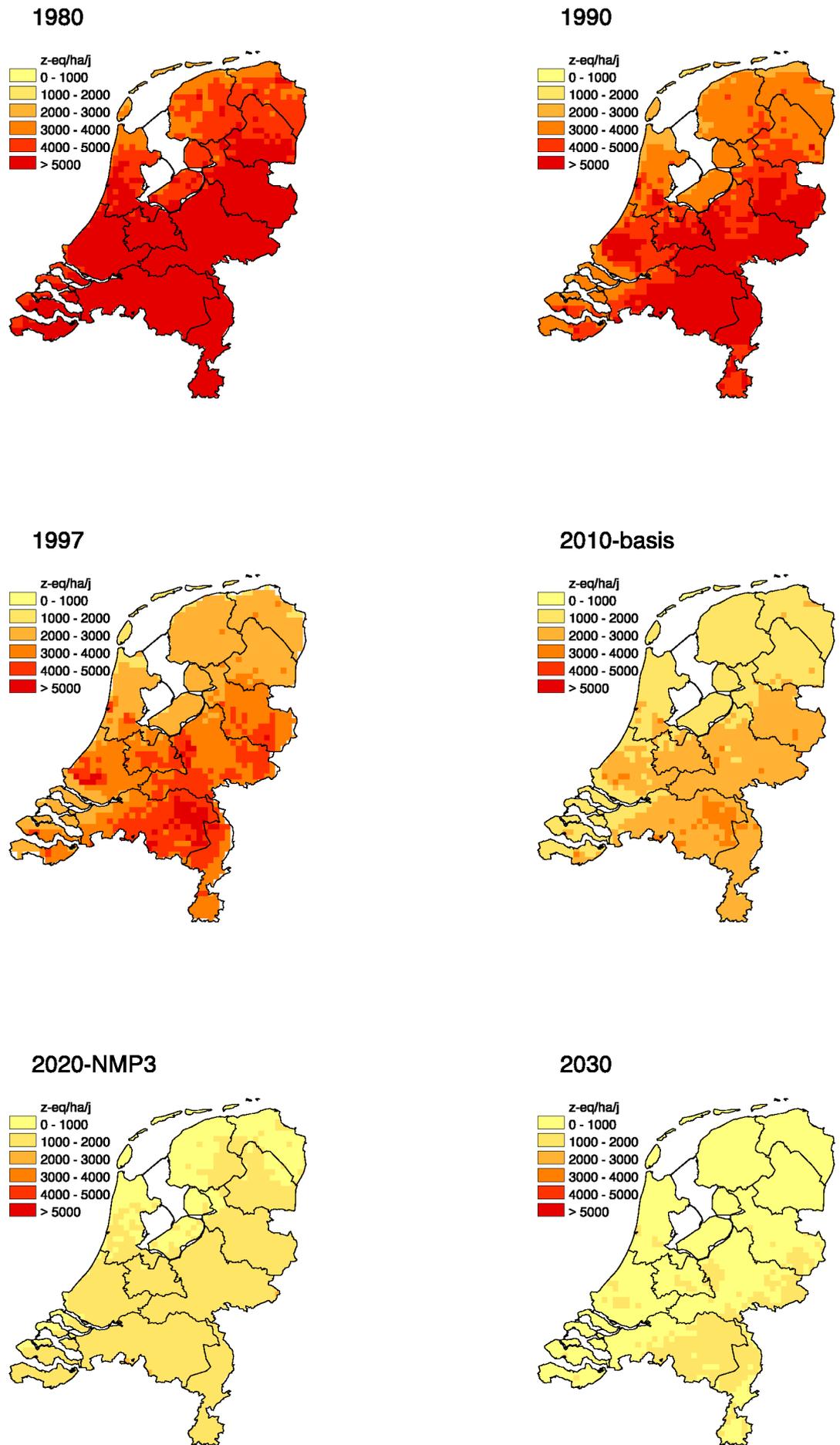
De gesommeerde totale depositie aan potentieel zuur is weergegeven in tabel 3.1. In vergelijking tot de referentie jaren is de hoogte van de totale potentieel zuurdepositie in de toekomstvarianten aanzienlijk lager. De totale depositie is in 2010 het laagst in de NL-extra-variant (2010-NL-extra) en het hoogst in de 2010-EC-MV5-variant. De hoogte van de gesommeerde depositie neemt af in de reeks; 1980, 1990, 1997, 2010-EC-MV5, 2010-Göteborg, 2010-basis, 2010-NEC en 2010-NL-extra.

De landelijke gesommeerde depositie in de 2010-basis en 2010-NL-extra variant zijn respectievelijk 8 en 14% lager dan in de 2010-Göteborg-variant. Per provincie kunnen de reductiepercentages aanzienlijk verschillen. Deze afname is het gevolg van emissiereducties in Nederland alleen, omdat de emissies in het buitenland constant zijn gebleven (tabel 2.1)

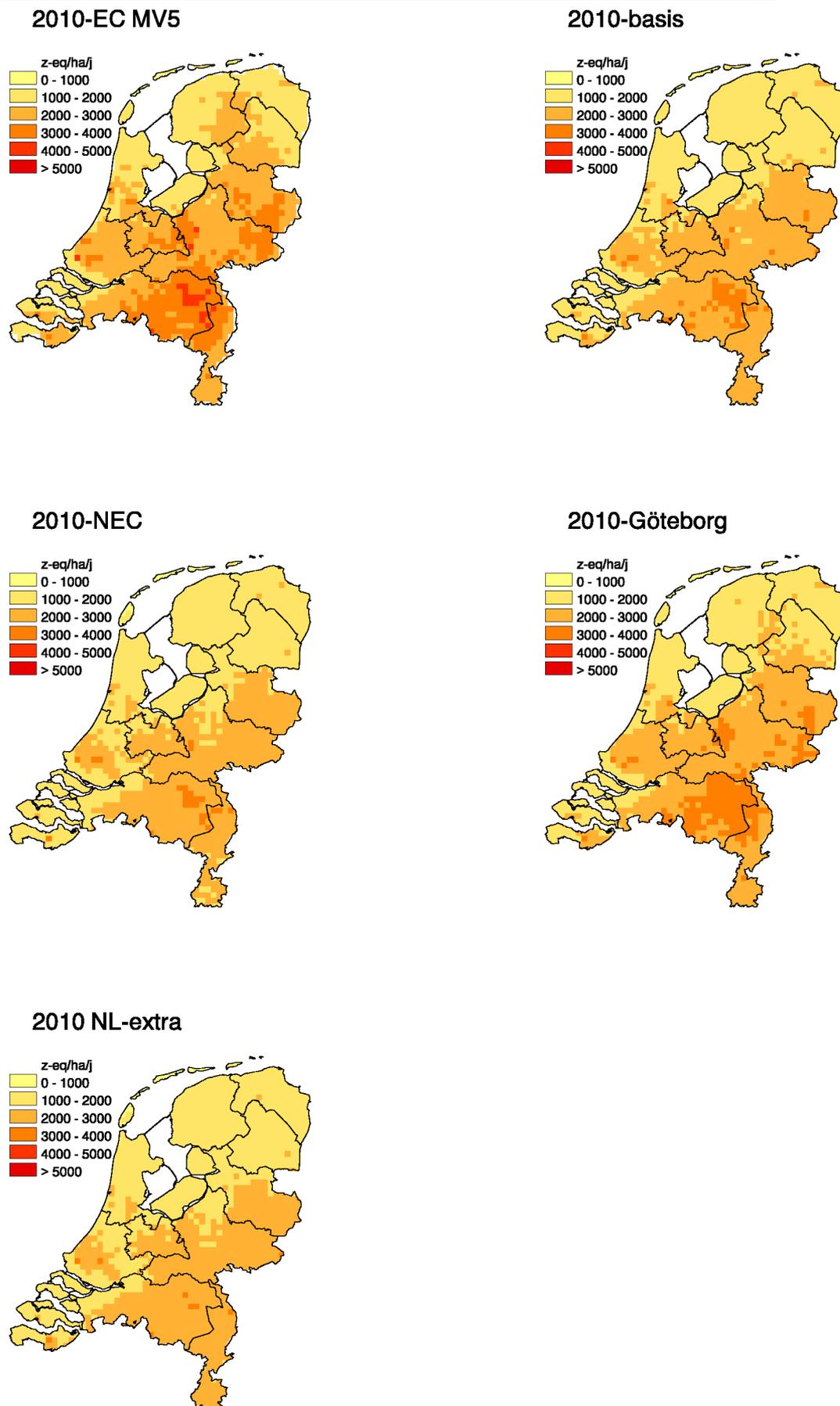
In de 2020-NMP3 en de 2030 -varianten is de totale depositie aanzienlijk lager dan in de 2010-varianten.

In tabel 3.2 zijn de gemiddelde jaarlijkse depositieniveaus per hectare landecosystemen van potentieel zuur weergegeven. Als landecosystemen zijn hier beschouwd die 1x1 km<sup>2</sup>-gridcellen waarvoor kritische deposities voor de bescherming van bodemkwaliteit, grondwaterkwaliteit, wortelgroei, bos en/of natuur berekend konden worden. De betrouwbaarheid van deze schatting wordt negatief beïnvloed door de nauwkeurigheid waarmee het daadwerkelijke areaal ingeschat kan worden.

Soortgelijke verschillen tussen de emissievarianten als in tabel 3.1 komen naar voren in tabel 3.2. In geen van de 2010 varianten komt de 2010 doelstelling uit het NMP3 van 1400 mol potentieel zuur per ha per jaar in zicht. Pas in de 2030 NMP3 variant wordt landelijk gemiddeld minder dan 1400 mol/ha/jaar berekend. De over landecosystemen gemiddelde depositie is respectievelijk 8 en 15% kleiner in de 2010-basis en nl extra varianten dan in de 2010-Göteborg berekening. In beide tabellen valt op dat de 2010-NEC en -NL-extra berekeningen voor Nederland tot nagenoeg dezelfde depositieniveaus leiden. Deze berekeningen illustreren dat een NEC emissiereductie inspanning in het EU-buitenland een soortgelijk rendement kan hebben als relatief stringente maatregelen in NL alleen.



Figuur 3.2 Het depositiepatroon van potentieel zuur voor verschillende varianten.



Figuur 3.2 (vervolg) Het depositiepatroon van potentieel zuur voor verschillende varianten.

*Tabel 3.1 Gesommeerde jaarlijkse depositie van potentieel zuur per provincie en in geheel Nederland (in Mmol/jr)<sup>2</sup>*

Provincie	Variant					
	1980	1990	1997	EC2010/MV5	2010-basis	2010-NEC
Groningen	1150	900	510	320	430	400
Friesland <sup>1</sup>	1950	1580	940	540	730	700
Drenthe	1340	1030	710	530	470	450
Overijssel	2210	1720	1190	900	770	730
Gelderland	3730	2790	1970	1440	1240	1170
Utrecht	1000	750	550	390	330	310
Noord-Holland	1750	1300	830	510	590	560
Zuid-Holland	2200	1530	1150	770	680	640
Zeeland	1530	1050	750	460	490	440
N-Brabant	4070	2950	2180	1590	1330	1230
Limburg	1780	1210	780	550	560	510
Flevoland	1010	740	430	240	340	320
<b>Nederland</b>	<b>23730</b>	<b>17550</b>	<b>11970</b>	<b>8250</b>	<b>7960</b>	<b>7460</b>
Provincie	Variant					
	2010-Goth.	2010-NL-extra	2020-NMP3	2030		
Groningen	460	400	270	190		
Friesland <sup>1</sup>	800	690	470	340		
Drenthe	520	440	290	200		
Overijssel	860	710	460	310		
Gelderland	1380	1150	740	490		
Utrecht	360	300	190	130		
Noord-Holland	620	550	370	270		
Zuid-Holland	730	640	420	290		
Zeeland	500	470	320	220		
Noord-Brabant	1460	1230	800	520		
Limburg	600	530	340	220		
Flevoland	360	320	210	150		
<b>Nederland</b>	<b>8640</b>	<b>7430</b>	<b>4870</b>	<b>3340</b>		

<sup>1</sup> incl. waddeneilanden.

<sup>2</sup> getallen betreffen gesommeerde deposities over geheel Nederland en hebben niet betrekking op alleen het areaal aan landecosystemen.

*Tabel 3.2 Gemiddelde jaarlijkse depositie van potentieel zuur per hectare op landecosystemen per provincie en in geheel Nederland (in mol/ha/jr)<sup>2</sup>*

Provincie	Variant					
	1980	1990	1997-model	EC2010/MV5	2010-basis	2010-NEC
Groningen	4010	3130	2260	1340	1480	1400
Friesland <sup>1</sup>	4010	3250	2390	1650	1480	1420
Drenthe	5020	3870	2690	2010	1760	1670
Overijssel	6570	5110	3600	2630	2310	2180
Gelderland	7190	5330	3780	2720	2360	2220
Utrecht	7310	5400	3920	2820	2350	2220
Noord-Holland	4870	3580	2570	1710	1580	1490
Zuid-Holland	5850	4110	3060	2040	1830	1720
Zeeland	5290	3580	2700	1640	1660	1480
N-Brabant	8240	5960	4410	3190	2680	2470
Limburg	8120	5550	3970	2500	2560	2330
Flevoland	4760	3500	2490	1770	1560	1470
<b>Nederland</b>	<b>6490</b>	<b>4790</b>	<b>3460</b>	<b>2430</b>	<b>2160</b>	<b>2020</b>

Provincie	Variant			
	2010-Goth.	2010-NL-extra	2020-NMP3	2030
Groningen	1600	1400	930	660
Friesland <sup>1</sup>	1630	1380	920	660
Drenthe	1930	1640	1080	750
Overijssel	2580	2120	1380	920
Gelderland	2610	2180	1410	940
Utrecht	2580	2170	1390	930
Noord-Holland	1670	1480	990	710
Zuid-Holland	1940	1730	1130	790
Zeeland	1710	1610	1070	750
Noord-Brabant	2950	2490	1610	1050
Limburg	2760	2400	1540	1020
Flevoland	1680	1460	970	690
<b>Nederland</b>	<b>2360</b>	<b>2010</b>	<b>1300</b>	<b>880</b>

<sup>1</sup> incl. waddeneilanden.

<sup>2</sup> berekening wordt bemoeilijkt door het ontbreken van informatie over het relevant areaal aan landecosystemen binnen de 1x1 km<sup>2</sup>-cellen.

### 3.1.2 Bescherming van landecosystemen

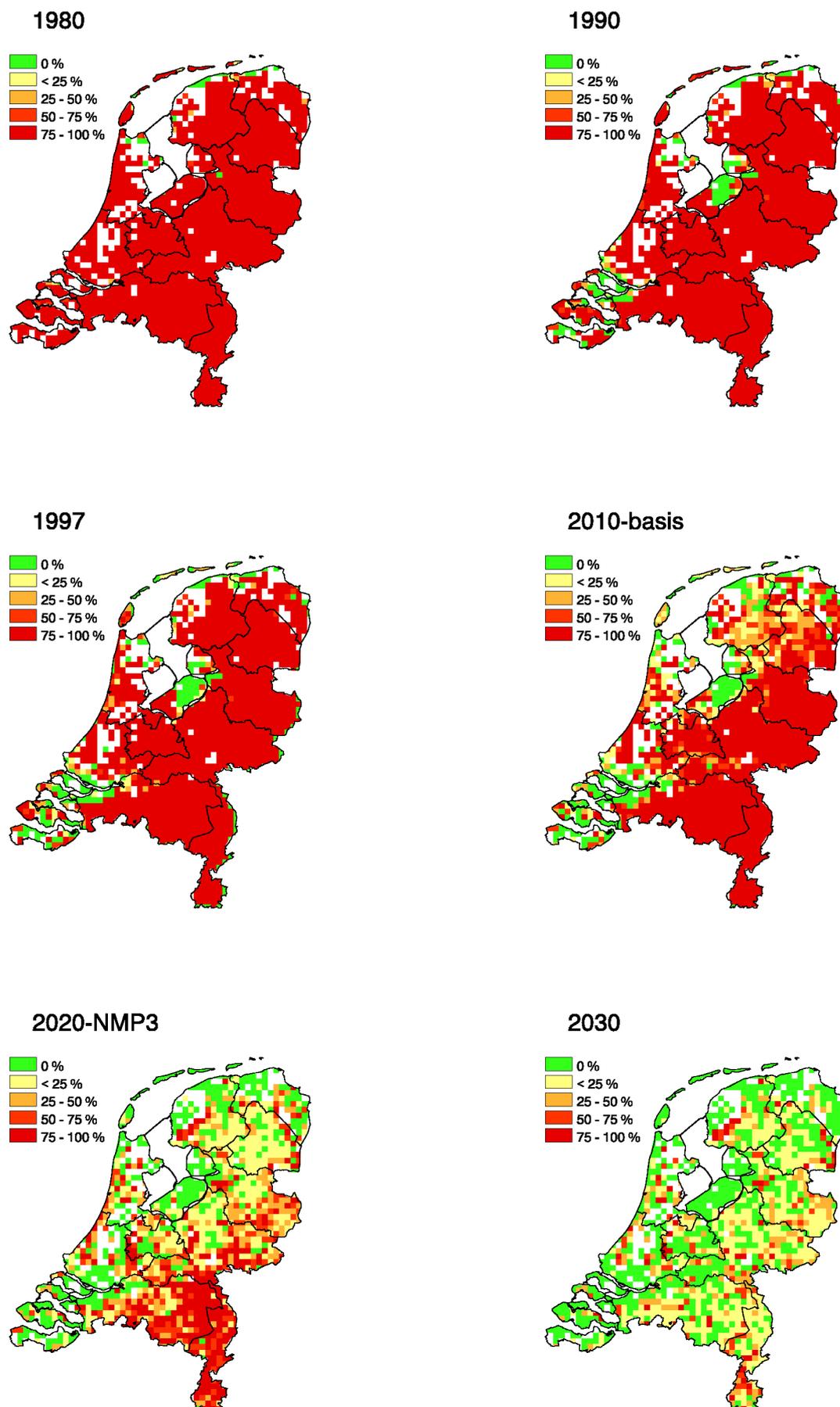
In figuur 3.3 is per emissievariant aangegeven welk percentage van het areaal beschouwde landecosystemen in een 5x5 km<sup>2</sup> depositiegrid wordt bedreigd door te hoge potentieel zuurdepositie. Er is duidelijk zichtbaar dat de bescherming in de provincies met hoge depositieniveaus (zie figuur 3.1) in alle berekeningen het laagst is. Deze gebieden zijn veelal ook gevoeliger voor potentieel zuurdepositie.

In het noordelijke en westelijke deel van Nederland, vooral in de zeekelegebieden, is de bescherming relatief groter dan in het oostelijk deel. In grote delen van de duinen is en blijft er overschrijding van de kritische depositieniveaus bestaan. De hoge overschrijding in het zuid-oostelijke deel van Nederland is gerelateerd aan de hoge depositieniveaus, en aan de relatieve hoge gevoeligheid van met name de hogere zandgronden. Bij afname van de depositie neemt de mate van overschrijding af vooral in het noordelijk deel van de hogere zandgronden (Drenthe) en rond de grote rivieren. Zeker bij de 2030-variant, die uitgaat van emissieniveaus waarbij duurzame niveaus voor de natuur binnen bereik komen, is de bescherming van landecosystemen aanzienlijk. Verspreid blijven echter knelpunten bestaan.

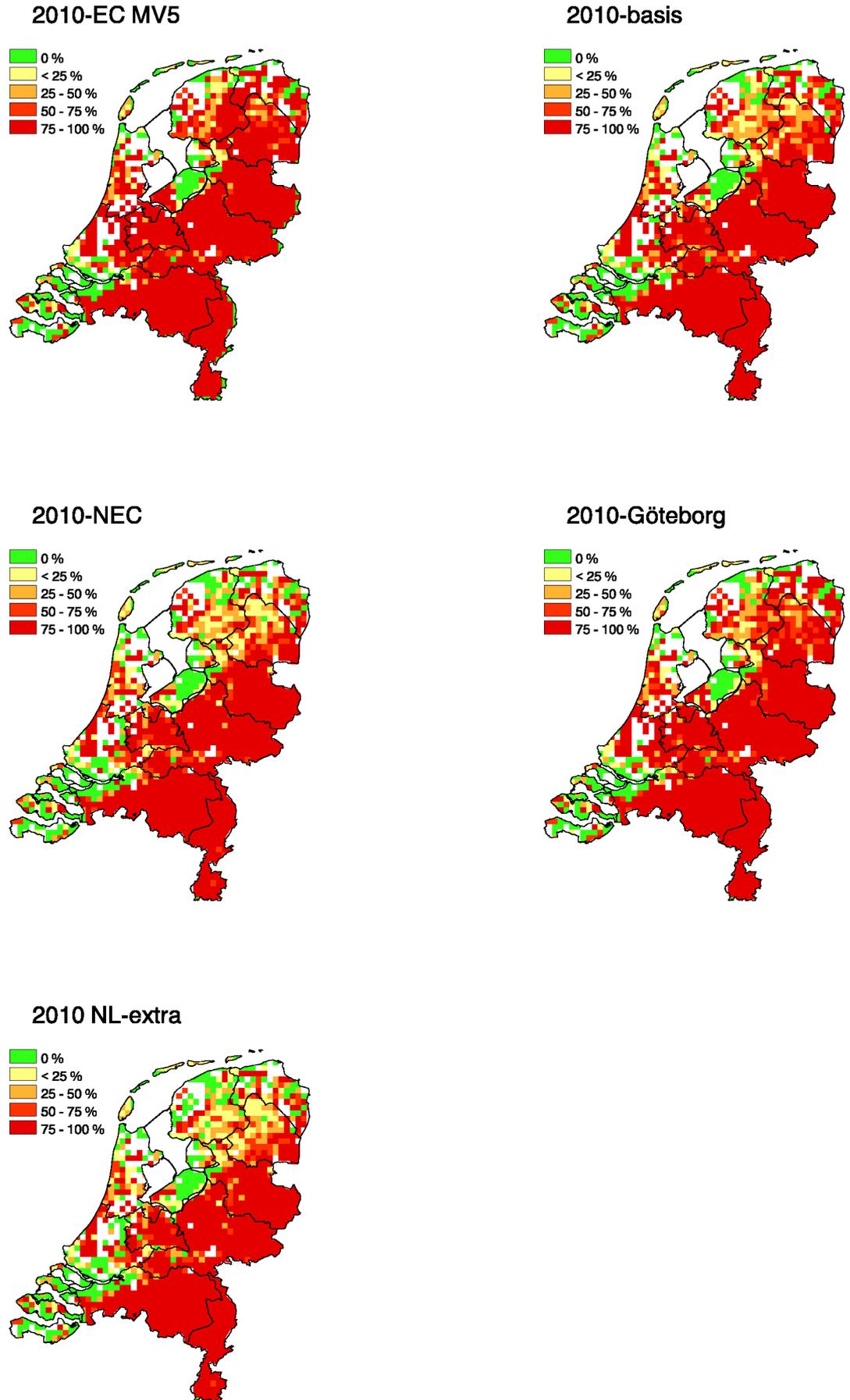
In figuur 3.4 is, voor de verschillende emissievarianten, weergegeven wat het percentage type ecosystemen is waarvan de verwachte depositie hoger is dan de kritische depositie. Het onderscheid tussen het *percentage typen ecosystemen* en het *percentage areaal* is dat in het percentage typen elk gebied -groot of klein- even zwaar weegt in het resultaat. De ruimtelijke patronen komen sterk overeen met het beeld van het percentage bedreigd areaal uit figuur 3.3. Met name bij varianten met hogere depositieniveaus is de overeenkomst groot; het percentage bedreigde areaal is dan hoog en vrijwel alle afzonderlijke typen landecosystemen zijn dan bedreigd. Al naar gelang de depositie afneemt, neemt het verschil tussen de figuren 3.3 en 3.4 toe. Bekeken naar typen ecosystemen geeft figuur 3.4 een minder gunstig beeld van de bescherming. Bij reductie van het depositieniveau wordt steeds een groter areaal beschermd, maar voor een aantal (gevoelige typen) landecosystemen blijft soms een knelpunt bestaan.

In figuur 3.4 is zichtbaar dat rond 2010 in een groot deel van Nederland een aanzienlijk percentage van de aanwezige typen ecosystemen bedreigd wordt door hoge depositieniveaus. In de provincies met de hoogste depositie is het percentage typen bedreigde ecosystemen ook het grootst. In met name grote delen van de zeekelegebieden (Zeeland, Friesland en Groningen) is de bedreiging relatief kleiner. Naarmate de emissiereductie groter is, neemt de bescherming vanuit het noorden en westen van Nederland toe.

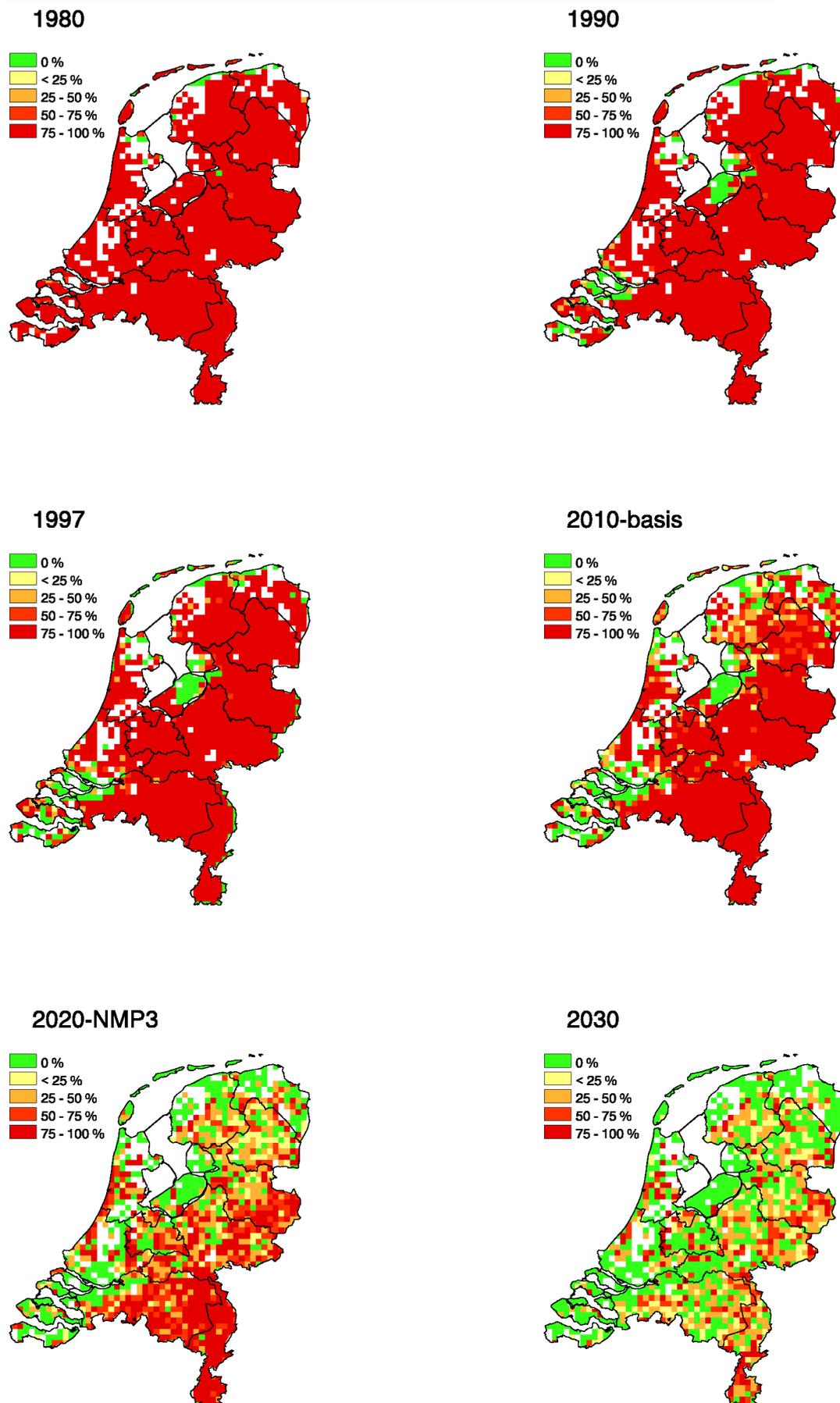
In tabel 3.3 is het percentage areaal landecosystemen zonder overschrijding van de kritische potentieel zuurdepositie weergegeven. De reductie in potentieel zuurdepositie veroorzaakt een stijging in het areaal landecosystemen zonder overschrijding. In 2010 zijn de NL-extra- en NEC-variant het gunstigst wat betreft die overschrijding. In de 2020-NMP3 en 2030-variant neemt het aantal knelpunten wat betreft potentieel zuur depositie nog verder af.



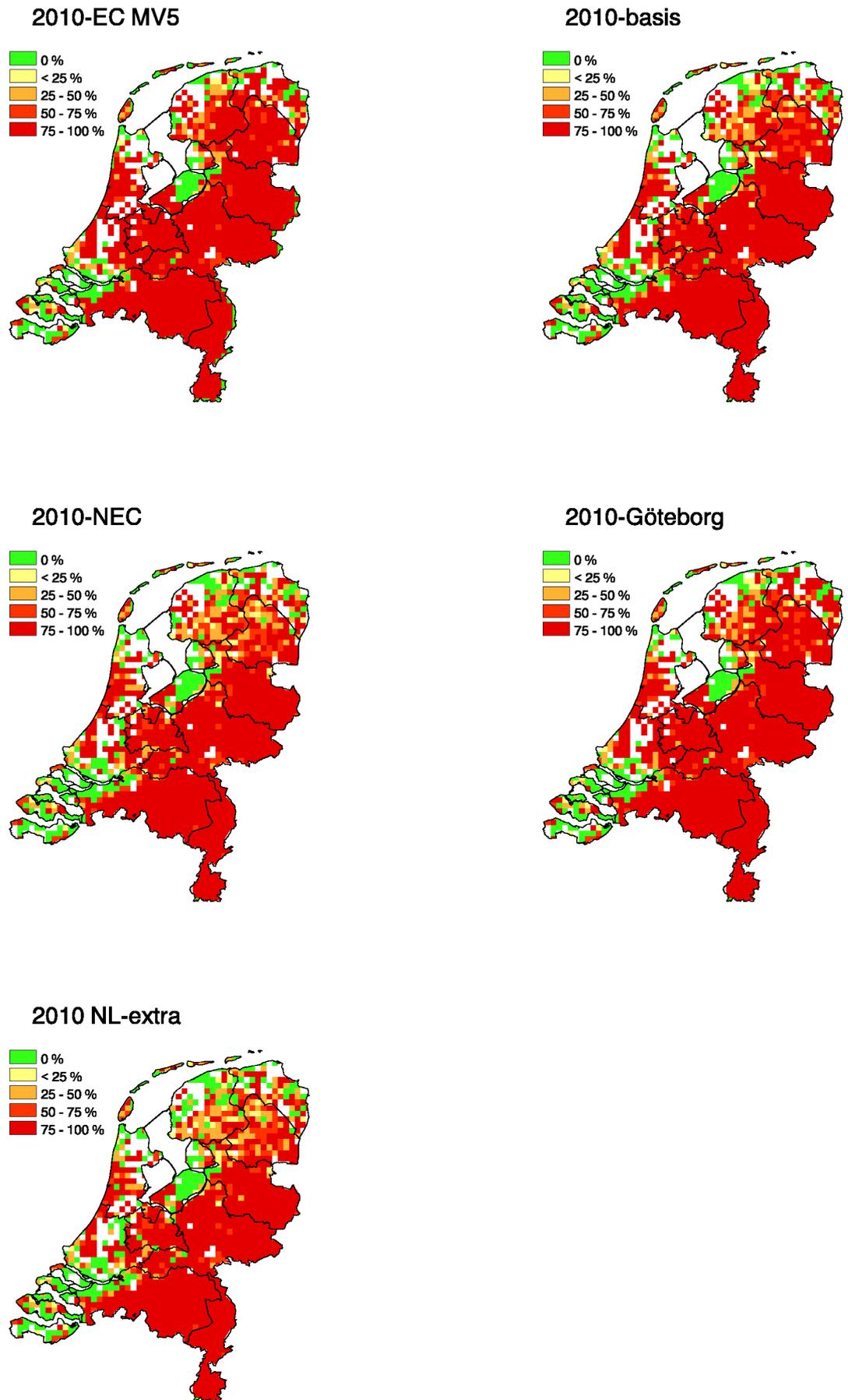
Figuur 3.3 Percentage onbeschermd areaal van landecosystemen voor de depositie van potentieel zuur in verschillende varianten ( $5 \times 5 \text{ km}^2$  gridcellen).



*Figuur 3.3 (vervolg) Percentage onbeschermd areaal van landecosystemen voor de depositie van potentieel zuur in verschillende varianten (5x5 km<sup>2</sup> gridcellen).*



Figuur 3.4 Percentage onbeschermde typen landecosystemen voor de depositie van potentieel zuur in de verschillende varianten ( $5 \times 5 \text{ km}^2$ -gridcellen).



*Figuur 3.4 (vervolg) Percentage onbeschermde typen landecosystemen voor de depositie van potentieel zuur in de verschillende varianten (5x5 km<sup>2</sup>-gridcellen).*

*Tabel 3.3 Percentage areaal landecosystemen zonder overschrijding van de kritische potentieel zuur depositie (%)<sup>2</sup>*

Provincie	Variant					
	1980	1990	1997-model	EC2010/MV5	2010-basis	2010-NEC
Groningen	20	20	10	40	50	60
Friesland <sup>1</sup>	10	10	20	40	60	70
Drenthe	<10	<10	<10	20	40	50
Overijssel	<10	<10	<10	10	10	10
Gelderland	<10	<10	<10	<10	10	10
Utrecht	<10	<10	<10	<10	10	10
Noord-Holland	<10	10	20	40	50	60
Zuid-Holland	<10	20	30	40	50	60
Zeeland	10	50	60	80	80	80
N-Brabant	<10	<10	10	10	10	10
Limburg	<10	<10	<10	10	<10	<10
Flevoland	<10	30	50	60	70	80
Nederland	<10	<10	10	20	20	30

Provincie	Variant			
	2010-Goth.	2010-NL-extra	2020-NMP3	2030
Groningen	50	60	80	90
Friesland <sup>1</sup>	50	70	80	90
Drenthe	30	50	90	90
Overijssel	10	10	60	80
Gelderland	<10	10	70	80
Utrecht	10	10	70	90
Noord-Holland	50	60	70	90
Zuid-Holland	40	60	70	90
Zeeland	80	80	90	90
Noord-Brabant	10	10	40	90
Limburg	<10	<10	20	80
Flevoland	60	80	90	>90
Nederland	20	30	60	90

<sup>1</sup> incl. waddeneilanden.

<sup>2</sup> berekening gebaseerd op kritische depositieniveaus in 1x1 km<sup>2</sup>-cellen. Berekening wordt bemoeilijkt door het ontbreken van informatie over het relevante areaal aan landecosystemen binnen deze 1x1 km<sup>2</sup>-cellen

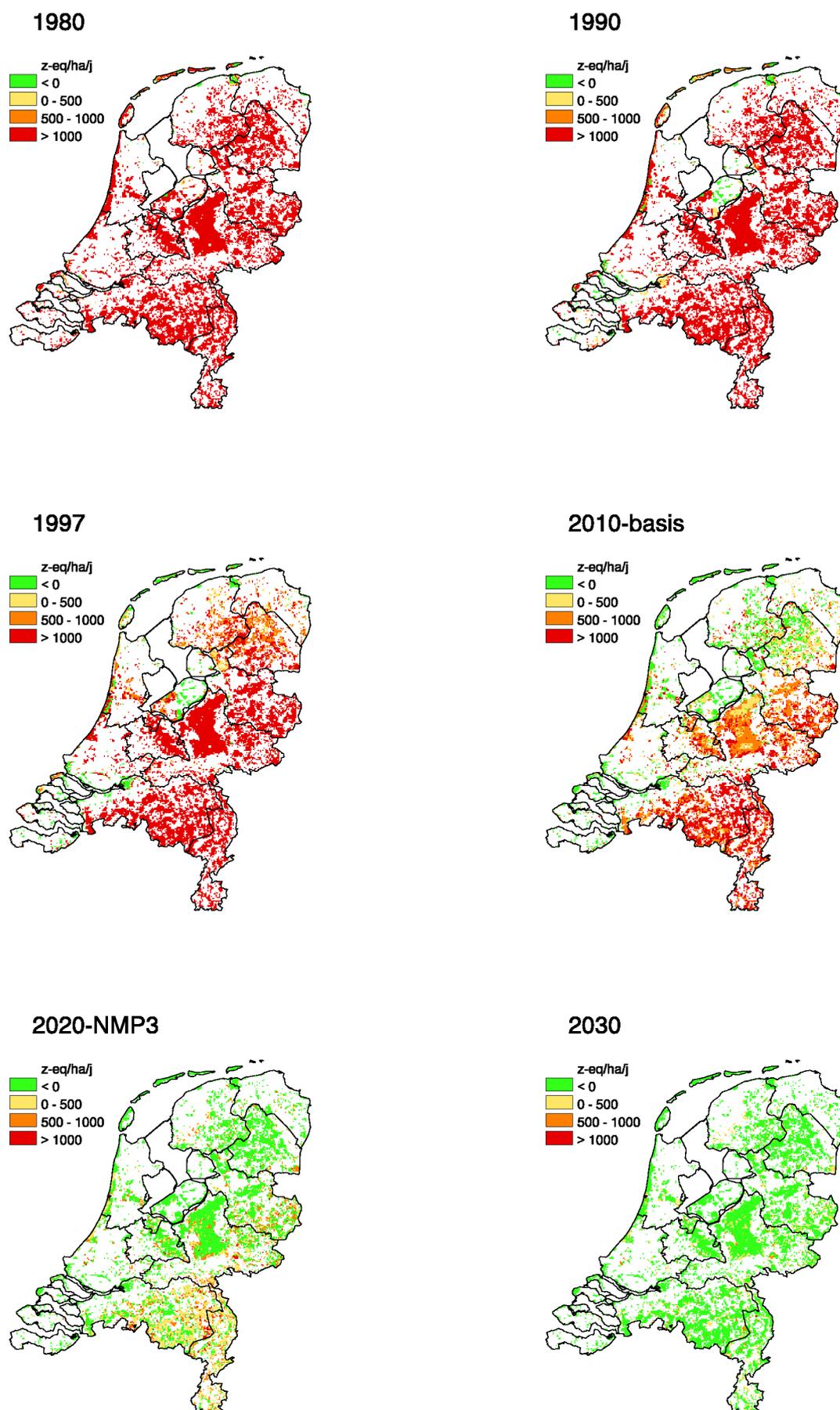
### 3.1.3 Overschrijding van de kritische depositieniveaus

In figuur 3.5 is de mate van overschrijding van de kritische depositieniveaus van landecosystemen weergegeven. Ook hier is zichtbaar dat rond 2010 met name in de provincies Limburg, Noord-Brabant, Gelderland, Overijssel en Utrecht de bedreiging van landecosystemen door overschrijding van duurzame depositieniveaus nog relatief groot is in vergelijking tot de rest van Nederland. De eerder genoemde verschillen tussen de emissievarianten zijn ook in figuur 3.5 zichtbaar. Door het gebruikte resolutieniveau van 1x1 km<sup>2</sup> in plaats van 5x5 km<sup>2</sup> zijn de verschillen soms zelfs duidelijker dan in de figuren 3.3 en 3.4. Bij deze fijnere resolutie is te zien dat met depositiereductie, ook in gebieden met relatief hoge deposities, de mate van overschrijding afneemt en meer en meer ecosystemen beschermd raken. De afname van de overschrijding van de kritische depositieniveaus bij de 2030 variant is aanzienlijk, hoewel verspreid knelpunten blijven bestaan (bijvoorbeeld in hoogvenen en duinen).

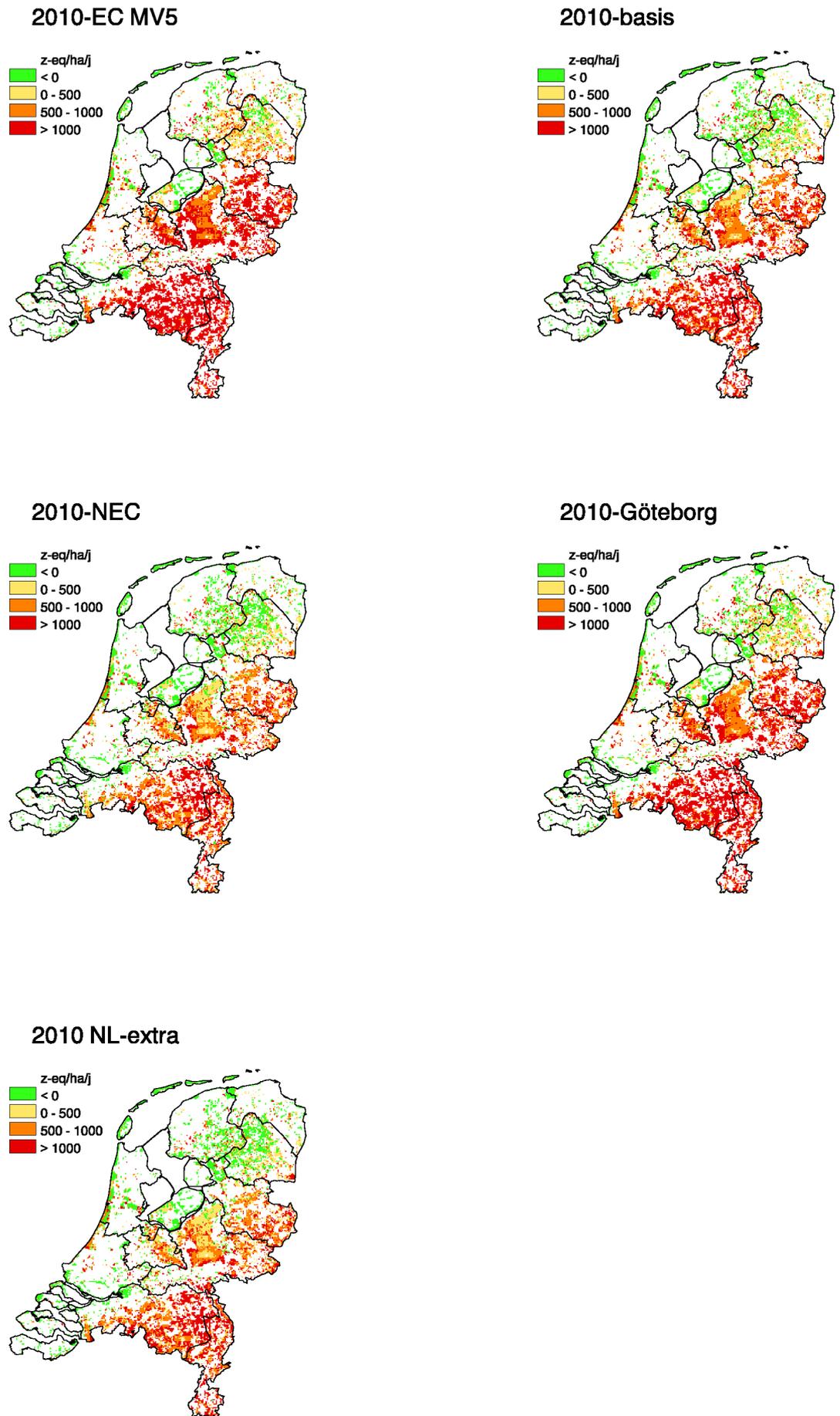
De verschillen tussen de emissievarianten in de gesommeerde en gemiddelde overschrijding van de kritische depositieniveaus zijn duidelijk (Tabel 3.4 en 3.5). Net als bij voorgaande indicatoren neemt de gesommeerde overschrijding in de 2010-varianten af in de reeks 2010-EC-MV5, 2010-Göteborg, 2010-basis, 2010-NEC en 2010-NL-extra.

De berekende landelijke overschrijding in de 2010-basis en 2010-NL-extra variant zijn ca. 20 en 30% lager dan in de 2010-Göteborg-variant, hoewel de reductie percentages per provincie variëren. Deze afname is het gevolg van emissiereducties in Nederland alleen.

Er zijn duidelijke verschillen tussen de varianten in de berekende gesommeerde en de gemiddelde overschrijding van de kritische depositieniveaus (Tabel 3.4 en 3.5). De 2020-NMP3 en 2030 berekeningen laten zien dat de gemiddelde overschrijding een weerbarstiger parameter is dan de gesommeerde overschrijding. Naarmate de emissies tussen 2020 en 2030 verder reduceren en er meer gebieden beschermd raken, wordt de gemiddelde overschrijding in toenemende mate bepaald door een kleinere groep zeer gevoelige gebieden. In theorie kan de gemiddelde overschrijding zelfs stijgen tussen 2020 en 2030, terwijl de gesommeerde overschrijding fors wordt teruggebracht.



*Figuur 3.5 Overschrijding van de kritische niveaus voor de depositie van potentieel zuur op landecosystemen in de verschillende emissievarianten.*



Figuur 3.5 (vervolg) Overschrijding van de kritische niveaus voor de depositie van potentieel zuur op landecosystemen in de verschillende emissievarianten.

Tabel 3.4 Gesommeerde overschrijding van de kritische potentieel zuur depositie op landecosystemen per provincie en in geheel Nederland (in Mmol/jr)<sup>2</sup>

Provincie	Variant					
	1980	1990	1997-model	EC2010/MV5	2010-basis	2010-NEC
Groningen	90	60	30	10	10	10
Friesland <sup>1</sup>	260	180	90	40	30	20
Drenthe	430	290	140	60	30	30
Overijssel	800	570	320	190	140	120
Gelderland	1390	930	550	310	220	180
Utrecht	300	200	120	60	40	30
Noord-Holland	230	140	70	30	20	20
Zuid-Holland	220	120	70	30	20	20
Zeeland	80	30	20	10	10	<10
N-Brabant	1660	1090	710	420	290	240
Limburg	730	460	260	160	130	110
Flevoland	100	50	20	10	10	<10
<b>Nederland</b>	<b>6280</b>	<b>4110</b>	<b>2390</b>	<b>1340</b>	<b>950</b>	<b>800</b>

Provincie	Variant			
	2010-Goth.	2010-NL-extra	2020-NMP3	2030
Groningen	10	10	<10	<10
Friesland <sup>1</sup>	30	20	<10	<10
Drenthe	50	30	<10	<10
Overijssel	170	110	30	<10
Gelderland	270	180	40	10
Utrecht	50	30	<10	<10
Noord-Holland	30	20	<10	<10
Zuid-Holland	30	20	<10	<10
Zeeland	10	<10	<10	<10
Noord-Brabant	360	250	60	10
Limburg	160	120	30	<10
Flevoland	10	<10	<10	<10
<b>Nederland</b>	<b>1180</b>	<b>790</b>	<b>200</b>	<b>50</b>

<sup>1</sup> incl. waddeneilanden.

<sup>2</sup> berekening van de gesommeerde deposities worden bemoeilijkt door het ontbreken van informatie over het relevante areaal van ecosystemen binnen de beschouwde 1x1 km<sup>2</sup>-cellen.

*Tabel 3.5 Gemiddelde jaarlijkse overschrijding van de kritische depositie van potentieel zuur op landecosystemen per provincie en in geheel Nederland (in mol/ha/jr)<sup>2</sup>*

Provincie	Variant					
	1980	1990	1997-model	EC2010/MV5	2010-basis	2010-NEC
Groningen	2710	1930	970	600	510	510
Friesland <sup>1</sup>	2580	1880	1090	660	640	620
Drenthe	3430	2280	1100	550	440	410
Overijssel	5050	3630	2130	1360	970	850
Gelderland	5670	3820	2290	1320	930	800
Utrecht	5700	3790	2320	1260	840	740
Noord-Holland	3340	2160	1290	840	740	690
Zuid-Holland	3690	2610	1810	940	740	770
Zeeland	2250	1610	1230	760	780	680
N-Brabant	6600	4410	2990	1800	1260	1060
Limburg	6810	4250	2670	1630	1260	1050
Flevoland	2260	1570	1070	480	400	410
<b>Nederland</b>	<b>4910</b>	<b>3370</b>	<b>2090</b>	<b>1280</b>	<b>970</b>	<b>850</b>

Provincie	Variant			
	2010-Goth.	2010-NL-extra	2020-NMP3	2030
Groningen	570	510	410	340
Friesland <sup>1</sup>	670	630	480	280
Drenthe	520	430	460	270
Overijssel	1230	800	440	220
Gelderland	1160	770	480	270
Utrecht	1050	700	420	240
Noord-Holland	770	680	400	260
Zuid-Holland	790	800	420	290
Zeeland	790	780	360	150
Noord-Brabant	1530	1060	400	340
Limburg	1470	1110	400	220
Flevoland	450	410	240	300
<b>Nederland</b>	<b>1150</b>	<b>850</b>	<b>420</b>	<b>270</b>

<sup>1</sup> incl. waddeneilanden.

<sup>2</sup> Berekening wordt bemoeilijkt door ontbreken van informatie over relevante areaal aan landecosystemen binnen de beschouwde 1x1km<sup>2</sup> cellen.

## **3.2 Depositie van stikstof en effecten op milieu en natuur**

### **3.2.1 Stikstofdepositie**

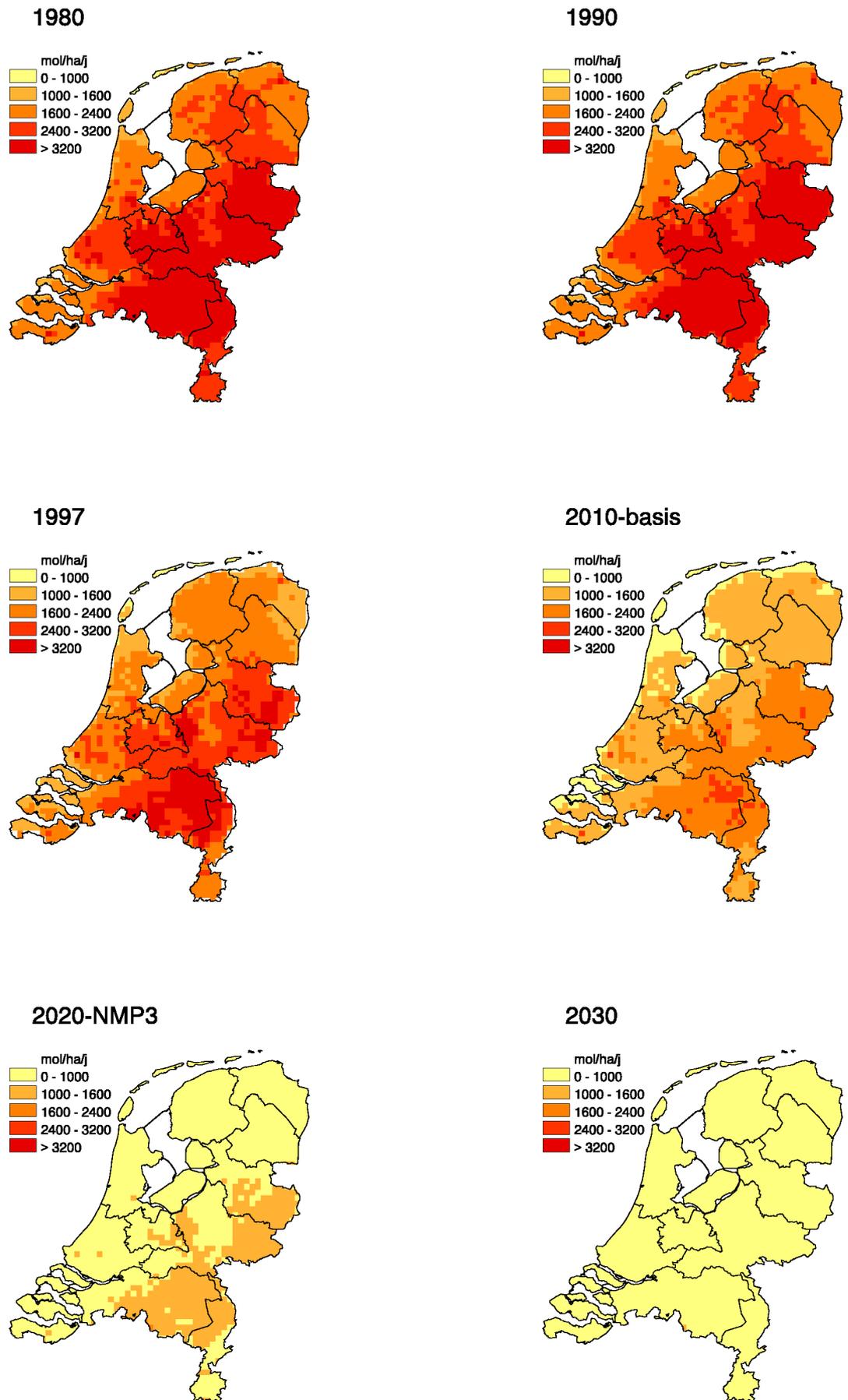
Figuur 3.6 geeft een beeld van de ruimtelijke depositiepatronen van totaal stikstof op basis van de verschillende emissievarianten.

De gesommeerde depositietotalen van stikstof zijn weergegeven in tabel 3.6. In vergelijking tot de referentie jaren (1980, 1990, en 1997) is de hoogte van de totale stikstofdepositie in de toekomstvarianten aanzienlijk lager. De totale depositie is in 2010 het laagst in de NL-extra-variant en het hoogst in de 2010-EC-MV5-variant. De hoogte van de landelijke depositie neemt af in de reeks; 1980, 1990, 1997, 2010-EC-MV5, 2010-Göteborg, 2010-basis, 2010-NEC en 2010-NL-extra.

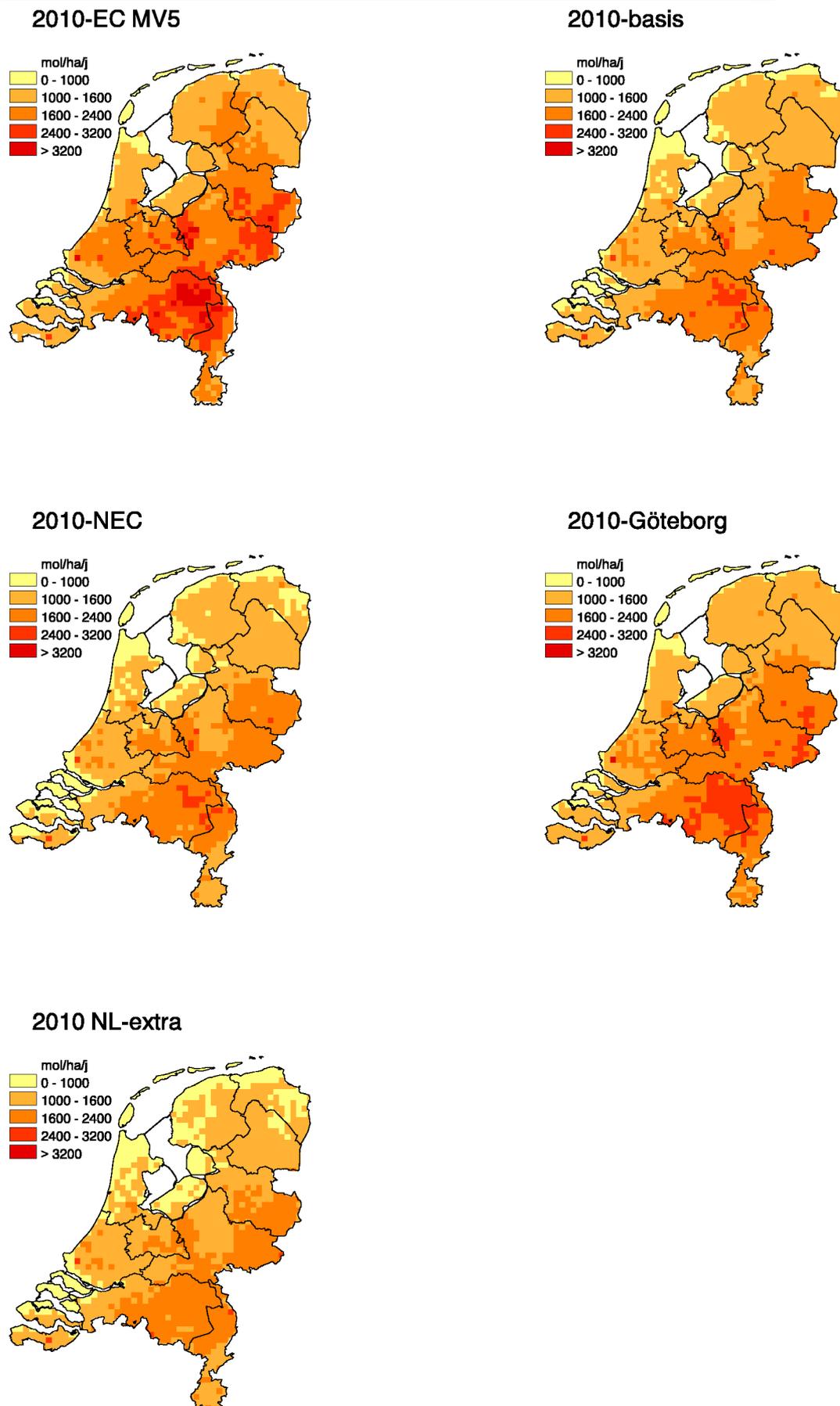
De berekende totale stikstofdepositie in de 2010-basis en 2010-NL-extra variant zijn 11 en 18% lager dan in de 2010-Göteborg-variant. Deze afname is het gevolg van emissiereducties in Nederland alleen.

In tabel 3.7 zijn de berekende gemiddelde depositieniveaus op landecosystemen van totaal stikstof weergegeven. In de provincies met relatief hoge emissieniveaus is ook op de landecosystemen het gemiddelde depositieniveau hoger dan gemiddeld over heel Nederland.

Merk op dat pas bij de 2020-NMP3 variant de huidige 2010 doelstelling van 1000 mol/ha/jaar stikstof depositie gehaald wordt. Geen van de 2010 varianten bereikt dit niveau.



Figuur 3.6 Depositiepatroon van stikstof voor de verschillende varianten.



Figuur 3.6 (vervolg) Depositiepatroon van stikstof voor de verschillende varianten.

*Tabel 3.6 Gesommeerde jaarlijkse depositie van totaal stikstof per provincie en in geheel Nederland (in Mmol/jr)<sup>2</sup>*

Provincie	Variant					
	1980	1990	1997-model	EC2010/MV5	2010-basis	2010-NEC
Groningen	590	570	370	220	300	290
Friesland <sup>1</sup>	1020	1010	680	370	510	490
Drenthe	700	680	520	400	340	330
Overijssel	1240	1220	920	720	590	570
Gelderland	1930	1890	1460	1120	920	880
Utrecht	500	490	390	300	240	230
Noord-Holland	740	710	520	320	380	360
Zuid-Holland	870	830	690	510	450	430
Zeeland	500	480	390	270	290	270
N-Brabant	1980	1950	1570	1210	970	920
Limburg	780	760	540	400	390	370
Flevoland	440	430	280	150	220	210
<b>Nederland</b>	<b>11290</b>	<b>11020</b>	<b>8330</b>	<b>5980</b>	<b>5600</b>	<b>5360</b>

Provincie	Variant			
	2010-Goth.	2010-NL-extra	2020-NMP3	2030
Groningen	330	280	170	110
Friesland <sup>1</sup>	570	470	300	190
Drenthe	390	310	200	120
Overijssel	680	530	330	200
Gelderland	1050	830	520	310
Utrecht	270	220	130	80
Noord-Holland	410	350	220	140
Zuid-Holland	490	420	250	160
Zeeland	310	280	180	120
Noord-Brabant	1100	880	560	340
Limburg	440	370	230	140
Flevoland	240	210	130	80
<b>Nederland</b>	<b>6290</b>	<b>5150</b>	<b>3200</b>	<b>1990</b>

<sup>1</sup> incl. waddeneilanden.

<sup>2</sup> getallen betreffen gesommeerde deposities over geheel Nederland en hebben niet betrekking op alleen het areaal aan landecosystemen.

Tabel 3.7 Gemiddelde jaarlijkse depositie van totaal stikstof per hectare op landecosystemen per provincie en in geheel Nederland (in mol/ha/jr)<sup>2</sup>

Provincie	Variant					
	1980	1990	1997-model	EC2010/MV5	2010-basis	2010-NEC
Groningen	2070	2020	1620	950	1050	1000
Friesland <sup>1</sup>	2190	2170	1760	1250	1070	1040
Drenthe	2610	2570	1960	1520	1280	1220
Overijssel	3690	3640	2790	2100	1760	1690
Gelderland	3630	3550	2760	2080	1730	1660
Utrecht	3560	3470	2780	2120	1690	1640
Noord-Holland	1940	1870	1530	1080	990	960
Zuid-Holland	2300	2210	1850	1360	1190	1140
Zeeland	1700	1660	1430	970	990	910
N-Brabant	4000	3940	3180	2450	1960	1860
Limburg	3630	3510	2780	1820	1810	1700
Flevoland	2140	2090	1660	1230	1040	1010
<b>Nederland</b>	<b>3170</b>	<b>3110</b>	<b>2470</b>	<b>1820</b>	<b>1550</b>	<b>1480</b>

Provincie	Variant			
	2010-Goth.	2010-NL-extra	2020-NMP3	2030
Groningen	1170	970	610	390
Friesland <sup>1</sup>	1220	970	610	390
Drenthe	1450	1170	730	450
Overijssel	2030	1590	1000	600
Gelderland	1980	1570	970	590
Utrecht	1920	1540	930	570
Noord-Holland	1080	930	560	360
Zuid-Holland	1300	1120	670	430
Zeeland	1040	960	620	390
Noord-Brabant	2230	1780	1130	680
Limburg	2020	1680	1050	630
Flevoland	1160	960	600	380
<b>Nederland</b>	<b>1750</b>	<b>1420</b>	<b>880</b>	<b>540</b>

<sup>1</sup> incl. waddeneilanden.

<sup>2</sup> Berekening wordt bemoeilijkt door het ontbreken van informatie over het relevante areaal ecosystemen binnen de beschouwde 1x1km<sup>2</sup>-cellen.

### 3.2.2 Bescherming van landecosystemen

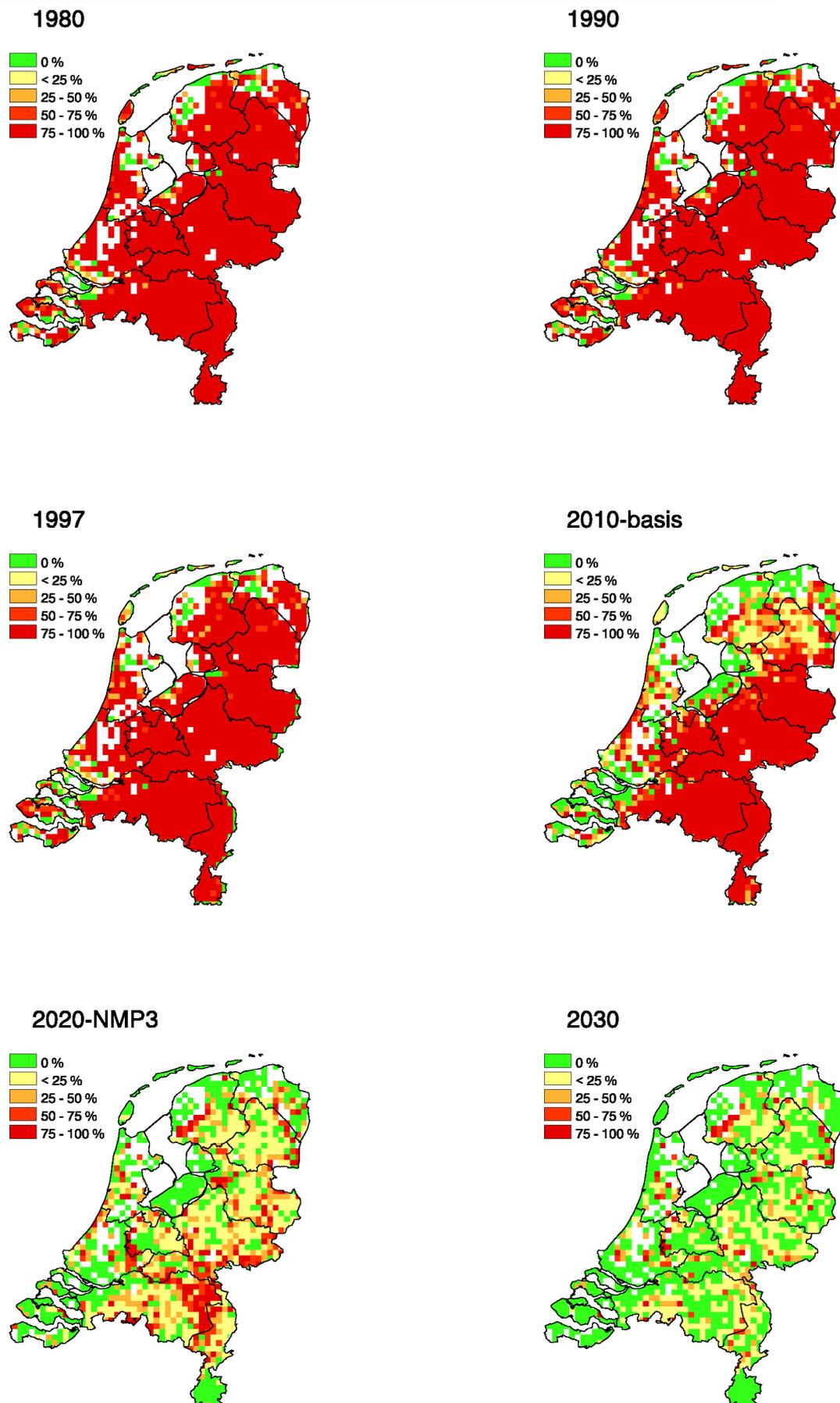
In figuur 3.7 is per emissievariant aangegeven welk percentage van het areaal beschouwde landecosystemen in een 5x5 km<sup>2</sup> depositiegrid wordt bedreigd door een te hoge depositie van stikstof. Dit beeld is vergelijkbaar met de eerder beschreven patronen van de potentiële zuurdepositie; in het noordelijke en westelijke deel van Nederland is de overschrijding van duurzame niveaus relatief kleiner dan in het oosten van het land. Uitzondering daarop vormen de duinen, met veel kwetsbare natuur.

Zeker invariant 2010-Göteborg, met relatief hoge depositieniveaus, is in grote delen van de duinen de bescherming gering. De hoge overschrijding in het zuidoostelijke deel van Nederland is gerelateerd aan de hoge depositieniveaus aldaar, gekoppeld aan de relatief hoge gevoeligheid van de hogere zandgronden.

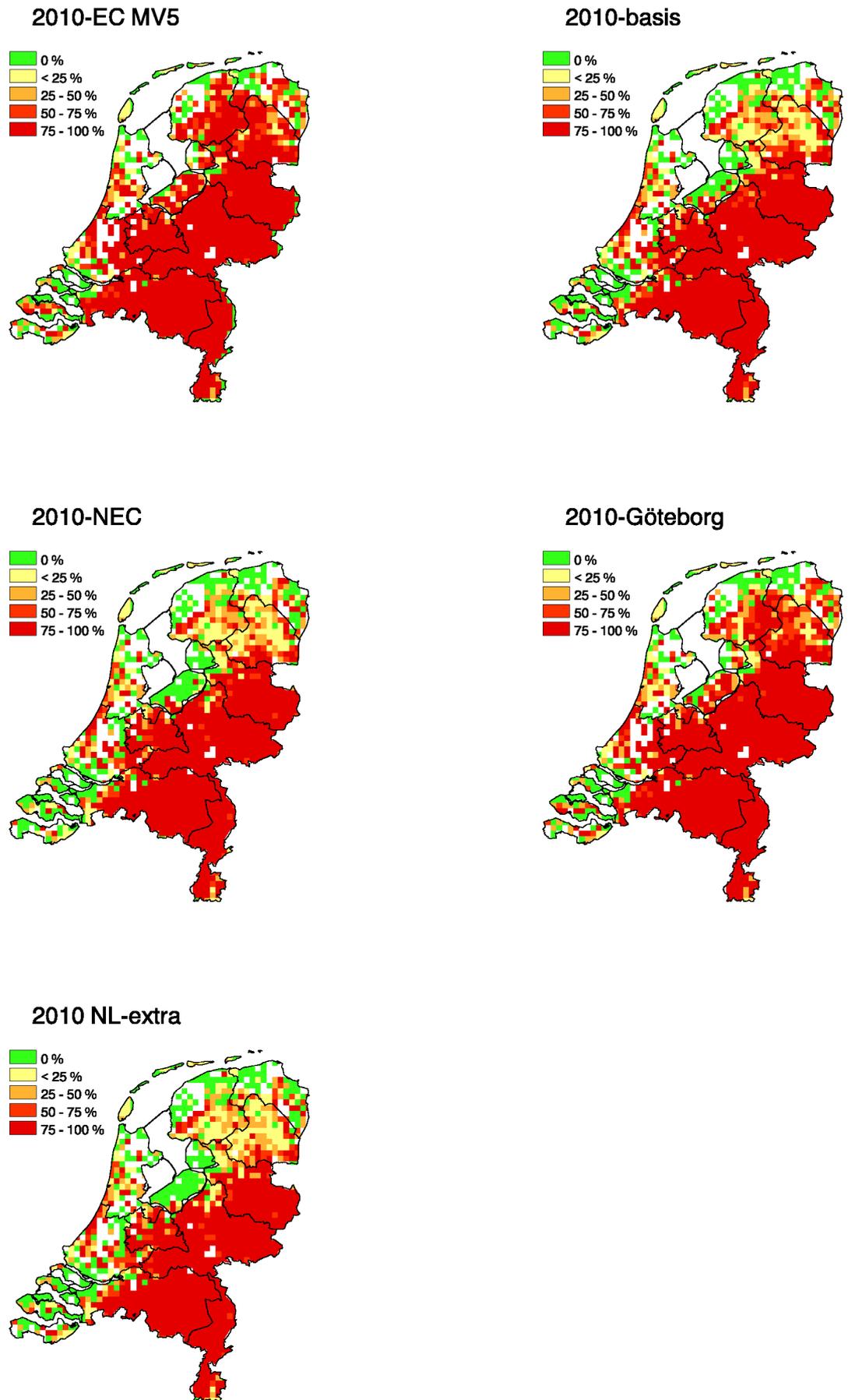
Bij reductie van de depositie neemt de bescherming van landecosystemen vanuit het noorden en het westen toe. Datzelfde patroon is zichtbaar bij de bescherming ten aanzien van potentieel zuurdepositie.

In figuur 3.8 is, voor de verschillende emissievarianten, weergegeven wat het percentage type landecosystemen per 5x5 km<sup>2</sup>-grid is waarvan de berekende depositie hoger is dan de kritische depositie. In de huidige situatie wordt in een groot deel van Nederland een aanzienlijk percentage van de aanwezige typen landecosystemen bedreigd door te hoge depositieniveaus. In de provincies met de hoogste depositie is het percentage typen bedreigde ecosystemen het grootst. In grote delen van de zeeleigebieden (Zeeland, Friesland en Groningen) is de overschrijding geringer. Bij stringenter emissiebeperkingen zal rond 2010 de overschrijding afnemen vanuit het noorden en het westen. Ook rond de grote rivieren neemt gaandeweg de overschrijding af. De toekomstvarianten voor 2020 en 2030 geven een nog gunstiger beeld ten aanzien van de overschrijding. Bij de 2030 variant blijven verspreid door Nederland nog knelpunten door te hoge depositieniveaus bestaan.

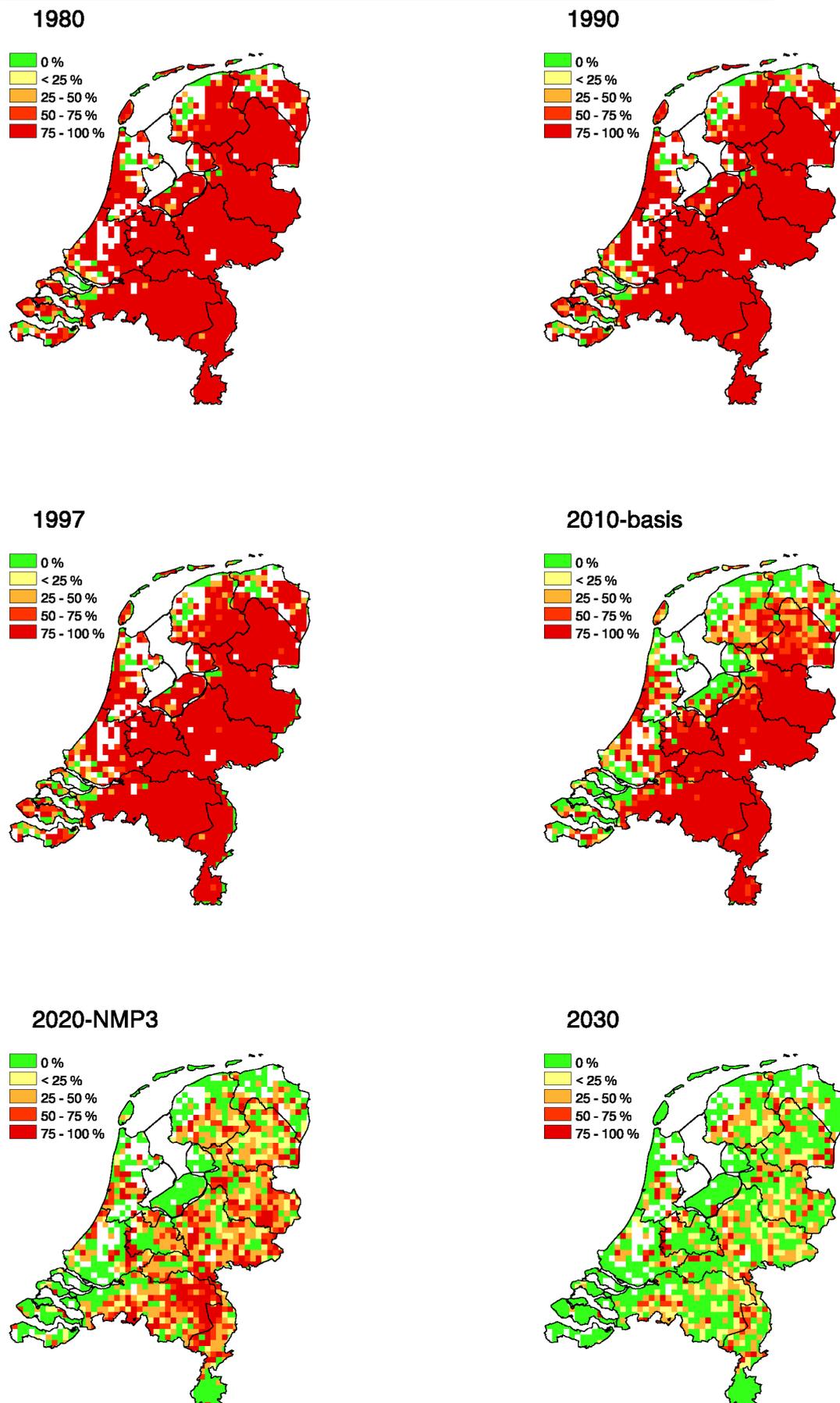
In tabel 3.8 is het berekende percentage areaal landecosystemen zonder overschrijding van de kritische stikstofdepositie weergegeven. De reductie in stikstofdepositie veroorzaakt een toename van het areaal landecosystemen zonder overschrijding. In 2010 zijn de NL-extra- en NEC-variant het gunstigste beeld wat betreft die overschrijding. In de 2020-NMP3 en 2030-variant neemt het aantal knelpunten wat betreft stikstofdepositie in de berekeningen nog aanzienlijk af.



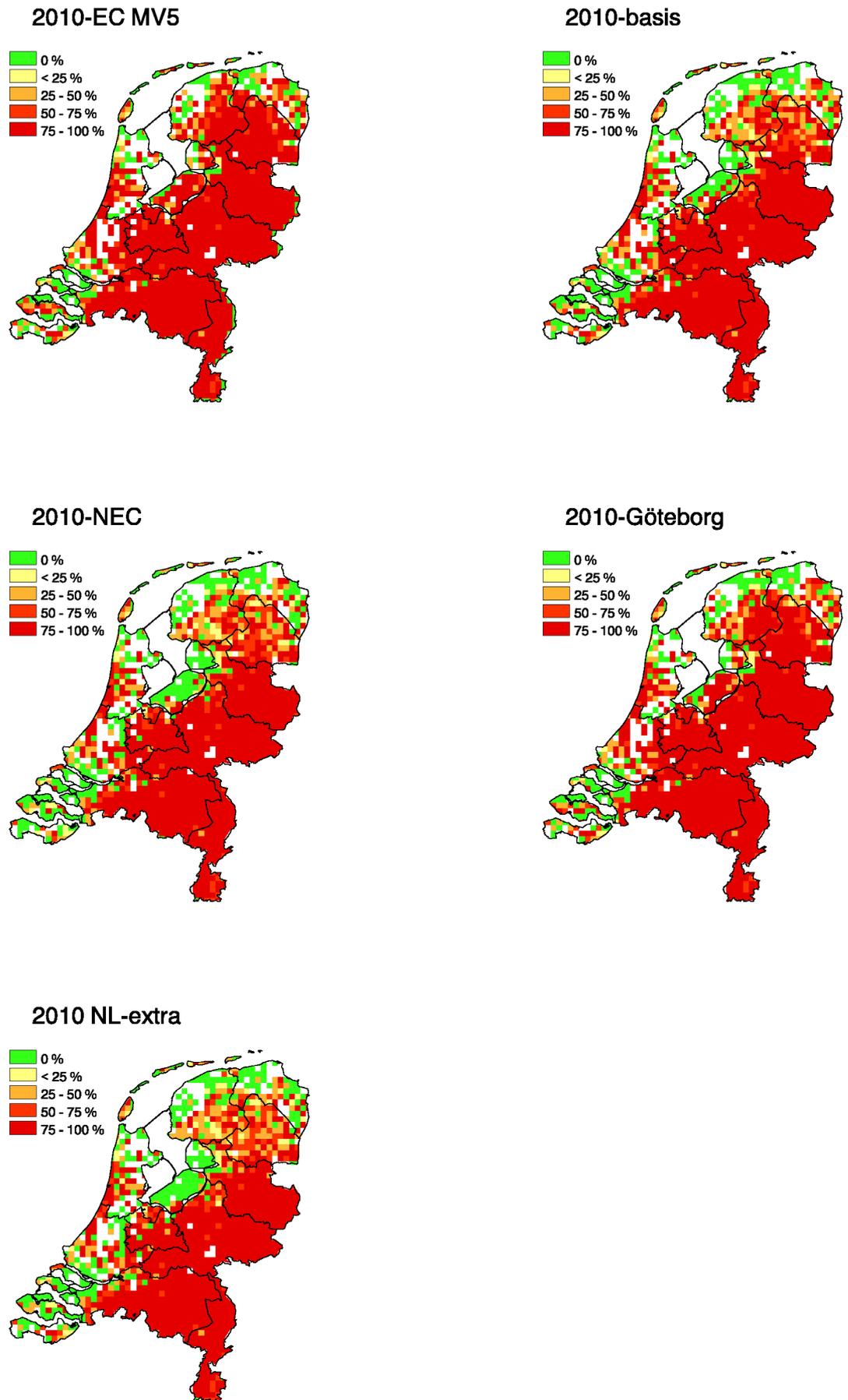
Figuur 3.7. Het percentage onbeschermde hectare van landecosystemen voor de depositie van stikstof in verschillende varianten ( $5 \times 5 \text{ km}^2$ -gridcellen).



*Figuur 3.7. (vervolg) Het percentage onbeschermd hectare van landecosystemen voor de depositie van stikstof in verschillende varianten (5x5km<sup>2</sup>-gridcellen).*



Figuur 3.8. Het percentage onbeschermde typen landecosystemen voor de depositie van stikstof in verschillende varianten (5x5 km<sup>2</sup>-gridcellen).



*Figuur 3.8. (vervolg) Het percentage onbeschermde typen landecosystemen voor de depositie van stikstof in verschillende varianten (5x5 km<sup>2</sup>-gridcellen).*

*Tabel 3.8 Percentage landecosystemen zonder overschrijding van de kritische depositie van totaal stikstof (%)<sup>2</sup>*

Provincie	Variant					
	1980	1990	1997-model	EC2010/MV5	2010-basis	2010-NEC
Groningen	30	30	30	60	70	80
Friesland <sup>1</sup>	30	30	30	40	70	70
Drenthe	<10	<10	10	20	60	60
Overijssel	<10	<10	<10	10	10	20
Gelderland	<10	<10	<10	<10	10	10
Utrecht	<10	<10	<10	10	10	10
Noord-Holland	20	30	30	60	60	70
Zuid-Holland	30	30	30	40	50	60
Zeeland	50	50	60	80	80	90
N-Brabant	<10	<10	<10	10	10	10
Limburg	<10	<10	<10	10	10	10
Flevoland	20	20	20	40	80	80
<b>Nederland</b>	<b>&lt;10</b>	<b>&lt;10</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>30</b>

Provincie	Variant			
	2010-Goth.	2010-extra	2020-NMP3	2030
Groningen	70	80	80	90
Friesland <sup>1</sup>	50	70	80	90
Drenthe	30	70	90	90
Overijssel	10	20	80	90
Gelderland	<10	10	80	90
Utrecht	10	20	80	90
Noord-Holland	60	70	80	90
Zuid-Holland	40	60	80	90
Zeeland	80	90	90	>90
Noord-Brabant	10	10	70	90
Limburg	<10	10	70	90
Flevoland	50	90	100	>90
<b>Nederland</b>	<b>20</b>	<b>40</b>	<b>80</b>	<b>90</b>

<sup>1</sup> incl. waddeneilanden.

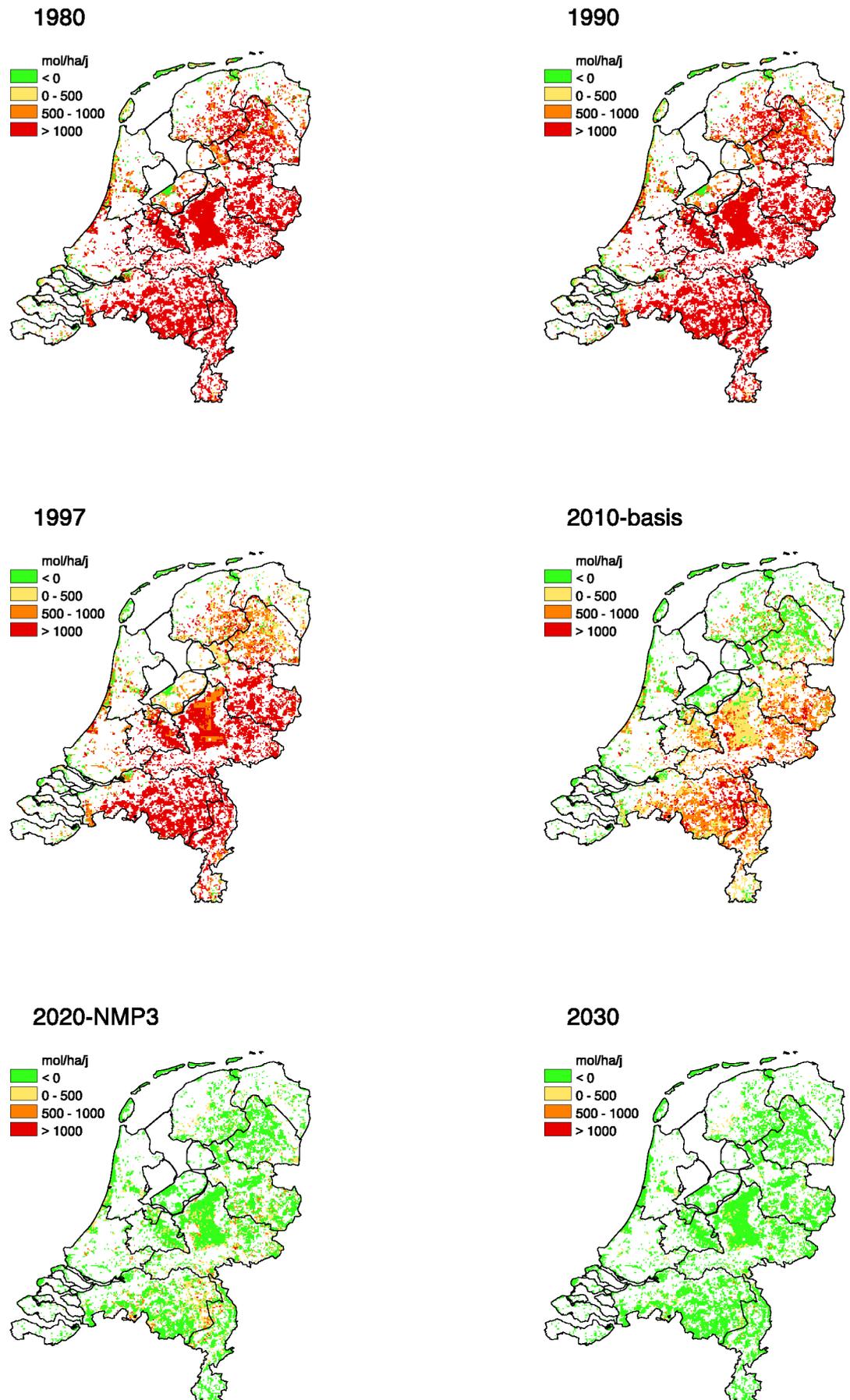
<sup>2</sup> berekening gebaseerd op kritische depositieniveaus in 1x1 km<sup>2</sup> cellen. Berekening wordt bemoeilijkt door het ontbreken van informatie over het relevante areaal aan landecosystemen binnen deze 1x1 km<sup>2</sup> cellen.

### 3.2.3 Overschrijding van de kritische depositieniveaus

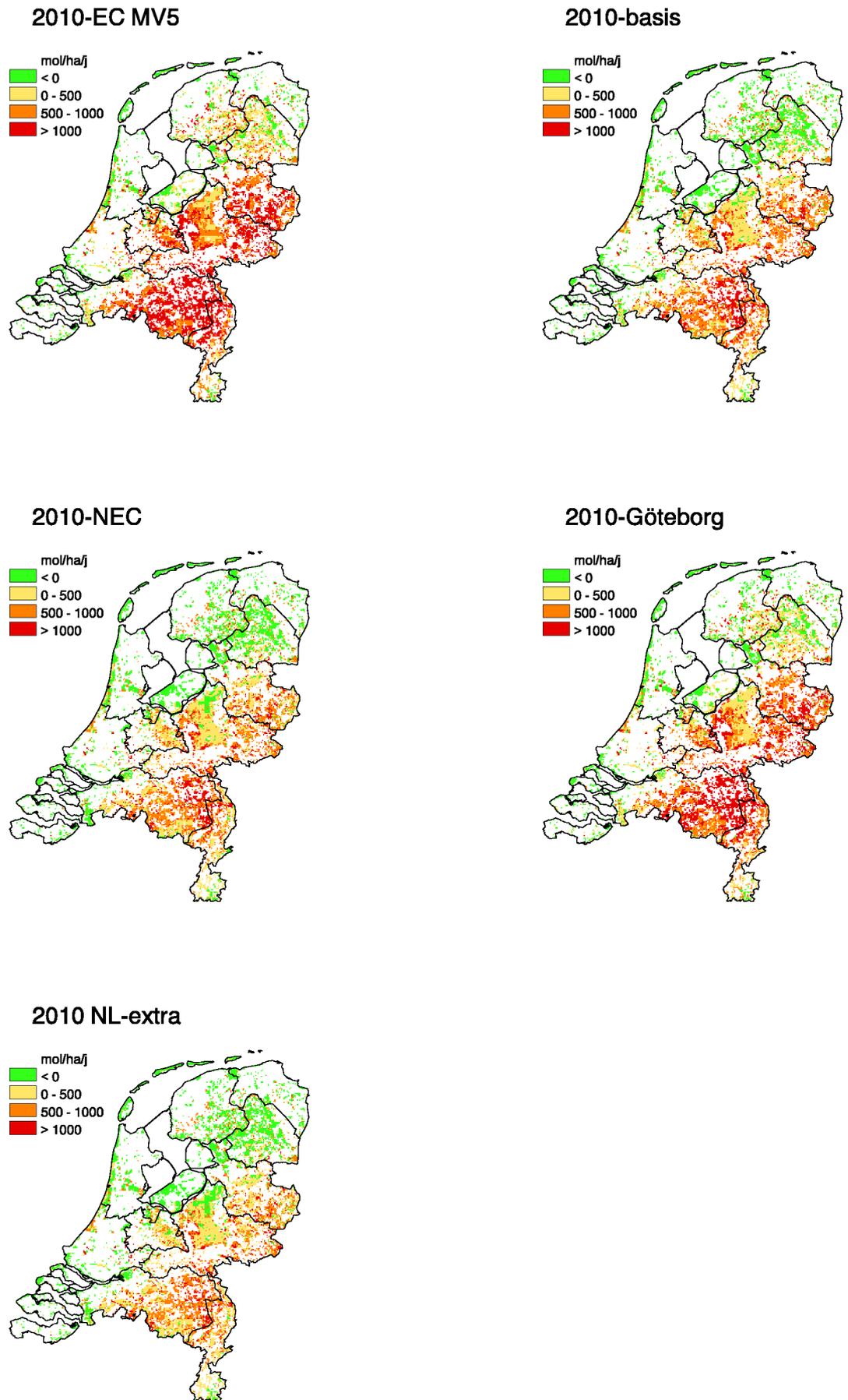
In figuur 3.9 is de mate van overschrijding van de kritische depositieniveaus van stikstof voor landecosystemen weergegeven. De wijze van presenteren is analoog aan de analyses met betrekking tot potentieel zuurdepositie in paragraaf 3.1.3. Ook in figuur 3.9 is duidelijk zichtbaar dat met name bij de 2010-varianten in de provincies Limburg, Noord-Brabant, Gelderland, Overijssel en Utrecht de bedreiging van landecosystemen relatief groot is in vergelijking met de rest van Nederland. Ook de eerder genoemde verschillen tussen de varianten over de mate van overschrijding zijn in figuur 3.9 herkenbaar. Op basis van het fijnere resolutieniveau zijn de ontwikkelingen in mate van bedreiging beter zichtbaar dan in de figuren 3.7 en 3.8.

Er zijn duidelijke verschillen tussen de varianten in de gesommeerde en in de gemiddelde overschrijding van de kritische depositieniveaus (Tabel 3.9 en 3.10). De 2020-NMP3 en 2030 berekeningen laten zien dat de gemiddelde overschrijding een 'taaiere' grootheid is dan de gesommeerde overschrijding. Naarmate de emissies tussen 2020 en 2030 verder reduceren en er meer gebieden beschermd raken, wordt de gemiddelde overschrijding in toenemende mate bepaald door een kleinere groep zeer gevoelige gebieden. In theorie kan de gemiddelde overschrijding zelfs stijgen tussen 2020 en 2030, terwijl de gesommeerde overschrijding fors wordt teruggebracht. De gesommeerde overschrijding in de 2010-varianten neemt af in de reeks 2010-EC-MV5, 2010-Göteborg, 2010-basis, 2010-NEC en 2010-NL-extra. De geschatte landelijke overschrijding in de 2010-basis en 2010-NL-extra variant zijn ca. 30 en 45% lager dan in de 2010-Göteborg-variant. Deze afname is het gevolg van emissiereducties in Nederland alleen.

In de 2020-NMP3 en de 2030-varianten is de gesommeerde overschrijding aanzienlijk lager dan in de 2010-varianten.



Figuur 3.9. De overschrijding van de kritische niveaus voor de depositie van stikstof van landecosystemen.



Figuur 3.9. (vervolg) De overschrijding van de kritische niveaus voor de depositie van stikstof van landecosystemen.

Tabel 3.9 Gesommeerde overschrijding van de kritische depositieniveaus van stikstof op landecosystemen per provincie en in geheel Nederland (in Mmol/jr)<sup>2</sup>

Provincie	Variant					
	1980	1990	1997-model	EC2010/MV5	2010-basis	2010-NEC
Groningen	30	30	20	10	10	10
Friesland <sup>1</sup>	110	110	70	40	20	20
Drenthe	170	160	90	40	20	20
Overijssel	390	380	240	150	90	80
Gelderland	600	590	390	240	140	130
Utrecht	120	120	80	50	30	20
Noord-Holland	60	50	30	20	10	10
Zuid-Holland	70	60	40	20	10	10
Zeeland	10	10	10	<10	<10	<10
N-Brabant	690	680	490	310	190	170
Limburg	260	250	150	100	70	60
Flevoland	40	30	20	10	<10	<10
<b>Nederland</b>	<b>2550</b>	<b>2470</b>	<b>1620</b>	<b>980</b>	<b>600</b>	<b>530</b>

Provincie	Variant			
	2010-Goth.	2010-NL-extra	2020-NMP3	2030
Groningen	10	<10	<10	<10
Friesland <sup>1</sup>	30	20	<10	<10
Drenthe	30	20	<10	<10
Overijssel	130	70	10	<10
Gelderland	200	110	20	<10
Utrecht	40	20	<10	<10
Noord-Holland	20	10	<10	<10
Zuid-Holland	20	10	<10	<10
Zeeland	<10	<10	<10	<10
Noord-Brabant	260	150	30	<10
Limburg	90	60	10	<10
Flevoland	<10	<10	<10	<10
<b>Nederland</b>	<b>830</b>	<b>460</b>	<b>100</b>	<b>20</b>

<sup>1</sup> incl. waddeneilanden.

<sup>2</sup> berekening wordt bemoeilijkt door het ontbreken van informatie over het relevante areaal ecosystemen binnen de beschouwde 1x1 km<sup>2</sup>-cellen.

Tabel 3.10. Gemiddelde jaarlijkse overschrijding van de kritische depositieniveaus van stikstof op landecosystemen per provincie en in geheel Nederland (in mol/ha/jr)<sup>2</sup>

Provincie	Variant					
	1980	1990	1997-model	EC2010/MV5	2010-basis	2010-NEC
Groningen	1150	1090	630	550	550	570
Friesland <sup>1</sup>	1310	1300	880	540	550	570
Drenthe	1390	1350	770	440	400	420
Overijssel	2490	2430	1600	1060	690	630
Gelderland	2470	2400	1620	990	620	580
Utrecht	2350	2250	1580	950	540	490
Noord-Holland	1020	970	730	580	500	470
Zuid-Holland	1410	1330	1000	580	480	450
Zeeland	650	620	510	350	380	420
N-Brabant	2840	2780	2020	1310	820	740
Limburg	2450	2320	1650	1060	690	600
Flevoland	1040	990	540	250	200	240
Nederland	2140	2080	1440	940	650	610

Provincie	Variant			
	2010-Goth.	2010-NL-extra	2020-NMP3	2030
Groningen	540	530	290	180
Friesland <sup>1</sup>	510	530	330	160
Drenthe	400	420	320	150
Overijssel	930	530	350	190
Gelderland	850	510	370	190
Utrecht	760	420	320	140
Noord-Holland	560	450	230	120
Zuid-Holland	500	480	280	190
Zeeland	360	380	210	120
Noord-Brabant	1070	660	330	280
Limburg	900	560	350	210
Flevoland	200	300	280	140
Nederland	820	550	330	190

<sup>1</sup> incl. waddeneilanden.

<sup>2</sup> berekening wordt bemoeilijkt door het ontbreken van informatie over het relevante areaal ecosystemen binnen de beschouwde 1x1 km<sup>2</sup>-cellen.

### 3.3 Effecten van een ruimtelijk herverdeling van ammoniakemissies op milieu en natuur

#### 3.3.1 Methode

De ammoniakemissie uit de landbouw in Nederland levert een grote bijdrage (ruim 50%) aan de stikstofdepositie in Nederland. Lokaal kan de ammoniakemissie de dominante bron vormen van stikstofdepositie voor natuur en milieu, met name in gebieden waar landbouw en natuur naast elkaar voorkomen.

In de emissievariant "2010-NH<sub>3</sub> optimaal" is onderzocht wat het effect is van het verplaatsen van de landbouw-ammoniakemissies uit natuurgebied naar het landbouwareaal binnen dezelfde provincies. De herverdeling is dusdanig geoptimaliseerd dat de overschrijdingen van de kritische waarden voor stikstofdepositie worden geminimaliseerd. Hierbij zijn twee varianten onderscheiden:

Methode I: alleen de uitgeplaatste emissies uit de natuur worden optimaal herverdeeld;

Methode II: de uitgeplaatste en de bestaande emissies worden gezamenlijk geoptimaliseerd.

Voor meer informatie over de berekeningswijze wordt verwezen naar Bleeker *et al.*, (1999), Heuberger (1998) en Van Dam *et al.*, (2001). De optimalisatie is uitgevoerd uitgaande van ammoniakemissies per provincie zoals opgegeven door DGM (Tabel 3.11). De ruimtelijke verdeling is gebaseerd op gegevens op 1x1 km<sup>2</sup> schaal geleverd door het LEI (stal en opslagmissies) en het RIVM (weide en aanwendingsemissies). De emissies op 1x1 km<sup>2</sup> schaal voor 1997 en 2020 zijn ondermeer gebruikt om de stikstofdepositie op 1x1 km<sup>2</sup> schaal voor de Natuurbalans 2000 te berekenen. De berekeningswijze staat beschreven in Van Dam *et al.*, (2001) en wijkt iets af van de wijze waarop de deposities in de andere emissievarianten berekend zijn. Voor de "2010-NH<sub>3</sub>-optimaal" variant is de ruimtelijke verdeling van de ammoniakemissies van 2020 gebruikt om de gedefinieerde ammoniakemissie per provincie binnen de provincie ruimtelijk te verdelen.

Om de 1x1 km<sup>2</sup> berekeningen technisch uitvoerbaar te maken is een subset van de natuur en milieukaart, zoals in paragraaf 3.1 en 3.2 is beschreven, gebruikt. Deze is gedefinieerd als die 1x1 km<sup>2</sup> gridcellen waarin meer dan een kwart van de daarin voorkomende 250x250 m<sup>2</sup> gridcellen de dominante landbedekking natuur heeft. Dit betekent dat ongeveer de helft van de ca. 14000 natuur en milieu-cellen uit de kritische waardenkaart overblijven. De overblijvende cellen volgen globaal de EHS-contouren, waarbij de focus ligt op de grotere eenheden. Gerealiseerd moet worden dat een aanzienlijk deel van deze 1x1 km<sup>2</sup>-cellen niet volledig natuur zijn (zie ook opmerkingen hierover in paragraaf 3.1). Door deze gridcellen wel volledig als natuur te beschouwen, wordt impliciet een gebied rond de daadwerkelijke natuur (variërend van 0-1000m) vrij gemaakt van NH<sub>x</sub>-emissies.

De mogelijkheid voor optimalisatie van de ammoniakemissies is afhankelijk van de ruimte tussen de gestelde maximum en minimum niveaus waarbinnen optimalisatie als mogelijk wordt beschouwd. Indien bijvoorbeeld geen emissiemaximum wordt gesteld, zullen er een aantal 1x1 km<sup>2</sup> gridcellen ver verwijderd van natuur zoveel mogelijk gevuld worden met ammoniakemissie. Dit kan hoge waarden opleveren. Dit is niet realistisch gegeven de huidige landbouwpraktijk. Het emissiemaximum is bepaald door het 98-percentiel van de emissieverdeling over heel Nederland (1997) te nemen: ongeveer 170 kg NH<sub>3</sub>/ha (10000 mol/ha). In de gridcellen waar de emissie voor optimalisatie hoger is dan 10000 mol/ha mag de emissie niet verder toenemen, maar hoeft niet tot onder de 10000 mol/ha te worden gebracht. Dit om

te voorkomen dat in Methode I extra verplaatsingen binnen de provincies voorkomen terwijl het uitgangspunt bij de Methode was om alleen de emissies uit de natuurcellen te herverdelen. Als aan de andere kant geen emissieminimum wordt gebruikt, leidt de optimalisatie tot het geheel leeg maken van een aantal landbouwcellen. Als er vanuit wordt gegaan dat grondgebonden-emissies niet te verplaatsen zijn, zal een relatief hoog emissieminimum aanwezig blijven. Onder grondgebonden emissies worden verstaan: stal en opslag, en weide-emissie van rundvee (exclusief vleeskalveren, inclusief schapen en geiten; aanwendingsemisies en kunstmestemissies). De emissie minima zijn geschat per provincie op basis van de emissietypeverdeling voor 2010 (MV5-scenario's WAC-laag of VAC-midden/hoog; zie VROM (2000)).

### 3.3.2 Optimale ammoniakemissieverdeling per provincie

De overschrijdingen in deze emissievariant zijn anders berekend dan voor de andere emissievarianten, zoals weergegeven in voorafgaande paragrafen (verschil in zowel de ruimtelijke emissieverdeling, de berekeningsmethodiek van de depositie, als het beschouwde areaal aan natuur). Dit betekent dat de berekeningen van deze variant niet vergeleken kunnen worden met die uit de andere varianten. De berekeningen geven wel een op zichzelf staande indicatie voor het effect van verplaatsing (zonerings) van ammoniakemissies op de belasting van natuur en milieu.

Tabel 3.11 toont: de aangenomen totale ammoniakemissies ten gevolge van de landbouw, de emissie minima en -maxima per provincie en de gesommeerde en gemiddelde overschrijding en de beschermingsgraad (het percentage beschouwde gridcellen dat onder de kritische waarde voor stikstofdepositie ligt) vóór optimalisatie en de procentuele veranderingen in deze indicatoren ná optimalisatie met beide methoden en de hoeveelheid uitgeplaatste en verplaatste emissie.

De overschrijdingen voor Nederland als totaal nemen in de optimalisaties (Methode I en II) af met 33% respectievelijk 36% (verschil tussen situatie voor en na optimalisatie). Het effect van de verplaatsing van ammoniakemissies uit de beschouwde gridcellen met natuur en een geoptimaliseerde herplaatsing in de provincie levert het merendeel van de reductie op. Een totale optimalisatie van de ammoniakemissies leidt slechts tot een beperkte verdere reductie van de gesommeerde overschrijding. De hoeveelheid uitgeplaatste en verplaatste emissie bij een totale optimalisatie is ruwweg twee keer zo groot als de hoeveelheid uitgeplaatste emissie uit de beschouwde gridcellen met natuur in Methode I.

Er zijn duidelijke verschillen tussen de provincies: met name de provincies waarin landbouw en natuur dicht bij elkaar liggen (bijvoorbeeld: Overijssel, Gelderland, Noord-Brabant en Friesland) laten in het algemeen een hogere reductie zien dan de provincies in het westen van Nederland (Noord en Zuid-Holland, Zeeland). De resultaten worden verder uiteraard beïnvloed door de keuze van het areaal natuurgebied en het provinciaal emissieminimum.

Zoals reeds aangegeven zijn de berekende reducties in de overschrijdingen afhankelijk van het aangenomen emissieminimum (hoever kan een landbouw"cel" leeg gemaakt worden). Berekeningen met een minimum van 0 mol/ha: cellen geheel leegmaken van ammoniakemissies laten voor alle provincies hogere reducties zien. Voor Nederland als totaal ca. 50%.

Opgemerkt dient te worden dat het effect van verplaatsing op de depositie en overschrijding zoals in tabel 3.11 afhankelijk is van de schaal waarop de berekeningen uitgevoerd zijn. Aangezien in de 1x1 km<sup>2</sup> cellen de emissies uitgesmeerd zijn, kan afhankelijk van de lokale situatie (afstand van natuur tot emissiebronnen) de depositie op natuur in een 1x1 km<sup>2</sup> hok vóór optimalisatie over of onderschat worden. De grootte van dit effect is nog niet in beeld gebracht.

**Tabel 3.1.1. Resultaten geoptimaliseerde herverdeling ammoniakemissies uit de landbouw op 1x1 km<sup>2</sup> schaal in 2010<sup>1</sup> op de gesommeerde en gemiddelde overschrijdingen van de kritische depositiewaarden voor stikstof op (een deelset van) landecosystemen<sup>2</sup>. Aangegeven: ammoniakemissies, emissiedichtheid, de gesommeerde en de gemiddelde overschrijding vóór optimalisatie en de procentuele afname van de overschrijdingen na de optimalisatie met Methode I en II<sup>3,4</sup> en de hoeveelheid uitgeplaatste en verplaatste ammoniakemissies in beide methoden. Aangenomen is een maximale ammoniakemissie per ha van 10000 mol (170 kg NH<sub>3</sub>/ha).**

Provincie	Basisgegevens	Voor optimalisatie			Na optimalisatie vlg Methode I (alleen emissies uit natuur"cellen" hervet- deeld)			Na optimalisatie vlg Methode II					
		NH <sub>3</sub> -emissie kton	Ondergrens NH <sub>3</sub> -emissie- dichtheid mol N /ha	Gesommeerde overschrijding Mmol	Gemiddelde overschrijding mol/ha	Bescher- mingsgraad %	Afname gesommeerde overschrijding- gen %	Afname gemiddelde overschrijding %	Bescher- mingsgraad %	Uitgeplaatste hoeveelheid emissie kton	Afname gesommeerde overschrijding- gen %	Afname gemiddelde overschrijding %	Bescher- mingsgraad %
1 Groningen	6	2000	2	530	75	24	2	80	0.2	29	8	80	1.3
2 Friesland	12	3000	9	395	64	34	-5	77	1.0	37	-3	78	2.3
3 Drenthe	6	2000	14	373	49	30	-8	67	1.0	34	-10	70	2.1
4 Overijssel	11	3500	32	435	21	40	25	38	1.8	42	26	39	2.5
5 Gelderland	14	3500	55	383	16	33	16	33	2.2	36	15	37	3.4
6 Utrecht	3	3000	13	382	17	25	13	28	0.5	27	13	30	0.9
7 Noord-Holland	5	2000	9	499	61	14	8	63	0.4	16	9	64	1.2
8 Zuid-Holland	7	2000	8	458	47	16	8	52	0.3	20	11	53	2.0
9 Zeeland	3	1000	1	327	87	16	-32	92	0.1	19	-29	92	0.8
10 Noord-Brabant	18	3000	68	490	6	38	31	16	2.9	43	35	18	5.8
11 Limburg	6	3000	28	487	5	29	25	10	1.0	31	26	12	1.9
12 Flevoland	2	1500	2	215	70	30	-13	81	0.2	34	-8	82	0.4
<b>Nederland</b>	<b>93</b>		<b>241</b>	<b>432</b>	<b>29</b>	<b>33</b>	<b>19</b>	<b>41</b>	<b>11.5</b>	<b>36</b>	<b>20</b>	<b>43</b>	<b>24.6</b>

1) Ammoniakemissieplafond en verdeling over de provincies zijn opgegeven door DGM.

2) De gemiddelde overschrijdingen hebben alleen betrekking op de 1x1 km<sup>2</sup> cellen natuur waar een overschrijding plaatsvindt. Aangezien de reductie in de gesommeerde overschrijding en het aantal cellen dat een overschrijding heeft niet één op één is, kan het voorkomen dat in enkele provincies de gemiddelde overschrijding toeneemt. Dit staat in de tabel dan weergegeven als een negatief percentage. Deze toename in de gemiddelde overschrijding treedt voornamelijk op in provincies met relatief weinig "natuurcellen".

3) De berekeningen hebben betrekking op een andere definitie van natuur dan in de voorgaande berekeningen in paragrafen 3.1 en 3.2 en kunnen daarom niet met elkaar vergeleken worden.

4) In een aantal gridcellen is de emissie vóór optimalisatie hoger dan het aangenomen emissiemaximum van 10000 mol/ha. In Methode I is daarom voor die cellen waar een hogere waarde dan het maximum aanwezig is de vóór-optimalisatie waarde gehandhaafd. In Methode I komen dus hogere emissiemaxima voor t.o.v. Methode II.



## 4. Ozon, fijn stof en NO<sub>2</sub>

### 4.1 Luchtkwaliteit ozon

Ozon (O<sub>3</sub>) wordt in de lucht gevormd uit VOS en NO<sub>x</sub> onder invloed van zonlicht. Ozon wordt gezien als een van de belangrijkste luchtverontreinigende stoffen die leiden tot nadelige effecten op humane gezondheid en vegetatie. In deze paragraaf wordt de blootstelling van de bevolking en vegetatie verkend. Hiertoe zijn de kwaliteitsdoelstellingen toegepast die door de Europese Commissie in de concept EU dochterrichtlijn worden voorgesteld (COM(99)125). Deze zijn samengesteld uit een stelsel van lange termijn streefwaarden en tussentijdse doelstellingen voor het jaar 2010:

- a) Voor gezondheidseffecten door ozon is de lange termijn norm (tevens WHO-streefwaarde): het 8-uurs dagmaximum dat niet boven 120 µg.m<sup>-3</sup> mag uitstijgen. De door de Europese Commissie voorgestelde doelstelling is om in 2010, gemiddeld over 3 jaar, minder dan 20 dagen overschrijding van dit kritisch niveau te laten voorkomen<sup>3</sup>.
- b) Voor de bescherming van vegetatie wordt de AOT40 gebruikt. Deze sommeert alle uurlijkse overschrijdingen van 80 µg.m<sup>-3</sup> (=40 ppb) tijdens daglichturen in de maanden mei, juni en juli. De Europese Commissie stelt voor 2010 ter bescherming van ecosystemen een AOT40, gemiddeld over 5 jaar, van 17000 µg.m<sup>-3</sup>.h voor. De voorgestelde lange termijn streefwaarde bedraagt 6000 µg.m<sup>-3</sup>.h<sup>4</sup>.
- c) De informatiedrempel van 180 µg.m<sup>-3</sup> als 1-uurgemiddelde. Deze drempel geldt onder de huidige ozonrichtlijn en wordt opnieuw voorgesteld in de concept-dochterrichtlijn als referentieniveau ter informering van de bevolking.

Voor het doorrekenen van de mogelijke effecten van VOS en NO<sub>x</sub> emissies op de ozonconcentratie en de effecten daarvan op gezondheid zijn drie modellen ingezet. Met het EUROS model is de luchtkwaliteit berekend en met het model AirPex en een blootstellings-effect methodiek zijn de mogelijke effecten op humane gezondheid geschat (hoofdstuk 5). Voor de achtergronden van deze modellen wordt verwezen naar Van Loon (1996), Bloemen *et al.* (1998), Albers *et al.*, (2000) en Rombout *et al.*, (2000). In bijlage 3 worden de metingen en de modellering van ozon kort behandeld.

#### 4.1.1 Algemeen beeld van ontwikkelingen luchtkwaliteit ozon

Als algemeen beeld komt uit de berekeningen naar voren dat de luchtkwaliteit met betrekking tot ozon tussen 1995 en 2010 verbetert. Piekconcentraties worden lager, de gemiddelde concentratie neemt iets toe en drempelwaarden worden minder vaak overschreden. Lange termijn streefwaarden worden in de hier bestudeerde emissievarianten niet gehaald. Het streven naar *volledige bescherming van natuur en een verwaarloosbaar risico op ziekte en vroegtijdige*

---

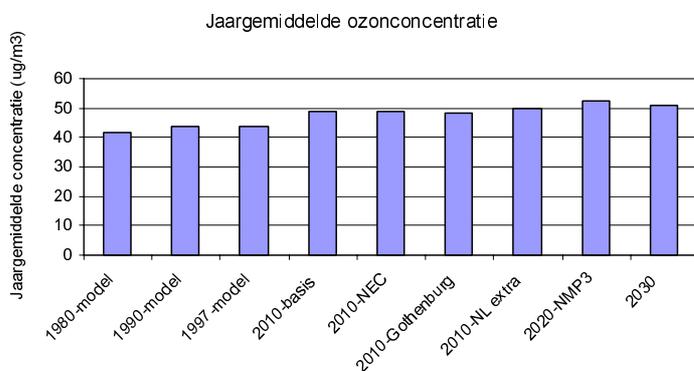
<sup>3</sup> In de Milieuraad van 10 oktober 2000 zijn de Europese ministers 25 dagen overeengekomen gemiddeld over 3 jaar als doelstelling voor 2010.

<sup>4</sup> In de Milieuraad van 10 oktober 2000 zijn de Europese ministers een AOT40 van 18000 µg.m<sup>-3</sup>.h gemiddeld over 5 jaar overeengekomen als doelstelling voor 2010.

sterfte<sup>5</sup> door ozon wordt volgens de berekeningen voorlopig niet gerealiseerd. Echter, tussen-doelstellingen voor de bescherming van gezondheid en vegetatie lijken tussen 2010 en 2030 voor een steeds groter percentage van de bevolking en natuur haalbaar. Voor de jaargemiddelde ozonconcentratie is er weinig verschil tussen de vier 2010-varianten. In enkele figuren komt de 2010-NEC variant iets gunstiger uit.

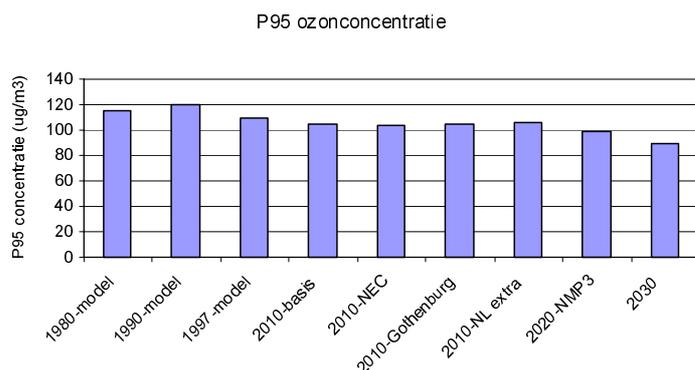
In figuren 4.1 en 4.2 worden de ontwikkelingen in de jaargemiddelde concentratie en de 95-percentiel waarden weergegeven. De gemiddelde ozonconcentratie neemt in de 2010-, 2020- en 2030-varianten met 8 à 10  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  toe ten opzichte van de basisjaren (figuur 4.1). Dit schijnbaar averechtse effect is verklaarbaar uit de  $\text{NO}_x$  emissiereducties in de zichtjaren. Hierdoor verschuift enerzijds het chemisch evenwicht tussen ozon en  $\text{NO}_2$  naar de ozonkant (=afgenomen titratie). Anderzijds komt er door de afname van zuurvorming (minder  $\text{HNO}_3$ ) meer capaciteit (OH-radicalen) beschikbaar om ozon te vormen. Het contraproductieve effect van  $\text{NO}_x$ -emissiedalingen wordt vooral gesignaleerd bij veranderingen van de gemiddelde concentratie en is minder herkenbaar in piekwaarden van ozon (zoals P95) - hoewel het ook daarin optreedt. Een piekwaarde zal namelijk ook enkele  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  stijgen ten gevolge van alléén  $\text{NO}_x$  reducties. Die hoeveelheid is op pieken van 150 tot 200  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  nauwelijks merkbaar. Per saldo nemen de pieken in de varianten af (figuur 4.2) omdat ook VOS emissies gereduceerd worden - er is minder brandstof en dus minder piek-productie van ozon. In varianten met zeer vèrgaande reducties in Nederland en het buitenland (hier niet door gerekend) wordt de  $\text{NO}_x$ -hobbel genomen en daalt ook de gemiddelde concentratie. Deze wordt dan vooral door de grootschalige achtergrond bepaald.

De toename van de gemiddelde concentratie tegenover het effectief 'scheren van pieken' is relevant voor de gezondheidsrisico-evaluaties (zie hoofdstuk 5).



Figuur 4.1 Ontwikkelingen in de jaargemiddelde ozonconcentratie

<sup>5</sup> 'Een verwaarloosbaar risico op ziekte of vroegtijdige sterfte' door ozon is hier geïnterpreteerd als in geen geval overschrijdingen van de WHO streefwaarde van 120  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  als 8-uurs dagmaximum.

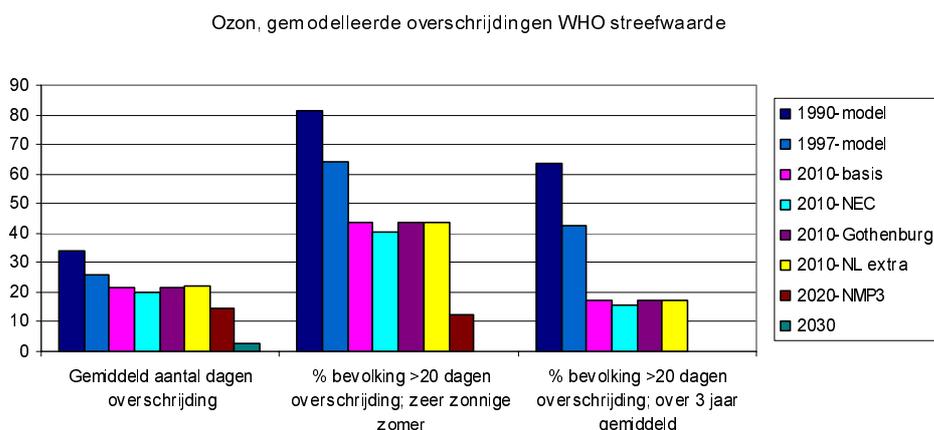


Figuur 4.2 Ontwikkelingen in de 95-percentiel waarde van de ozonconcentratie

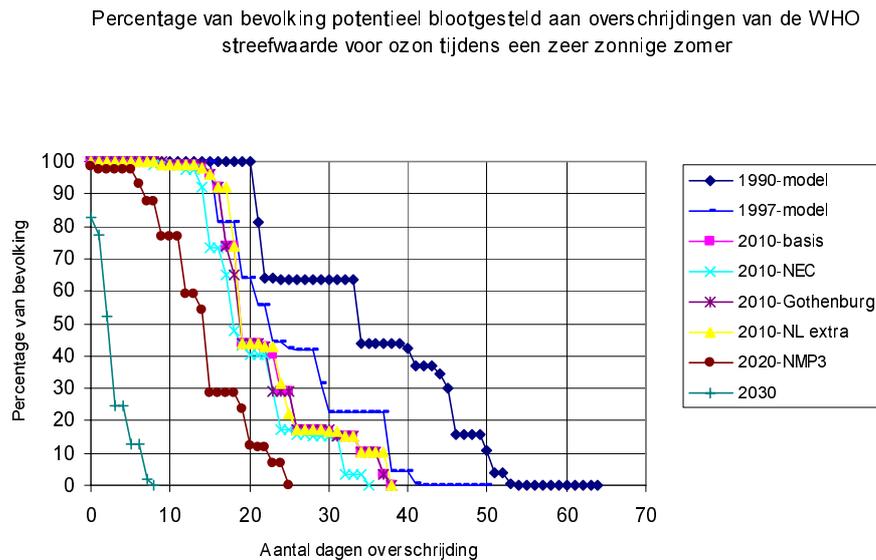
#### 4.1.2 Potentiële blootstelling van de bevolking

In deze paragraaf wordt gesproken over potentiële blootstelling van de bevolking omdat de werkelijke blootstelling en de gezondheidseffecten onder andere afhangen van het gedrag van mensen (zie hoofdstuk 5).

Het model berekent dat in de periode 2010-2030 de gezondheidsrelevante 8-uurs niveaus voor ozon nog steeds boven de  $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  liggen (figuren 4.3 en 4.4). Realisatie van de lange termijn streefwaarde is volgens deze emissievarianten dus nog niet in beeld. In de varianten voor 2010-2030 wordt mogelijk, over 3 jaar gemiddeld, het EC voorstel (maximaal 20 dagen overschrijding van de WHO-streefwaarde) wel gehaald (figuur 4.3). Tijdens een zonnige zomer, krijgt in 2010 in deze varianten ongeveer 40% van de Nederlanders te maken met overschrijdingen van de EC tussendoelstelling. Bij gemiddeld 20 dagen overschrijding over Nederland zal in Noord-Nederland het aantal overschrijdingen ongeveer 10 bedragen en in Brabant en Limburg circa 30 dagen. Ook in de 2020-variant wordt in een zonnig jaar de 2010 tussendoelstelling voor circa 10% van de bevolking nog niet bereikt (figuren 4.3 en 4.4).



Figuur 4.3 Gemodelleerde overschrijdingen van de WHO streefwaarde van  $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  als 8-uurs dagmaximum gekoppeld met demografische gegevens.



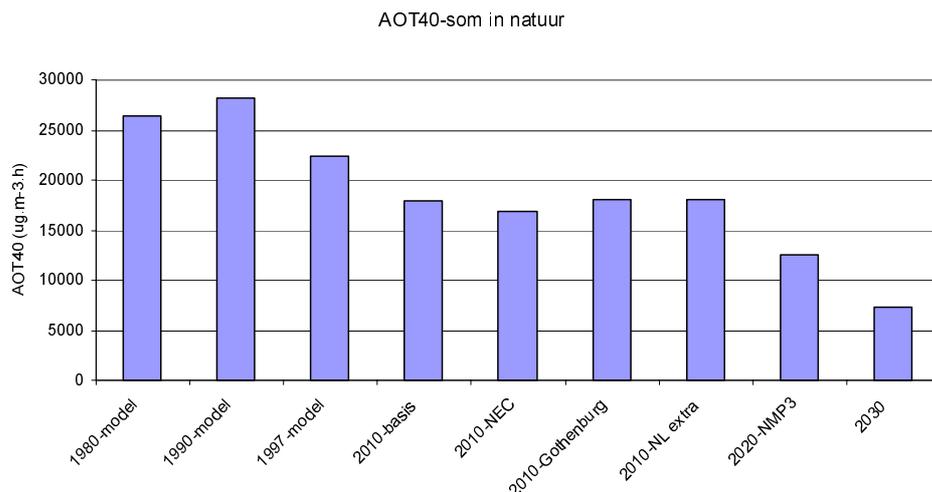
Figuur 4.4 Percentage van de bevolking blootgesteld aan overschrijdingen van de WHO streefwaarde ( $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  als 8-uurs dagmaximum).

### 4.1.3 Blootstelling van vegetatie

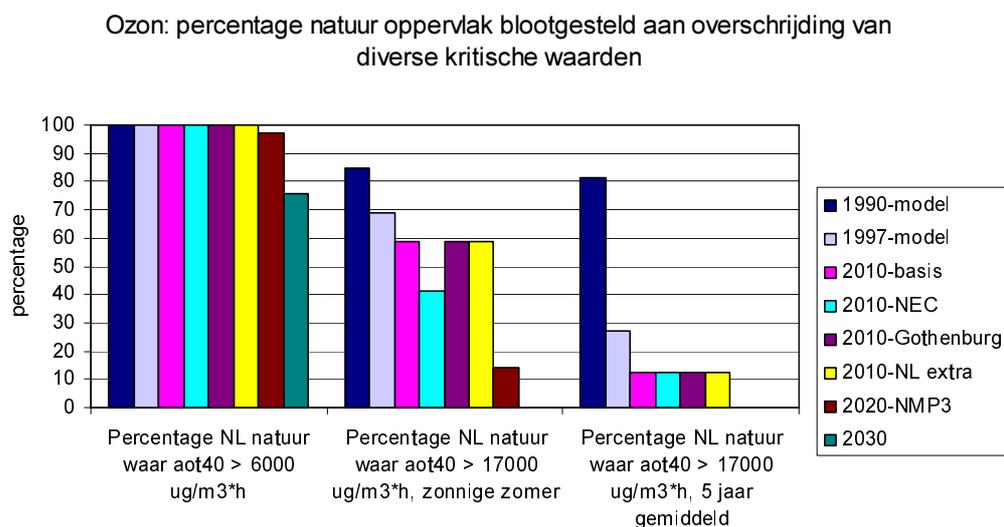
In de analyse van de effecten van ozon op vegetatie is alleen naar de Nederlandse natuur gekeken. Voor een indicatie van de schade van ozon aan landbouwgewassen zie eerdere schattingen (Albers *et al.*, 2000).

Ten opzichte van de laatste twee decennia daalt de AOT40 in de Nederlandse natuur met ca. 25% in de 2010-emissievarianten (figuur 4.5). In alle 4 varianten voor 2010 is de gemiddelde AOT40 kleiner dan  $18000 \mu\text{g m}^{-3}\cdot\text{h}$ . De 2010-NEC-variant lijkt een fractie gunstiger, maar door de onzekerheidsmarges in de modellering van ozon is het verschil niet significant. Figuur 4.5 is gemaakt voor een zogenaamde *worst-case* situatie (zonnig jaar, zie bijlage 3). Een 5-jaar gemiddelde AOT40, zoals de Europese Commissie voorstelt, komt voor de 2010 varianten voor circa 90% van de natuur onder de tussendoelstelling van  $17000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$  uit (figuur 4.6).

In de 2020-NMP3-variant bedraagt AOT40 nog circa  $12500 \mu\text{g m}^{-3}\cdot\text{h}$  en in de 2030-variant nog ongeveer  $7500 \mu\text{g m}^{-3}\cdot\text{h}$ . Het streven naar een AOT40 van  $13000 \mu\text{g m}^{-3}\cdot\text{h}$  in 2020 lijkt in de 2020-NMP3-variant realiseerbaar, ook onder *worst-case* omstandigheden. Het streefbeeld van volledige bescherming van de EHS in 2030, dat wil zeggen dat de lange termijn streefwaarde niet meer overschreden wordt, gloort volgens deze berekeningen aan de horizon, maar wordt niet bereikt. Figuur 4.6 illustreert dat zelfs voor de 2030-emissievariant berekend wordt dat circa 75% van de natuur niet beschermd wordt tegen overschrijdingen van de kritische grens van  $6000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$ , hoewel de overschrijding 'nog maar' zo'n  $1000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$  bedraagt.



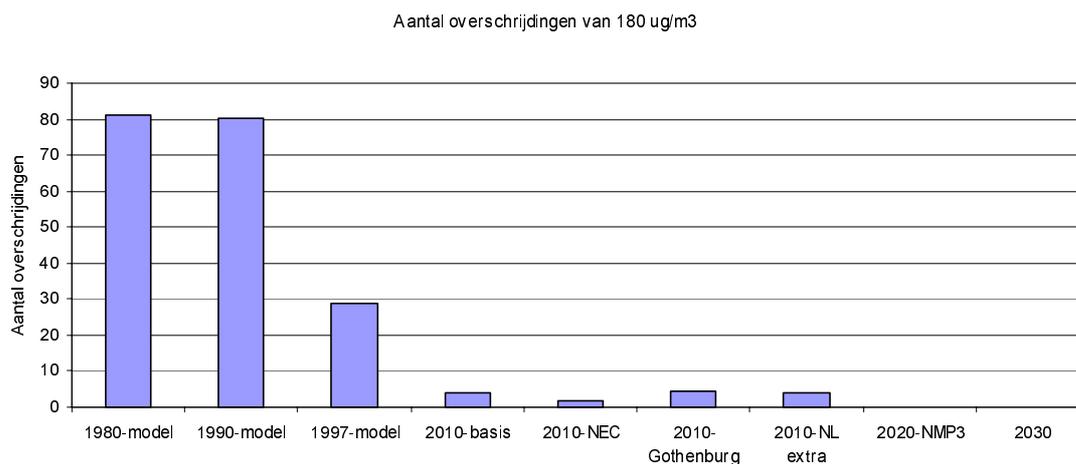
Figuur 4.5 Gemiddelde AOT40 som in Nederlandse natuur berekend voor een zonnig jaar.



Figuur 4.6 Percentage van het Nederlandse natuuroppervlak dat volgens de verkenning blootgesteld wordt aan overschrijdingen van kritische grenzen voor AOT40.

#### 4.1.4 EU informatiedrempel

Het aantal berekende overschrijdingen van de EU informatiedrempel ( $180 \mu\text{g.m}^{-3}$ ) wordt weergegeven in figuur 4.7. Het aantal malen dat de bevolking geïnformeerd zou moeten worden is sinds de jaren '80 fors gedaald. In de 2010-varianten wordt de informatiedrempel in Nederland naar verwachting minder dan 4 maal per jaar overschreden, terwijl in verder weg liggende zichtjaren mogelijk geen overschrijdingen meer voorkomen. De 2010-varianten vertonen weinig verschil; 2010-NEC komt er iets gunstiger uit (2 maal) versus ca 4 voor de andere 2010-varianten. Vanwege onzekerheden in de modellering van ozon is dat nauwelijks significant. Volgens de modelberekeningen komen overschrijdingen van de alarmdrempel ( $240 \mu\text{g.m}^{-3}$  als 1-uursmaximum) in 2010 niet meer voor.



Figuur 4.7 Aantal overschrijdingen van de EU informatiedrempel voor ozon.

## 4.2 Luchtkwaliteit fijn stof

Fijn stof wordt gezien als één van de luchtverontreinigende stoffen met een grote kans op nadelige gezondheidseffecten. Daarbij zijn zowel effecten door kortdurende als langdurende blootstelling van belang.

Een belangrijk deel van het in Nederland aanwezige fijn stof ( $\text{PM}_{10}$  als somparameter) is afkomstig van emissies van de verzurende stoffen  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  en  $\text{NH}_3$  omdat daaruit secundair fijn stof wordt gevormd. Voor  $\text{PM}_{10}$  is de buitenlandse bijdrage aan het herleidbare deel van de concentraties in Nederland groot (ongeveer  $\frac{3}{4}$ ), zodat vooral internationaal beleid tot wezenlijke veranderingen kan leiden.

Bij de normstelling voor fijn stof is onderscheid gemaakt tussen situaties voor chronische en acute blootstelling (smog). De daggemiddelde norm voor fijn stof (1999/30/EC) is het meest stringent en mag na 2005 niet meer dan 35 dagen per jaar boven de  $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  uitkomen (dit komt overeen met een jaargemiddelde niveau van circa  $30 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ). In 2010 zou dit moeten worden beperkt tot 7 overschrijdingen. Het jaargemiddelde mag in 2005 niet boven de  $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  uitkomen en indicatief is gesteld dat in 2010, een jaargemiddelde doelstelling voor de Europese Unie van  $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  zal gelden. De bijdrage van natuurlijke bronnen (voor Nederland wordt op basis van verkennend onderzoek uitgegaan van een bijdrage van  $8\text{-}15 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) Het mechanisme voor de gezondheidseffecten van fijn stof is nog niet opgehelderd. Daarom is afgesproken dat de indicatieve doelstelling, op basis van een Europese evaluatie in 2003, zal worden heroverwogen rond 2005.

De jaargemiddelde concentraties van fijn stof voor de jaren 1980, 1990 en 1997 zijn volgens modelberekeningen gedaald van ruim  $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  in 1980 tot circa  $45 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  in 1990 en iets minder dan  $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  in 1997. Bij de berekeningen is uitgegaan van een bijdrage aan het “onverklaarde deel” aan fijn stof van  $19 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , waarin ondermeer de natuurlijke bijdrage. Dit onverklaarde deel is het verschil tussen metingen en modelberekeningen en wordt hier constant verondersteld in ruimte en tijd. De buitenlandse bijdrage aan de gemodelleerde Nederlandse fijn stof concentraties bedraagt ca 70% terwijl de Nederlandse bijdrage aan de gemo-

delleerde fijn stof concentraties ca 25% is. In 1980 is de bijdrage van het “onverklaarde” deel circa 35% en neemt toe tot ongeveer 50% in 1997.

Tussen de jaren 1980 en 1997 zijn de fijn stof concentraties met bijna 30% gedaald (ten opzichte van 1980): 25% het gevolg van emissie-reducties in het buitenland en 5% ten gevolge van emissiereducties in Nederland.

De vijf varianten voor 2010 verschillen onderling marginaal ( $1 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ), zo wordt een gemiddelde concentratie van  $31\text{-}32 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  jaargemiddeld over Nederland berekend. Dat de verschillen tussen de varianten klein zijn is het gevolg van de geringe variatie tussen de varianten, zo wordt bij vier van de vijf varianten voor het buitenland de 2010-Göteborg emissies gehanteerd en voor drie van de vijf varianten voor Nederland de 2010-NEC emissies. Het 2010-NEC levert de laagste fijn stof concentratie op omdat het buitenland daar verder gaat dan het Göteborg protocol.

In de afgelopen jaren vond overschrijding van de normen in vrijwel heel Nederland plaats, ondanks de daling van de fijn stof concentratie. Bij de 2010 berekeningen zal de indicatieve EU-grenswaarde van  $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  in de periode 2010 nog steeds worden overschreden.

Er zijn geen emissievarianten voor 2020 en 2030 doorgerekend.

## 4.3 Luchtkwaliteit $\text{NO}_2$

Bij emissies van stikstofoxiden ( $\text{NO}_x$ ) komt een deel (ca. 95%) als stikstofoxide (NO) en een deel (ca. 5%) als stikstofdioxide ( $\text{NO}_2$ ) vrij. Na emissie wordt het NO deels omgezet in  $\text{NO}_2$  afhankelijk van de snelheid van de (foto-) chemische reacties tussen NO,  $\text{NO}_2$  en  $\text{O}_3$ . Verkeer is de belangrijkste bron van  $\text{NO}_x$  (ca. 2/3 van de emissies).

Zowel piekbelastingen als langdurige blootstelling aan  $\text{NO}_2$  kunnen schadelijke effecten voor de mens veroorzaken. In de EU-dochterrichtlijn zijn grenswaarden geformuleerd. De strengste is de grenswaarde voor de jaargemiddelde concentratie  $\text{NO}_2$  van  $40 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , welke in 2010 gerealiseerd moet zijn.

### 4.3.1 Algemeen beeld van ontwikkelingen luchtkwaliteit $\text{NO}_2$

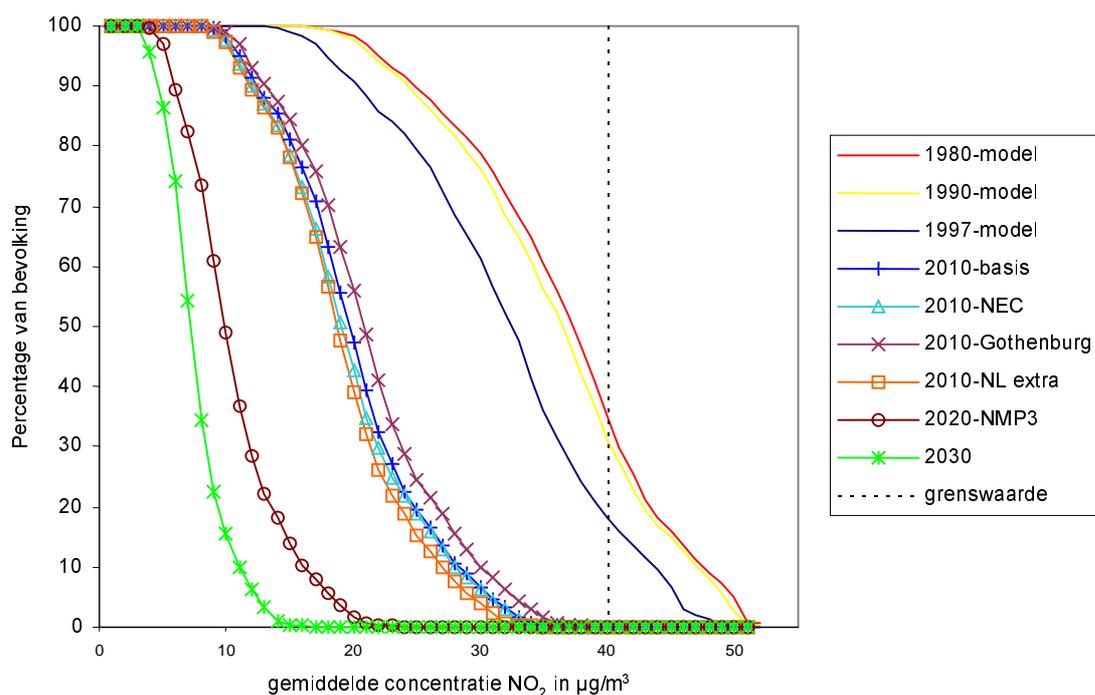
In alle emissievarianten wordt een daling van de concentraties van  $\text{NO}_2$  (gewogen gemiddeld naar bevolking en naar oppervlak) berekend ten opzichte van de referentie jaren (tabel 4.3. en figuur 4.7). De concentraties zijn berekend op een  $5\times 5 \text{ km}^2$  rooster. Dat betekent dat in de berekening geen rekening gehouden is met lokale emissiepieken langs wegen en in steden. De variant 2010-Göteborg daalt het minst; bij berekeningen voor langjarig gemiddelde meteorologische omstandigheden treedt nog overschrijding van de grenswaarde op. Onder (voor de luchtkwaliteit) ongunstige meteorologische omstandigheden worden voor 2010 voor elk van de varianten overschrijdingen berekend, waarbij de variant 2010-NL extra het kleinste aantal blootgestelde mensen laat zien.

De emissievarianten van 2020 en 2030 laten, op dit schaalniveau, geen overschrijdingen meer zien. Langs wegen en in steden zijn overschrijdingen echter niet uitgesloten.

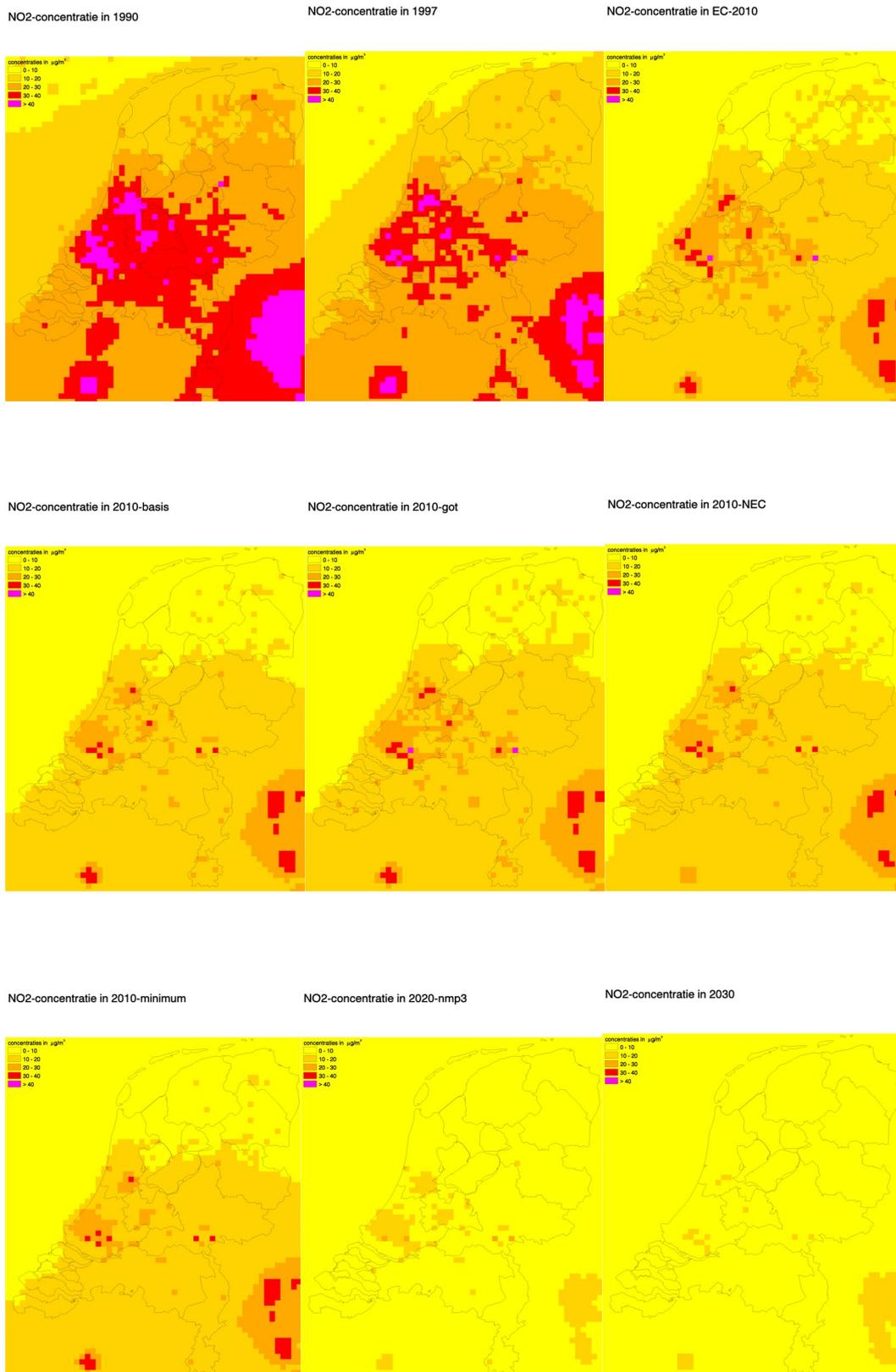
Tabel 4.3. Blootstelling aan jaargemiddelde concentraties van  $\text{NO}_2$ <sup>1</sup> in de emissievarianten.

	eenheid	1990 gem. meteo	1997 gem. meteo	2010 basis	2010 NEC	2010 Göte- burg	2010 NL extra	2020 NMP3	2030
<b>Bevolking Nederland</b>									
Gemiddelde bloot- stellingsniveau	$\mu\text{g.m}^{-3}$	35	32	20	19	21	19	10	7
Blootstellingsniveau > 40 $\mu\text{g.m}^{-3}$	inw.	4,2 mil- joen	2,4 mil- joen	0	0	2900	0	0	0
Idem in jaar met on- gunstige meteo	inw.	7,2 mil- joen	4,3 mil- joen	19000	16000	45000	6200	0	0
<b>Oppervlakte Neder- land</b>									
Gem blootstelling	$\mu\text{g.m}^{-3}$	28	24	15	14	15	14	6	4
Blootstellingsniveau > 40 $\mu\text{g.m}^{-3}$	$\text{km}^2$	2233	921	0	0	4	0	0	0
Idem in jaar met on- gunstige meteo	$\text{km}^2$	5668	2547	20	19	44	7	0	0

1) berekeningen voor  $5 \times 5 \text{ km}^2$  gridcellen; er is geen rekening gehouden met lokale emissiepieken langs wegen en in steden.



Figuur 4.7. Gemodelleerd percentage van de bevolking blootgesteld aan overschrijding van de grenswaarde voor de jaargemiddelde concentratie  $\text{NO}_2$  van  $40 \mu\text{g.m}^{-3}$ . Berekeningen representatief voor  $5 \times 5 \text{ km}^2$  gridcellen; er is geen rekening gehouden met lokale emissiepieken langs wegen en in steden.



*Figuur 4.8. Jaargemiddelde NO<sub>2</sub>-concentratie over Nederland voor een aantal referentie jaren en emissievarianten.*



## 5. Kwantitatieve gezondheidsrisico-evaluatie

Op grond van de resultaten van epidemiologisch en klinisch onderzoek is een evaluatie gemaakt van de gezondheidsrisico's geassocieerd met de PM<sub>10</sub>- en ozonconcentraties voor de onderscheiden zichtjaren en emissievarianten. De gebruikte gegevens, de toegepaste methoden en verdere achtergrondinformatie zijn opgenomen in bijlage 4.

De uitkomsten van de evaluatie laten zien dat in de komende decennia een afname van additionele risico's voor sterfte en het extra aantal spoedopnamen in het ziekenhuis voor PM<sub>10</sub> wordt verwacht. Voor ozon blijven de geschatte additionele risico's nagenoeg gelijk. De relatieve bijdrage van de met PM<sub>10</sub> en ozon geassocieerde sterfte (alle oorzaken) en spoedopnamen (alle respiratoire aandoeningen) is weergegeven in figuur 5.1. Hierin is het effect van de veranderingen in de demografische samenstelling van de bevolking niet verwerkt. In tabel 5.1 zijn tevens de schattingen van de absolute waarden gegeven. Het additionele risico voor sterfte bedraagt momenteel voor PM<sub>10</sub> ca. 1300 gevallen per jaar (ca. 1% van de totale sterfte) en voor ozon ca. 1900 (1,5%). Voor PM<sub>10</sub> neemt dit in de komende decennium af tot ca. 900 gevallen (0,6%); voor ozon wordt nagenoeg geen verandering verwacht. Voor spoedopnamen voor alle respiratoire aandoeningen worden vergelijkbare veranderingen voor PM<sub>10</sub> verwacht (van ca. 900 (1,7% van alle respiratoire aandoeningen) naar ca. 750 (1,2%) opnames. Voor ozon blijft het geschatte aantal extra spoedopnamen 2010 nagenoeg gelijk aan de ca. 320 gevallen in 1997 (0,6%). Voor de aan ozon geassocieerde sterfte en spoedopnamen wordt in 2020 en 2030 geen verbetering verwacht. Voor fijn stof zijn in deze studie geen concentratieberekeningen voor 2020 en 2030 beschikbaar.

Voor ozon is naast de lineaire relaties ook een exponentiële blootstellings-responsrelatie toegepast voor dagelijkse sterfte (alle oorzaken). Het resultaat van deze analyse – eveneens zonder rekening te houden met de demografische ontwikkelingen - is weergegeven in figuur 5.2. De omvang van de met ozon geassocieerde sterfte wordt met het exponentiële model lager geschat dan met het lineaire model zonder drempelwaarde: ca. 700 (0,5%) gevallen in 1997, ca. 600 (0,5%) in 2010 tot ca. 500 (0,4%) in 2030. Het exponentiële model voorspelt een relatief grotere daling in de omvang van het risico dan het lineaire model. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door de reductie in de hogere concentratiepercentielen, welke sterker van invloed zijn in dit model dan in het lineaire model waarvan de uitkomsten worden gedreven door de gemiddelde waarden. De onderlinge verschillen zijn overigens klein ten opzichte van de onzekerheden in de schattingen.

In de hierboven gepresenteerde cijfers is geen rekening gehouden met de demografische ontwikkelingen in de komende decennia. Wanneer rekening wordt gehouden met vergrijzing wordt - als gevolg van de sterkere associaties in de hoogste leeftijdscategorieën - een minder grote daling van de risico's geassocieerd met PM<sub>10</sub> verwacht en een stijging van die van ozon. De uitkomsten van de berekeningen waarbij rekening is gehouden met veranderingen in de omvang en in de leeftijdsamenstelling van de bevolking staan ook in tabel 5.1 weergegeven. De bevolkingsgroep waarin de hoogste risico's worden waargenomen – personen ouder dan 65 jaar – neemt in omvang sterk toe. De schattingen van de risico's in 2010 waarbij rekening wordt gehouden met de toenemende vergrijzing, zijn voor PM<sub>10</sub>: ca. 1300 extra sterfgevallen (ca. 0,7% van het geschatte totale aantal) en ca. 950 extra spoedopnamen (1,5%). Voor ozon zijn de schattingen voor 2010 voor sterfte ca. 2500 (1,5%) en voor spoedopnamen ca. 450 (0,7%) extra gevallen per jaar. Door de voorschrijdende vergrijzing van de Nederlandse

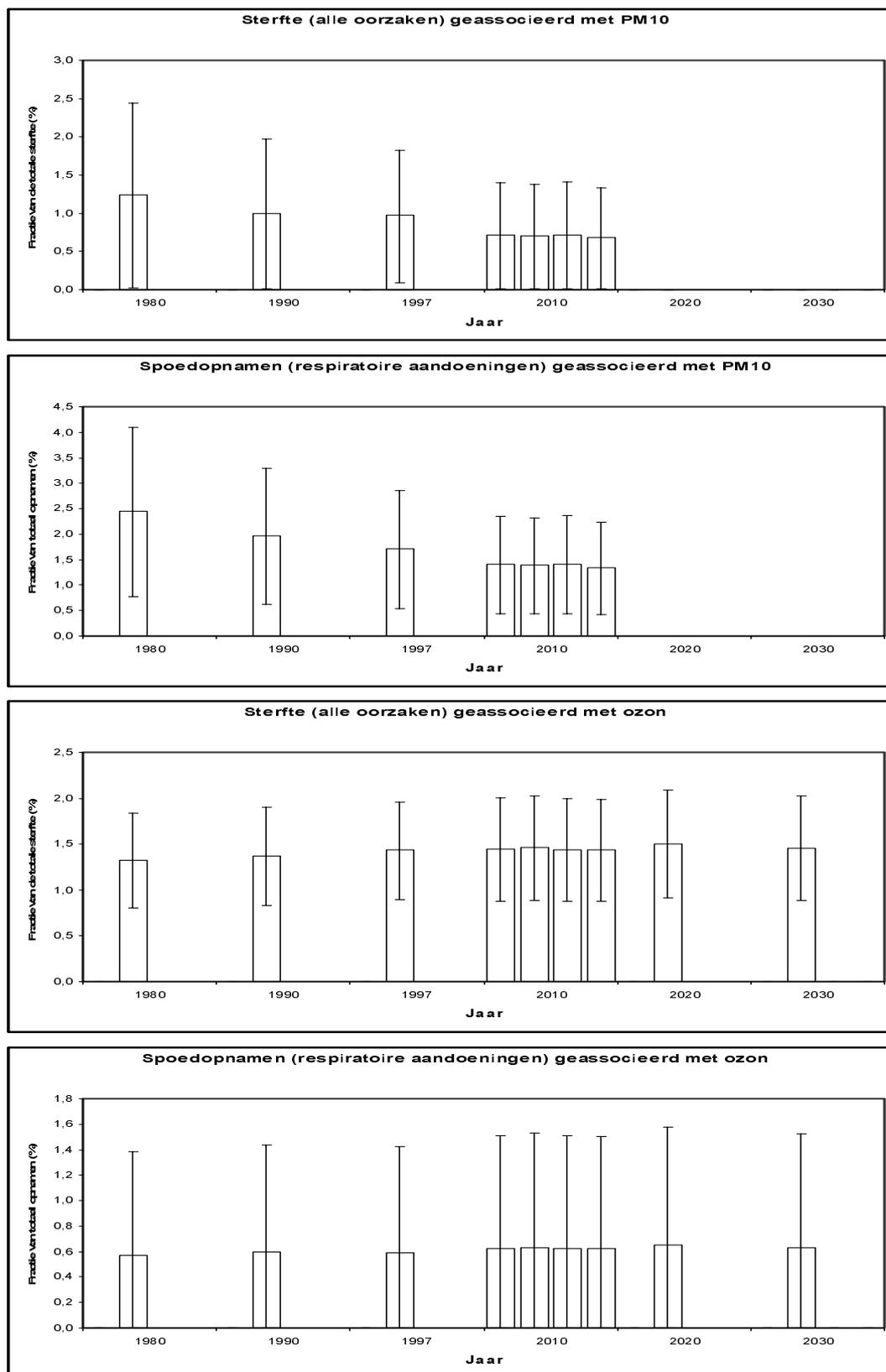
bevolking wordt voor de jaren daarna een verdere stijging van de absolute omvang van de gezondheidsrisico's geassocieerd met ozon verwacht: in 2020: ca. 3200 (1,5%) sterfgevallen en ca. 600 (0,9%) spoedopnames.

Met behulp van dosis-effectrelaties verkregen uit klinisch toxicologisch onderzoek is de omvang van door ozon veroorzaakte longfunctiedalingen in de bevolking geschat. Het deel van de bevolking waarbij het aantal dagen per jaar met een daling in de longfunctie van meer dan 10% (uitgedrukt in dagen per jaar per 100 personen), is in de afgelopen 2 decennia van ca. 45 gedaald naar ca. 22 in 1997 en neemt in komende jaren verder af naar ca. 18 in 2010 tot minder dan 5 in 2030 (figuur 5.3). Deze verminderde risico's zijn voornamelijk het gevolg van de verwachte dalingen in de ozonpieken, aangezien het hier eveneens een exponentiële relatie betreft waarmee de afname in de hogere percentielen duidelijk tot uitdrukking komt. Voor longfunctiedaling als gevolg van blootstelling aan ozon zijn geen schattingen beschikbaar waarin het effect van de vergrijzing is verdisconteerd.

De verschillen tussen de resultaten van de 2010-emissievarianten zijn klein (figuur 5.1). Reden daarvoor is dat de verschillen in de fijn stof en ozonconcentraties die berekend zijn voor de 2010-varianten klein zijn zoals aangegeven in paragrafen 4.1 en 4.2.

Deze risico-evaluatie toont aan dat in de komende decennia een afname in de omvang van de gezondheidsrisico's geassocieerd met  $PM_{10}$  mag worden verwacht. Op grond van de lineaire concentratie-effectmodellen blijken die voor ozon nagenoeg gelijk te blijven. Toepassing van exponentiële blootstellings-responsrelaties voor het kwantificeren van de met ozon geassocieerde gezondheidseffecten (sterfte en longfunctiedaling) laat zien dat het effect van het minder voorkomen van dagen met hoge concentraties bij licht stijgende jaargemiddelden in een aantal varianten leidt tot een geringe afname in de risico's. Wanneer rekening wordt gehouden met de toenemende vergrijzing van de Nederlandse bevolking, wordt voor zowel  $PM_{10}$  als voor ozon een toename verwacht van de met deze componenten geassocieerde gezondheidsrisico's.

De risicoevaluaties voor ozon en fijn stof en de uitkomsten van de berekeningen van de gezondheidseffecten zijn met relatief grote onzekerheidsmarges omgeven. Een deel van deze marges is gekwantificeerd en in tabel 5.1 en figuren 5.1 tot en met 5.3 weergegeven. Voor fijn stof is bovendien verondersteld, dat met daling van de  $PM_{10}$ -concentratie de voor gezondheidseffecten verantwoordelijke component(en) eveneens proportioneel zullen dalen.



Figuur 5.1: Geschatte relatieve omvang (% van totaal) uit het lineaire model van de sterfte en spoedopnamen exclusief de demografische veranderingen (en 95% betrouwbaarheidsinterval) geassocieerd met gemodelleerde  $PM_{10}$ - en ozonconcentraties. Emissievarianten 2010 (van links naar rechts): Basis, NEC, Göteborg en Extra.

Tabel 5.1. Gezondheidsrisico's in de Nederlandse bevolking uitgedrukt in de geschatte omvang van de dagelijkse sterfte en spoedopnamen in het ziekenhuis geassocieerd met de berekende PM<sub>10</sub>- en ozonconcentraties. De gegevens worden uitgedrukt als netto effect van veranderde concentraties steeds ten opzichte van de bevolkingsopbouw in 1997 en als effect met inbegrip van demografische veranderingen. Tussen haakjes wordt het effect uitgedrukt in het percentage van het totaal aantal sterfgevallen en spoedopnamen in het betreffende jaar.

PM10					
Variant	Sterfte (alle oorzaken) <sup>1</sup>			Spoedopnamen (respiratoire aandoeningen) <sup>2</sup>	
	netto luvo-effect	incl. demogr. veranderingen		netto luvo-effect	incl. demogr. veranderingen
<b>1980</b>	1690 (1,2)	1130 (1,1)		1330 (2,5)	920 (1,8)
<b>1990</b>	1360 (1,0)	1260 (1,0)		1070 (2,0)	1010 (1,9)
<b>1997</b>	1330 (1,0)			930 (1,7)	
<b>2010-basisvariant</b>	970 (0,7)	1310 (0,8)		760 (1,4)	950 (1,5)
<b>2010-NEC</b>	950 (0,7)	1300 (0,7)		750 (1,4)	940 (1,5)
<b>2010-Göteborg</b>	970 (0,7)	1320 (0,8)		770 (1,4)	960 (1,5)
<b>2010- extra</b>	920 (0,7)	1250 (0,7)		730 (1,3)	900 (1,4)
<b>2020-NMP3</b>	-	-		-	-
<b>2030</b>	-	-		-	-

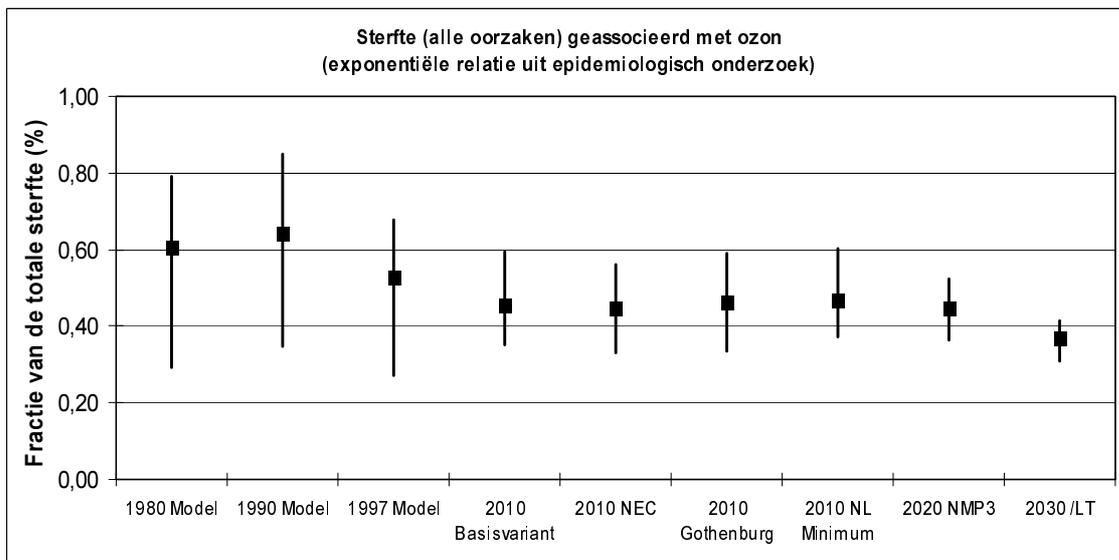
  

Ozon					
Variant	Sterfte (alle oorzaken)			Spoedopnamen (respiratoire aandoeningen)	
	netto luvo-effect (exponentieel model) <sup>3</sup>	netto luvo-effect (lineair model)	incl. demogr. veranderingen (lineair model)	netto luvo-effect	incl. demogr. veranderingen
<b>1980</b>	820 (0,61)	1800 (1,3)	1320 (1,3)	310 (0,6)	180 (0,4)
<b>1990</b>	870 (0,64)	1860 (1,4)	1740 (1,4)	320 (0,6)	300 (0,6)
<b>1997</b>	710 (0,53)	1950 (1,4)		320 (0,6)	
<b>2010-basisvariant</b>	620 (0,46)	1960 (1,4)	2560 (1,5)	340 (0,6)	450 (0,7)
<b>2010-NEC</b>	610 (0,45)	1990 (1,5)	2590 (1,5)	340 (0,6)	450 (0,7)
<b>2010-Göteborg</b>	630 (0,46)	1960 (1,4)	2550 (1,5)	340 (0,6)	440 (0,7)
<b>2010- extra</b>	640 (0,47)	1950 (1,4)	2540 (1,5)	340 (0,6)	440 (0,7)
<b>2020-NMP3</b>	610 (0,45)	2040 (1,5)	3170 (1,5)	350 (0,7)	630 (0,9)
<b>2030</b>	500 (0,37)	1980 (1,4)	3970 (1,5)	340 (0,6)	770 (0,9)

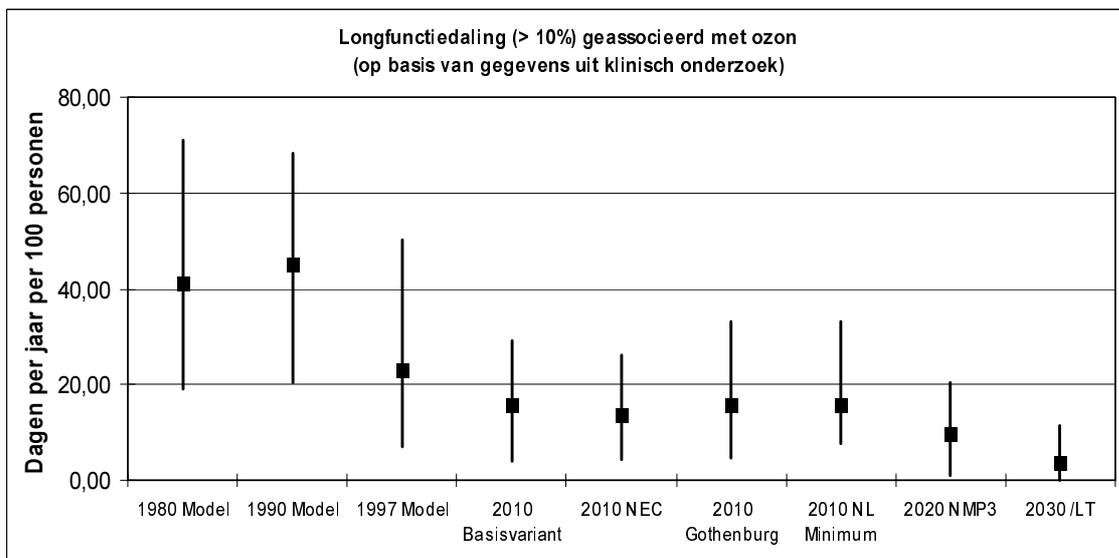
<sup>1</sup>) Gebaseerd op een lineaire relatie tussen concentratie en leeftijdspecifieke dagelijkse sterfte (alle oorzaken excl. ongevallen). Bron: Hoek *et al.* (1997).

<sup>2</sup>) Gebaseerd op een lineaire relatie tussen concentratie en leeftijdspecifieke dagelijkse spoedopnamen in het ziekenhuis (ontslagdiagnose: alle respiratoire aandoeningen). Bron: Vonk en Schouten (1998).

<sup>3</sup>) Gebaseerd op een exponentiële relatie tussen ozonconcentratie en totale dagelijkse sterfte (alle oorzaken excl. ongevallen). Deze relatie is niet toepasbaar voor het berekenen van de omvang van het gezondheidsrisico waarbij rekening wordt gehouden met de demografische veranderingen. Bron: Hoek *et al.* (1997).



Figuur 5.2: Geschatte extra sterfte geassocieerd met ozon (lijnstukken geven de ruimtelijke variatie weer) op basis van een exponentiële relatie uit epidemiologisch onderzoek.



Figuur 5.3: Geschatte omvang van de longfunctiedaling op basis van gegevens uit klinisch onderzoek (lijnstukken geven de ruimtelijke variatie weer) exclusief demografie.



## 6. Conclusies

### Algemeen milieukwaliteit

- De milieukwaliteit berekend voor de emissievarianten voor 2010 verbetert in het algemeen ten opzichte van het referentiejaar 1997;
  - De potentieel zuur en stikstofdepositie wordt met ca. 30-40% gereduceerd;
  - De pieken in de ozonconcentratie, uitgedrukt in het 95-percentiel, dalen met ca. 5  $\mu\text{g.m}^{-3}$ ;
  - de ozon jaargemiddelde concentratie daarentegen stijgt met ca. 10  $\mu\text{g.m}^{-3}$ ;
  - de  $\text{NO}_2$ -jaargemiddelde concentratie reduceert met 30% (bevolkingsgewogen);
  - de fijn stof jaargemiddelde concentratie daalt met ca 20%.
- De verschillen in bovenstaande milieukwaliteitsindicatoren tussen de emissievarianten voor 2010 zijn in de orde van 10%. Ten aanzien van de overschrijdingen van de kritische waarden voor milieu en natuur kunnen de verschillen groter zijn (40%).
- De berekende milieukwaliteit verbetert verder aanzienlijk in de 2020 en 2030 emissievarianten echter verspreid door het land vinden nog overschrijdingen van de duurzame depositieniveaus plaats. De streefwaarde voor natuur van de AOT40 van 6000  $\mu\text{g.m}^{-3}.\text{h}$  blijft in de 2030-variant nog net buiten bereik.

### Specifiek natuur en milieu voor 2010

- De 2010-doelstellingen in NMP-3 van 1400 mol  $\text{H}^+.\text{ha}^{-1}.\text{a}^{-1}$  en 1000 mol  $\text{N}.\text{ha}^{-1}.\text{a}^{-1}$  worden in geen van de 2010-varianten gehaald;
- Het percentage hectaren landecosystemen dat onbeschermd is voor depositie van potentieel zuur en stikstof blijft de komende 10 jaar in alle varianten in grote delen van Nederland en met name in het zuid-oosten boven de 75%;
- De mate van overschrijding in de 2010-varianten neemt af in de reeks:
  - Nederlandse en buitenlandse emissies volgens het Göteborg protocol (2010-Göteborg);
  - Nederlandse emissies volgens het NEC-voorstel en het buitenland volgens het Göteborg-protocol (2010-basis);
  - Alle EU landen volgens de NEC-richtlijn en de rest van het buitenland volgens het Göteborg-protocol (2010-NEC);
  - Nederlandse emissies met een maximale inzet van maatregelen en buitenlandse emissies volgens het Göteborg-protocol (2010-extra).
- Verdergaand Nederlands beleid in de vorm van het verplaatsen van de landbouwammoniakemissies uit natuur leidt tot een additionele reductie van de gesommeerde overschrijdingen van de kritische stikstofdepositie voor Nederland van ca. 30%.
- Voor ongeveer 90% van de natuur komt de AOT40 in 2010 onder het Europese Commissie-voorstel voor 2010 (van 17000  $\mu\text{g.m}^{-3}.\text{h}$ ).

### Specifiek natuur en milieu voor 2020 en 2030

- In de 2020 variant, waarin de emissies overeenkomen met de NMP3-doelen, is 60% aan hectaren landecosystemen beschermd tegen een te hoge potentieel zuurdepositie, voor stikstofdepositie is dat 80%;

- In de 2030 variant, bedoeld om 'duurzame' niveaus te halen is 90% aan hectaren landecosystemen beschermd tegen een te hoge potentieel zuurdepositie, voor stikstofdepositie is dat ook 90%.

#### Specifiek Gezondheid voor 2010

- De WHO-streefwaarde (LT-norm) voor ozon van geen overschrijding van het 8-uurs dagmaximum van  $120 \mu\text{g.m}^{-3}$  wordt in geen van de varianten gehaald;
- De EC-tussendoelstelling voor ozon voor 2010 van minder dan 20 dagen overschrijdingen van de WHO-streefwaarde gemiddeld over 3 jaren wordt mogelijk gehaald;
- Het aantal overschrijdingen van de uurgemiddelde concentratie van  $180 \mu\text{g.m}^{-3}$  (informatiedrempel huidige ozonrichtlijn) daalt tot minder dan 5 per jaar;
- Voor fijn stof wordt de indicatieve EU-grenswaarde van  $20 \mu\text{g.m}^{-3}$  zo'n 50% overschreden;
- De jaargemiddelde fijn stof concentratie bedraagt iets meer dan  $30 \mu\text{g.m}^{-3}$ . Dit jaargemiddelde correspondeert met ca 35 overschrijdingen van de daggemiddelde norm van  $50 \mu\text{g.m}^{-3}$  welke reeds in 2005 van kracht wordt;
- Voor  $\text{NO}_2$  wordt, op het gebruikte schaalniveau, alleen in de 2010-Göteborg variant een overschrijding van de grenswaarde van  $40 \mu\text{g.m}^{-3}$  berekend. Op 'hot spots' zijn ook in de andere varianten overschrijdingen niet uitgesloten.

#### Specifiek gezondheidsrisicoevaluatie voor 2010

Op basis van lineaire concentratie-effectmodellen:

- Uitgaande van de huidige leeftijdsopbouw van de bevolking zou in de varianten het additionele risico voor sterfte en spoedopnamen voor alle respiratoire aandoeningen voor  $\text{PM}_{10}$  afnemen tot ca. 950 gevallen (0.6% van de totale sterfte) en 750 opnames (1.2%); voor ozon wordt geen verandering verwacht;
- Op basis van exponentiële blootstellings-responsrelaties die gekoppeld zijn aan de ozonpieken wordt in alle varianten daarentegen wel een daling in de aan ozon geassocieerde sterfte berekend;
- Als rekening gehouden wordt met de demografische ontwikkelingen (vergrijzing) wordt daarentegen een stijging van het aantal sterfgevallen en spoedopnames verwacht voor zowel  $\text{PM}_{10}$  als ozon; voor  $\text{PM}_{10}$  resp. 1300 (0.7%) om 950 (1.5%), voor ozon 2500 (1.5%) resp. 450 (0.7%).

## Literatuur

Albers, R., Beck, J., Bleeker, A., Van Bree, L., Van Dam, J., Van der Eerden, L., Freijer, J., Van Hinsberg, A., Marra, M., Van der Salm, C., Tonneijk, F., De Vries, W., Wesselink, B., Wortelboer, R (2001). Evaluatie van de verzuringsdoelstellingen: de onderbouwing. RIVM Rapport 725501 001. RIVM, Bilthoven, 2001. (in druk)

Amann, M., Bertok, I., Cofala, J., Gyarmas, F., Heyes, C., Klimont, Z., Makowski, M., Schoepp, W., and Sanna, S. (1999) Cost-effective control of Acidification and Ground-Level Ozone. Part A: Methodology and Databases. Part B: Emission Control Scenarios. Seventh Interim Report to the European Commission, DGXI. IIASA, Laxenburg, Austria.

Bleeker, A., Ter Maat, H.W. en Heuberger, P.S.C (1999). Bouwstenen emissiegericht ammoniakbeleid in Drenthe; een regionale beschrijving van een optimale emissieverdeling op basis van de draagkracht van de natuur in de EHS. RIVM Rapport 722108024. RIVM, Bilthoven.

Bloemen, H.J.Th., Bree L. van, Buringh E., Fischer P.H., Loos S. de, Marra M. en Rombout P.J.A. (1998) Fijn stof in Nederland. Een tussenbalans. RIVM Rapport 650010 006. RIVM, Bilthoven.

COM(99)125 (1999) Voorstel voor een richtlijn van het Europees Parlement en de Raad inzake nationale emissiemaxima voor bepaalde luchtverontreinigende stoffen & Voorstel voor een richtlijn van het Europees Parlement en de Raad betreffende ozon in de lucht. <http://europa.eu.int>.

Devlin, R.B., Folinsbee L.J., Biscardi F., Hatch G., Becker S., Madden M.C., Robbins M., Koren H.S. (1997). Inflammation and cell damage induced by repeated exposure of humans to ozone. *Inhalat. Toxicol.* 9:211-235.

Drissen, E., Braat, L.C. en Witmer, M.C.H., (2001), Scenario's voor de Vijfde Nationale Milieuverkenning. RIVM Rapport 408129012. RIVM, Bilthoven. (in druk).

Erisman, J.W., en Van der Eerden, L. (1999) Stikstofonderzoeksprogramma STOP; de stikstofproblematiek op de lokale en regionale schaal nader onderzocht, RIVM Rapport 725601002. RIVM, Bilthoven.

Folinsbee, .F.J., Bedi J.F., Gliner J.A., Horvath S.M. (1982). Concentration dependence of pulmonary function adaptation to ozone. In: Lee, S.D., Mustafa, M.G., Mehlman, M.A.(Eds) *The biomedical effects of ozone and related photochemical oxidants*. Princeton Scientific Publishers, Princeton, USA.

Freijer, J.I., Bloemen, H.J.Th., De Loos, S., Marra, M., Rombout, P.J.A., Steentjes, G.M., Van Veen, M.P. (1998) Modelling exposure of the Dutch population to air pollution. *J. Hazard. Mat.* 61:107-114.

Heuberger, P. (1998). Regionale Optimalisatie – Methodiek. Intern RIVM rapport CIM-M035.

Hoek, G., Fischer, P., Brunekreef, B., Lebret, E., Hofschreuder, P., Mennen, M.G. (1993). Acute effects of ambient ozone on pulmonary function of children in the Netherlands. *Am. Rev. Respir. Dis.* 147:111-117.

Hoek, G., Verhoeff, A., Fischer, P. (1997). Daily mortality and air pollution in the Netherlands, 1986-1994. Rapportnr. 1997-481. Landbouwwuniversiteit Wageningen.

McDonnell, W.F., Stewart, P.W., Andreoni, S., Seal, E., Kehrl, H.R., Horstman, D.H., Folinsbee, L.J., Smith, M.V. (1997). Prediction of ozone-induced FEV1 changes: Effects of concentration, duration, and ventilation. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 156:715-722.

RIVM (2000) Nationale Milieuverkenning 5: 2000-2030, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Uitgeverij Samson, Alphen aan den Rijn.

RIVM, ALTERRA, LEI (2000) Natuurbalans 2000, Samsom bv, Alphen aan den Rijn.

Rombout, P.J.A., Schwarze, P. (1997). Quantitative exposure-response relations for ozone. In: eds. Bull K, Krzyzanowski M. Health effects of ozone and nitrogen oxides in an integrated assessment of air pollution. Proc. international UN-ECE/WHO workshop, Eastborne, UK, 1996; Institute for Environment and Health, University of Leicester, Leicester. pp. 20-28.

Rombout, P.J.A., Van Bree, L., Heisterkamp, S.H., Marra M. (1989). The need for an eight hour ozone standard. In: eds. Schneider T, Lee SD, Wolters GJR, Grant LD. Atmospheric ozone research and its policy implications; Studies in environmental science 35. Elsevier, Amsterdam. pp. 701-710.

Rombout, P.J.A., Bloemen, H.J.Th., Bree, L. van, Buring, E., Cassee, F.R., Fischer P.H., Freijer, J.L., Kruize, H., Marra, M., Opperhuizen, A (2000). Gezondheidsrisico's geassocieerd met luchtverontreiniging en met name fijn stof. Interim rapport. Rapportnr. 650010 020. RIVM, Bilthoven.

Van Bree, L., Rombout, P.J.A., Rietjens, I.M.C.M., Dormans, J.A.M.A., Marra, M. (1989). Pathobiochemical effects in rat lungs related to episodic ozone exposure. In: eds. Schneider T, Lee SD, Wolters GJR, Grant LD. Atmospheric ozone research and its policy implications; Studies in environmental science 35. Elsevier, Amsterdam. pp. 723-732.

Van Dam, J., Heuberger, P., Aben, J., Van Zeijts, H., en Van Pul, W.A.J (2001). Effecten van verplaatsing van agrarische ammoniakemissies; verkenning op provinciaal niveau. RIVM Rapport 725501 003. RIVM, Bilthoven (in druk).

Van Hinsberg, A. en Kros J. (1999) Een normstellingsmethode voor (stikstof)depositie op natuurlijke vegetaties in Nederland. Een uitwerking van de Natuurplanner voor natuurdoeltypen. RIVM Rapport 722108024. RIVM. Bilthoven

Van Jaarsveld, J.A., (1995) Modelling the long-term atmospheric behaviour of pollutants on various spatial scales. PhD-thesis Universiteit Utrecht.

Van Loon M, (1996), Numerical methods in smog prediction, dissertatie Universiteit van Utrecht, Nederland.

Vonk J.M., Schouten, J.P. (1998). Daily emergency hospital admissions and air pollution in the Netherlands, 1982-1986 and 1986-1995. Rapportnr. VROM reg #96.140072. Rijksuniversiteit Groningen, Groningen.

VROM (2000) Evaluatie van de verzuringsdoelstellingen: maatregelpakketten, emissies en kosten, Werkdocument. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Den Haag. Rapportnummer 14030/173.

WHO (1999). Update and revision of the WHO air quality guidelines for Europe. Classical air pollutants; ozone and other photochemical oxidants. In: Air Quality Guidelines for Europe, second edition. World Health Organization, Copenhagen. (in druk).

1999/30/EC (1999) Richtlijn 1999/30/EG van de Raad van 22 April 1999 betreffende grenswaarden voor zwaveldioxide, stikstofdioxide en stikstofoxiden, zwevende deeltjes en lood in de lucht. Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen 29.6.1999 L 163/41.



## Bijlage 1 Verzendlijst

1. Ir. J. van der Vlist (VROM-DGM)
2. Dr. ir. B.C.J. Zoeteman (VROM/DGM)
3. Mw. Mr. C.M. Zwartepoorte (VROM/DGM/KvI)
4. Ing. M.M.J. Allessie (VROM/DGM/KvI)
5. Drs. C.J. Sliggers (VROM/DGM/KvI)
  
6. Drs. G.J. de Vries (VROM/DGM/BWL)
7. Mw. Drs. M. Zebregs (VROM/DGM)
8. Drs. P.L. Hofmeijer (VROM/DGM/KvI)
9. Drs. C.P.A. Dekkers (VROM/DGM/KvI)
10. Ing. D. de Jong (VROM/DGM/LMV)
11. Drs. K. Sanders (VROM/DGM/KvI)
12. Ir. E.J. Dame (VROM/DGM/KvI)
13. Ir. S.M. Smeulders (VROM/DGM/BWL)
14. Drs. M.M. de Hoog (VROM/DGM/KvI)
15. Mw. M. Bonney (VROM/DGM/KvI)
16. Drs. A.W.M. Eijs (VROM/DGM/BWL)
17. Ir. J.A. Herremans (VROM/DGM/LMV)
18. Ir. A.P.M. Blom (VROM/DGM/KvI)
19. Dr. K.R. Krijgsheld (VROM/DGM/KvI)
20. Drs. R. Braakenburg (V&W/S&C)
21. Drs. F.E.T. Hoefnagels (VROM/DGM/KvI)
22. Mw. Drs. R.M. van der Linden (EZ- DG Industrie en Diensten)
23. Mw. ing. E.G. de Jeu (EZ- DG Ondernemingsklimaat)
24. Drs. B. Witmond (EZ- DG Ondernemingsklimaat)
25. Mw. Drs. M. v.d. Boogaart (LNV-directie landbouw)
26. Drs. J. Verkerk (LNV-directie Landbouw)
27. Ing. M.J.C. de Bode (LNV-directie Landbouw)
28. Drs. J.J.C. Karres (LNV-directie Natuurbeheer)
29. Ir. J.J. Mesu (IKC-Landbouw)
30. Ir. H.M. Beije (IKC-Natuurbeheer)
  
31. Dr. ing. J.W. Erisman (ECN)
32. Dr. ing. J.H. Duyzer (TNO-MEP)
33. Dr. M.G.M. Roemer (TNO-MEP)
34. Prof. Dr. ir. P.J.H. Bultjes (TNO-MEP)
35. Dr. H.F. van Dobben (Alterra)
36. Ir. J. Kros (Alterra)
37. Dr. R. Bobbink (Universiteit Utrecht)
38. Dr. J.G.M. Roelofs (Katholieke Universiteit Nijmegen)
39. Dr. ir B. Brunekreef (Universiteit Utrecht)
  
40. Depot Nederlandse Publikaties en Nederlandse Bibliografie
  
41. Directie RIVM
42. Ir. N.D. van Egmond

43. Ir. F. Langeweg (SV)
44. Ir. R. van den Berg (LBG)
45. Ir. A.H.M. Bresser (LWD)
46. Mw. Dr. J. Hoekstra (LAE)
47. Drs. R.J.M. Maas (MNV)
48. Dr.A. Opperhuizen (LEO)
49. Dr. ir. E. Lebret (LBM)
50. Dr. ir. D. van Lith (LLO)
  
51. Drs. J.M.M. Aben (LLO)
52. Drs. F. Bogman (LLO)
53. Ir. P.B. van Breugel (LLO)
54. Drs. E. Buijsman (LLO)
55. Ir.H.S.M.A. Diederer (LLO)
56. Drs. H.C. Eerens (LLO)
57. Ir. P. Hammingh (LLO)
58. Dr. ing. J.A. van Jaarsveld (LLO)
59. Ir. R.A. Kamst (LLO)
60. Dr. J. Matthijssen (LLO)
61. Ir. W.J.A. Mol (LLO)
62. Dr. ir. W.A.J. van Pul (LLO)
63. Ir. F.J. Sauter (LLO)
64. Dr. ir. G.J.M. Velders (LLO)
65. Drs. K. van Velze (LLO)
66. Ing. H. Vissenberg (LLO)
67. Mw. Ing. E.S. de Waal (LLO)
68. Ir. P.M. van Egmond (LAE)
69. Ir. K. van der Hoek (LAE)
70. Drs. A.H. Haanemaaijer (LAE)
71. Drs. J.A. Oude Lohuis (LAE)
72. Ir. W.L.M. Smeets (LAE)
73. Ir. H.J. Westhoek (LAE)
74. Ir. H. van Zeijts (LAE)
75. Dr. ir. J.R.M. Alkemade (LBG)
76. Mw. M.L.P van Esbroek (LBG)
77. Drs. J. Wiertz (LBG)
78. Prof. Dr. J.P. Hettelingh (MNV)
79. Dr. M. Posch (MNV)
80. Drs. S.A. van Esch (MNV)
81. Drs. O.J. van Gerwen (MNV)
82. Ir. P.H. Fischer (LBM)
83. Dr. ir. E. Buringh (LEO)
84. Dr. P.S.C. Heuberger (CIM)
85. Dr. ir. P.H.M. Janssen (CIM)
86. Dr. H. Visser (CIM)
  
87. Ir. R.A.W. Albers
88. Mw. ir. J.P. Beck (LLO)
89. Ing. A. Bleeker (TNO)
90. Dr. L. van Bree (LEO)

91. Ir. J.D. van Dam (LLO)
92. Dr. L.J. van der Eerden (DLO)
93. Dr. J.I. Freijer (LBM)
94. Dr. A. van Hinsberg (LBG)
95. Ing. M. Marra (LBM)
96. Dr. A.E.G. Tonneijck (DLO)
97. Mw. Drs. C. van der Salm (Alterra)
98. Dr. W. de Vries (Alterra)
99. Dr. ir. L.G. Wesselink (LAE)
100. Drs. F.G. Wortelboer (LWD)
  
101. SBD/Voorlichting & Public Relations
102. Bureau Rapportenregistratie
103. Bibliotheek RIVM
104. Bibliotheek LLO
- 105-114 Bureau Rapportenbeheer
- 115-130 reserve exemplaren



## Bijlage 2      Selectie van voorbeeldgebieden

Om de vergelijking van de verschillende emissievarianten te illustreren zijn in deze bijlage een tweetal kaarten toegevoegd met een aantal concrete voorbeeldgebieden. De kaarten dienen ter ondersteuning van de beoordeling van de emissievarianten en hebben geen verankering in het natuur- en/of milieubeleid. Daarnaast dienen de kaarten niet voor inschatting van de lokale milieuecondities voor een zeer specifieke locatie, iets waarvoor de gebruikte depositiegegevens en kritische depositiekaarten niet geschikt zijn. De kaarten kunnen over de in deze bijlage gepresenteerde kaarten van overschrijding van kritische depositieniveaus worden gelegd.

Kaart A bevat een selectie van een aantal aansprekende natuurgebieden in Noord en West-Nederland, die liggen in minder belaste delen van Nederland. Daarnaast bevat de kaart een aantal gebieden in met name Zuid en Oost-Nederland die liggen in de van oudsher meer belaste regio's.

In Noord en West Nederland gaat het daarbij om de gebieden:

- de Voornse Duinen
- het Nationaal Park de Kennemer Duinen
- de Schoorlse Duinen, de overgang van kalkrijke naar kalkarme duinen
- het Zwanenwater
- de Waddeneilanden
- het Fochteloërveen
- de Oude Venen
- het nationaal Park De Weerribben
- de Bloemdijken in de zak van Zuid-Beveland

In zuid en Oost Nederland gaat het om:

- de Sallandse Heuvelrug
- de Noordveluwe
- Plancken Wambuis
- het Nationaal Park Veluwezoom
- het Korenburgerveen bij Winterswijk (toetslocatie in centrum)
- het Naarder Meer
- de Kaapse bossen bij Doorn
- de Loonse en Drunense Duinen (lokatie in centrum)
- de Oisterwijkse Vennen/Kampina
- het Beuven in de Strabrechtse Heide
- het Gerendal in Zuid-Limburg.

Kaart B geeft een beeld van gebieden waar gedacht wordt aan het realiseren van (grotere eenheden) natuur waarbij grootschalige natuurlijke processen de vrije loop gelaten zal worden of waar enige bijsturing van de processen zal kunnen plaatsvinden (Bron: Natuurbalans 2000).

Voorbeeldgebieden kaart A  
Bijlage



*Figuur II.1 Selectie van aansprekende natuurgebieden*

Nagenoeg/begeleid natuurlijke eenheden



*Figuur II.2 Kaartbeeld van grote eenheden natuur*

## Bijlage 3 Meting en modellering van ozon

Het jaar 1997 is het basisjaar in het project *Evaluatie van de Verzuringsdoelstellingen*. Voor ozon betekent dit dat de emissies van 1997 voor basisberekeningen gebruikt worden, maar dat voor de meteorologie een ander jaar kan worden ingezet. De achtergrond van deze werkwijze is dat er van jaar tot jaar grote verschillen zijn in het optreden van zomersmog. Hier is gekozen voor een zogenaamde *worst-case* benadering; dat wil zeggen de meteorologie van het jaar dat het meest 'smoggie' is, is toegepast voor alle berekeningen. Deze werkwijze onderscheidt zich van die welke gebruikt wordt voor bijvoorbeeld depositieberekeningen. Doordat verzuring en vermisting primair cumulatieve problemen zijn, wordt voor die thema's gewerkt met langjarig gemiddelde meteorologie.

Voor het kiezen van het meteorologisch jaar dat de meeste smog veroorzaakt, is het EUROS model gerund met de meteorologische omstandigheden van 1989, 1990, 1992, 1993 en 1994, steeds met dezelfde emissies. Deze 5 jaren zijn getest omdat dezelfde set is gebruikt voor het internationale UN-ECE en EU werk op het terrein van ozon. In tabel II-1 worden de resultaten voor 4 indicatoren gescoord met behulp van sterretjes.

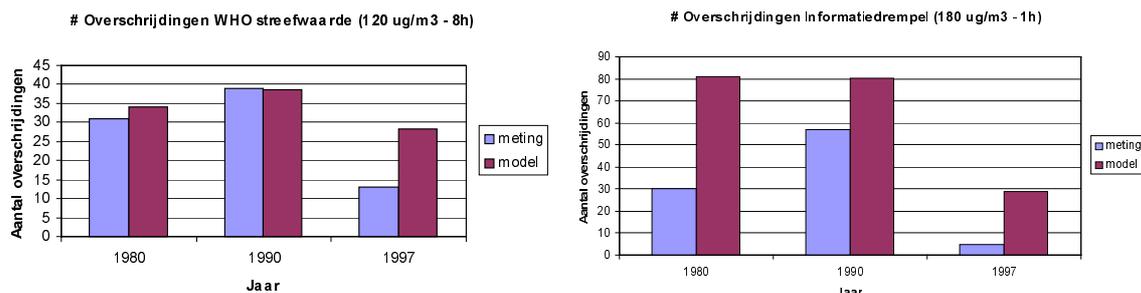
Tabel III-1 Smog gerangschikt voor 5 meteojaren en 4 gangbare indicatoren

	1989	1990	1992	1993	1994
#overschrijdingen 180 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ als uurwaarde	**	****	***	*	*****
#overschrijdingen 120 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ als 8 uren dagmaximum	***	**	****	*	*****
AOT40	***	**	****	*	*****
Som van overschrijdingen 120 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ als 8-uurs dagmaximum	**	***	****	*	*****

\*\*\*\*\* = ernstig

\* = minst ernstig

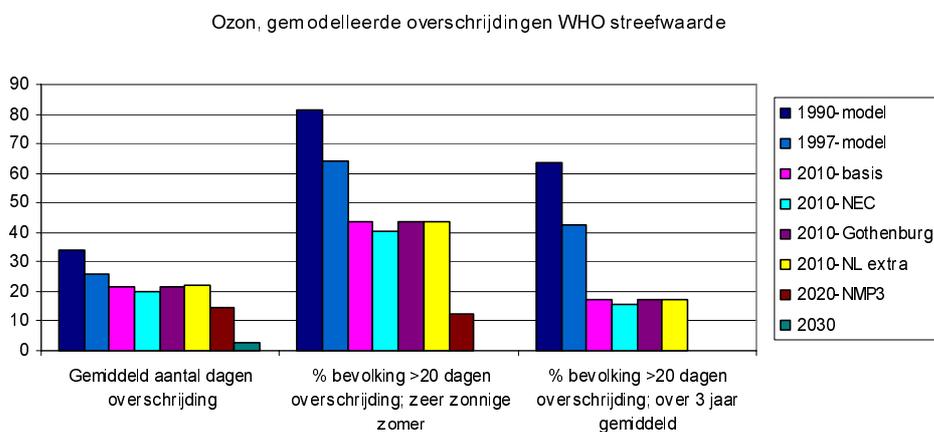
Het meteojaar 1994 omvat van de 5 geteste jaren klaarblijkelijk de 'zonnigste' meteorologie die de meeste smog veroorzaakt. In alle berekeningen is daarom steeds dit meteojaar toegepast, vanzelfsprekend met wisselende emissies. De keerzijde is dat de basisjaar 1997 berekening -met meteo van 1994- niet goed vergeleken kan worden met metingen van 1997. Figuur III-1 presenteert gemeten en gemodelleerde overschrijdingen van de WHO-streefwaarde en de EU-informatiedrempel; het model is voor iedere run gedraaid met de emissie-schatting van het goede jaar, maar met de meteo van 1994. Vooral voor het jaar 1997 bestaan grote verschillen. In werkelijkheid had 1997 een wisselvallige zomer (wel met een zonnige augustusmaand); het model overschat daardoor het aantal overschrijdingen. De conclusie luidt dat in de periode 1980-1997 de van jaar tot jaar wisselende meteorologie ongeveer dezelfde verschillen in de ozonconcentratie kon veroorzaken als de reductie die behaald werd door ozonbestrijdingsbeleid. In de toekomst geldt dat niet meer: als de emissies van VOS en  $\text{NO}_x$  vér worden teruggedrongen, zijn er, zonnig of niet, geen ozonepisoden meer.



Figuur III-1 Vergelijking tussen gemeten en gemodelleerde overschrijdingen in 1980, 1990 en 1997. Alle modelruns gebruiken de meteorologie van 1994.

De concept EU dochterrichtlijn voor ozon (COM(99)125) stelt als evaluatieperiode voor het overschrijden van streefwaarden een middeling over 3 jaar voor, voor de bescherming van gezondheid en 5 jaar voor de bescherming van gewassen en natuurlijke vegetatie. Dit staat op gespannen voet met bovengenoemde zonnige zomer meteo benadering. Het ontbrak echter aan rekentijd om de dochterrichtlijn definitie precies te volgen. Een aantal analyses is uitgevoerd om het verschil inzichtelijk te maken.

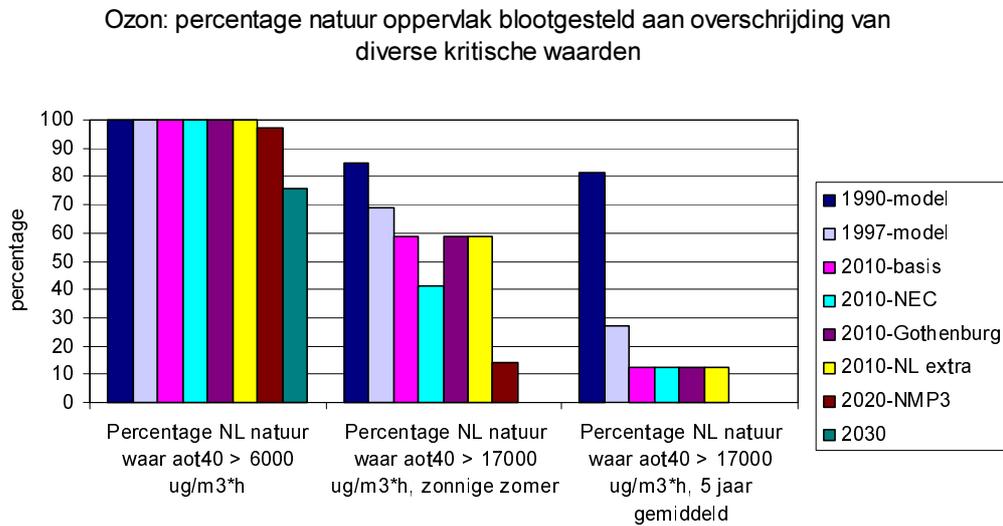
De concept dochterrichtlijn schrijft een maximum van 20 overschrijdingen van de WHO-streefwaarde voor in 2010. Voor het "Evaluatie"-project is het aantal voor een *worst-case* jaar gemodelleerde overschrijdingen vertaald naar een 3-jaar gemiddelde door aan te nemen dat 25 overschrijdingen in *worst-case* overeenkomt met 20 overschrijdingen over 3 jaar gemiddeld. In figuur III-2 wordt het resultaat van deze procedure geïllustreerd. Het percentage mensen waarvoor in 2010 de EU doelstelling niet wordt gehaald daalt van ca 40% (*worst-case* aanname) naar ca 15% (3-jaar middeling).



Figuur III-2 (identiek aan figuur 4.3) Gemodelleerde overschrijdingen van de WHO streefwaarde gekoppeld met demografische gegevens. Illustratie van het effect van een middeling over 3 jaar.

In de periode 1994-1997 bedroeg het AOT40 verschil tussen een zonnige en een regenachtige zomer ca 10000 µg m<sup>-3</sup>.h. Omdat de EU voorstelt om de AOT40 overschrijdingen te evalueren op basis van een 5-jaar gemiddelde kiezen we hier de grens van 22000 µg m<sup>-3</sup>.h voor een zeer zonnige zomer om de tussendoelstelling van 17000 µg m<sup>-3</sup>.h te simuleren voor een 5-jaar gemiddelde. Het natuuroppervlak waarvoor in 2010 de EU doelstelling niet wordt gehaald daalt van ca 60% (*worst-case* aanname) naar ca 10% (5-jaar middeling). De lange ter-

mijn streefwaarde van  $6000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$  wordt in 2010 in ca 90% van de Nederlandse natuur niet gehaald, ongeacht de middelingstijd (figuur III-3). De AOT40 blijft daar nog zo'n  $1000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{h}$  boven.



Figuur III-3 (identiek aan figuur 4.6) Percentage van het Nederlands natuuroppervlak dat volgens de verkenning wordt blootgesteld aan overschrijdingen van kritische grenzen voor AOT40.



## Bijlage 4 Gezondheidsrisico-evaluatie: Basisgegevens, methoden en achtergrondinformatie

Epidemiologische studies uitgevoerd in de VS en in Europa hebben bij de huidige niveaus van fijn stof en ozon associaties met gezondheidseffecten aangetoond. Het betreft onder meer respiratoire klachten en symptomen, longfunctiedaling, verhoogd medicijngebruik bij astmatici, spoedopnamen in het ziekenhuis en vroegtijdige sterfte. De gezondheidsrisico's vertonen een min of meer coherent beeld; minder ernstige effecten als klachten komen op relatief grote schaal voor en ernstige effecten als spoedopnamen en sterfte treden minder frequent op. Deze bevindingen maken plausibel dat de associaties duiden op een causaal verband met PM<sub>10</sub> respectievelijk ozon, dan wel met nog onbekenden factoren waarmee deze componenten zijn gecorreleerd. Toxicologisch onderzoek ondersteunt een causale relatie tussen ozon en respiratoire klachten, longfunctiedaling en nadelige effecten bij astmatici. Dergelijk onderzoek heeft een mogelijk causaal verband met deeltjesvormige luchtverontreiniging tot nu toe niet aangetoond. Evenmin is er een dergelijke ondersteuning voor een causaal verband van beide componenten met de zeer ernstige effecten.

De gezondheidsrisico's van luchtverontreiniging worden gekwantificeerd met behulp van dosis-respons- of concentratie-responsrelaties. Dosis-responsrelaties geven de mate van een bepaald effect weer als functie van de geïnhaleerde dosis, welke een functie is van de concentratie waaraan men wordt blootgesteld en de ademhalingssnelheid. Dergelijke relaties zijn onder andere vastgesteld voor de relatie tussen ozonblootstelling en longfunctieverandering in toxicologisch en klinisch onderzoek. Bij concentratie-responsrelaties beschrijven de relaties tussen de fractie van de bevolking waarbij een bepaald effect wordt waargenomen en de concentratie van de luchtverontreinigingscomponent. Deze relatie kan worden afgeleid uit epidemiologisch onderzoek waarin tijdseries van gezondheidsindicatoren en concentraties op vaste meetpunten worden geanalyseerd, rekening houdend met versturende variabelen zoals temperatuur.

Klinisch onderzoek heeft zich wat betreft luchtverontreiniging in het verleden vooral gericht op dosis-effect relaties voor ozon. Met name de relatie tussen de geïnhaleerde ozondosis en longfunctieveranderingen is goed onderzocht (b.v. McDonnell *et al.*, 1997). Dit onderzoek laat zien dat na 2-8 uur blootstelling aan ozon een aanzienlijke afname van FEV<sub>1</sub><sup>6</sup> kan optreden (tot 20%). Herstel treedt in de meeste gevallen op binnen 24 uur na de blootstelling (Folinsbee *et al.*, 1982). De resultaten van deze Amerikaanse studies laten zien dat het effect niet-lineair afhangt van de dosis en dat er een grote variatie in respons bestaat; er zijn zowel hyper-responders als non-responders in de onderzochte populaties (Rombout en Schwarze, 1997). Andere in de literatuur gemelde dosis-effect relaties voor ozon representeren met name lineaire en exponentiële dosis-effect relaties op basis van expert judgement (WHO, 1999). Klinisch onderzoek naar de relatie tussen blootstelling en lange termijn effecten is pas recentelijk gestart (b.v. Devlin *et al.*, 1997). Uit dit onderzoek alsmede uit eerder dierexperimenteel onderzoek (van Bree *et al.*, 1989; Rombout *et al.*, 1989) blijkt echter dat relevante gezondheidseffecten (celschade, ontstekingsreacties) zich wel degelijk manifesteren op langere termijn (maanden) zowel bij eenmalige als bij herhaalde blootstelling.

Associaties tussen longfunctiedaling en luchtkwaliteit zijn in Nederland in diverse studies onderzocht. Het betreft hier studies die zich met name richtten op kinderen en specifieke groepen volwassenen (sportende jonge mensen). Een literatuuroverzicht wordt gegeven in Hoek *et al.* (1997). Voor een groot aantal verschillende stoffen werd een samenhang gevon-

<sup>6</sup> FEV<sub>1</sub> Forced Expiratory Volume in 1 second (i.e. het volume lucht wat je bij zo hard mogelijk uitblazen in de eerste seconde uitademt).

den tussen enerzijds de concentratie en anderzijds longfunctiedaling, respiratoire klachten en symptomen of medicijngebruik. De met luchtverontreiniging geassocieerde longfunctiedaling was gemiddeld 1.0-2.5% afname van de longfunctie over de onderzochte concentratieranges (o.a. Hoek *et al.*, 1993).

Twee recentelijk uitgevoerde Nederlandse epidemiologische studies hebben de samenhang tussen luchtverontreiniging en sterfte (Hoek *et al.*, 1997) en luchtverontreiniging en spoedopnames (Vonk en Schouten, 1998) in kaart gebracht. Deze twee studies richtten zich op sterfte in de periode 1986-1993 en ziekenhuisopnames in de periode 1982-1995 en zijn beiden landsdekkend. Er is in beide studies gecorrigeerd voor een groot aantal versturende variabelen, waaronder lange termijn trends, seizoenstrends, griep, buitentemperatuur, relatieve luchtvochtigheid, dag van de week en vakantiedagen.

De concentratie-responsrelaties behorende bij de associatie tussen ozon en de totale sterfte lijkt een niet-lineair verband te zijn. Echter, op grond van de uitkomsten van de statistische analyses kan de hypothese dat het een lineair verband betreft niet zonder meer worden verworpen. In de studie van Hoek *et al.* zijn de associaties afzonderlijk onderzocht voor perioden met hoge en met lage concentraties (zomer versus winter), waaruit aanwijzingen komen dat er mogelijk een drempelwaarde voor de ozonconcentratie zou bestaan waar beneden geen effecten optreden. Een niet-lineaire relatie betekent dat de respons per eenheid ozon bij lage concentraties relatief lager is dan bij hoge concentraties; bij een lineair verondersteld verband is de bedrage van een concentratie-eenheid ozon hetzelfde bij hoge als bij lage concentraties.

De associaties (relatieve risico's) tussen de onderzochte gezondheidsindicatoren en de concentraties van respectievelijk  $PM_{10}$  en ozon welke in deze evaluatie zijn toegepast, staan in Tabel IV. 1 vermeld. De gebruikte gegevens over dagelijkse sterfte en spoedopnames staan in Tabel IV.2 en de (verwachte) demografische ontwikkelingen in Tabel IV.3.

Naast het doorgaans in de epidemiologie gebruikelijke lineaire model zonder drempelwaarde is voor ozon tevens een exponentieel model toegepast bij het berekenen van de gezondheidsrisico's, in dit geval de totale dagelijkse sterfte. De hiervoor toegepaste exponentiële relatie is grafisch weergegeven in Figuur IV.1. Daarnaast is op grond van een analyse van gegevens over longfunctiedaling als functie van de geïnhaleerde dosis een schatting gemaakt van de omvang van longfunctieveranderingen (Rombout en Schwarze, 1997). Hierbij is gebruik gemaakt van blootstellingsmodellering (Ref. AirPEX) op basis van tijdbestedingspatronen in de Nederlandse bevolking en ruimtelijke en temporele variaties in de ozonconcentraties.

De resultaten van epidemiologisch onderzoek van de relaties tussen  $PM_{10}$  en sterfte en  $PM_{10}$  of ozon en ziekenhuisopnames zijn over het algemeen redelijk consistent. Voor de relatie tussen ozon en dagelijkse sterfte zijn de resultaten van dergelijke onderzoeken niet eenduidig. Voor beide componenten is ook zeker geen plausible verklaring voor een eventuele causale relatie met sterfte te geven. Indien er een causale relatie zou bestaan met deze componenten of met een aan deze componenten gecorreleerde causale factor dan is een niet-lineaire relatie biologisch gezien meer plausibel dan een lineaire. Deze verschillende relaties leiden tot verschillende uitkomsten. Dagen met hoge concentraties wegen meer mee in de geschatte gezondheidsrisico's dan dagen met lage concentraties in geval een exponentiële relatie wordt toegepast. Dat betekent dat voor varianten waarin het 95-percentiel van dagelijkse 8-uurs ozonconcentraties daalt, maar het gemiddelde iets toeneemt, de geschatte gezondheidsrisico's verminderen bij toepassing van het exponentiële model en zullen toenemen bij toepassing van het lineaire model.

Tabel IV. 1: Leeftijd-specifieke relatieve risico's voor dagelijkse sterfte en spoedopnamen voor een verandering in de 24-uursgemiddelde  $PM_{10}$  (boven) en ozonconcentratie (onder) van 80 respectievelijk  $150 \mu g.m^{-3}$  voor een aantal oorzaken (voor sterfte) en ontslagdiagnoses (voor spoedopnames) met bijbehorende 95% betrouwbaarheidsintervallen. Bronnen: Hoek et al. (1997) en Vonk en Schouten (1998).

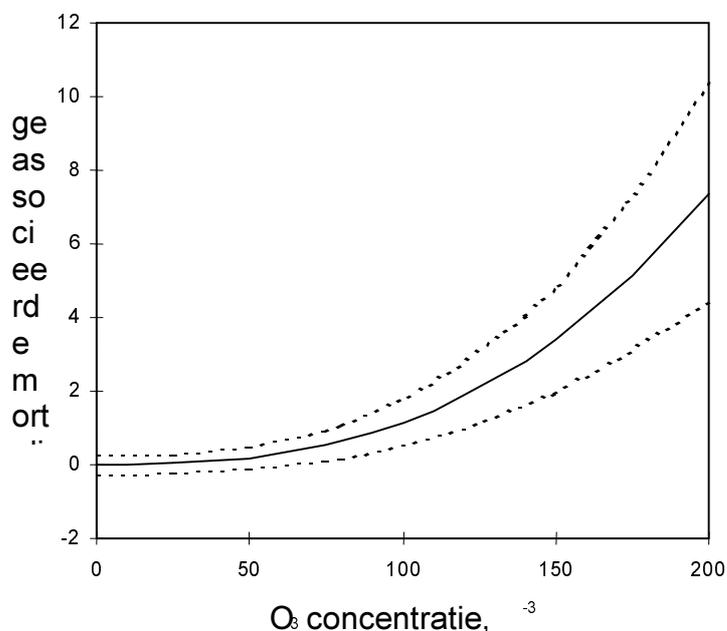
Associaties tussen dagelijkse sterfte en $PM_{10}$ :				
Leeftijd	Alle oorzaken	Hart- en vaat-aandoeningen	COPD	Longontsteking en acute bronchitis
<45	0.927 (0.844 - 1.018)	0.906 (0.728 - 1.128)	1.153 (0.587 - 2.268)	1.427 (0.806 - 2.525)
45-64	1.008 (0.964 - 1.053)	1.023 (0.945 - 1.106)	1.139 (0.841 - 1.541)	1.712 (1.042 - 2.815)
65-74	1.017 (0.979 - 1.056)	1.002 (0.945 - 1.062)	1.166 (0.991 - 1.372)	1.240 (0.879 - 1.748)
75+	1.030 (1.006 - 1.055)	1.016 (0.981 - 1.052)	1.066 (0.965 - 1.178)	1.123 (1.011 - 1.247)
all ages	1.021 (1.002 - 1.040)	1.012 (0.984 - 1.041)	1.099 (1.015 - 1.191)	1.148 (1.040 - 1.268)
Associaties tussen dagelijkse spoedopnamen en $PM_{10}$ :				
	Alle respiratoire aandoeningen	COPD	Astma	Hart- en vaat-aandoeningen
<15	0.939 (0.896 - 0.984)	0.922 (0.799 - 1.064)	0.895 (0.794 - 1.010)	niet beschikbaar
15-64	1.063 (1.015 - 1.113)	1.120 (1.029 - 1.219)	1.140 (1.000 - 1.299)	1.001 (0.970 - 1.034)
65+	1.078 (1.035 - 1.121)	1.160 (1.096 - 1.227)	1.125 (0.897 - 1.409)	1.038 (1.012 - 1.064)
all ages	1.027 (0.998 - 1.056)	1.111 (1.061 - 1.164)	0.995 (0.914 - 1.083)	1.022 (1.001 - 1.043)
Associaties tussen dagelijkse sterfte en ozon:				
Leeftijd	Alle oorzaken	Hart- en vaat-aandoeningen	COPD	Longontsteking en acute bronchitis
<45	0.983 (0.916 - 1.054)	1.022 (0.863 - 1.212)	2.137 (1.258 - 3.630)	1.142 (0.682 - 1.911)
45-64	1.040 (1.004 - 1.077)	1.038 (0.977 - 1.103)	1.083 (0.856 - 1.371)	0.677 (0.424 - 1.081)
65-74	1.030 (1.0 - 1.061)	1.005 (0.960 - 1.053)	0.989 (0.862 - 1.135)	1.597 (1.164 - 2.190)
75+	1.043 (1.024 - 1.063)	1.073 (1.044 - 1.102)	0.996 (0.919 - 1.079)	1.367 (1.245 - 1.501)
all ages	1.039 (1.024 - 1.054)	1.055 (1.032 - 1.079)	1.006 (0.942 - 1.074)	1.146 (1.062 - 1.236)
Associaties tussen dagelijkse spoedopnamen en ozon:				
Leeftijd	Alle respiratoire aandoeningen	COPD	Astma	Hart- en vaat-aandoeningen
<15	0.954 (0.913 - 0.997)	0.838 (0.731 - 0.960)	0.918 (0.834 - 1.010)	niet beschikbaar
15-64	1.023 (0.985 - 1.061)	0.925 (0.855 - 1.001)	1.096 (0.990 - 1.203)	0.993 (0.970 - 1.018)
65+	1.045 (1.008 - 1.082)	1.115 (1.054 - 1.179)	1.051 (0.897 - 1.231)	1.010 (0.990 - 1.029)
all ages	1.017 (0.992 - 1.042)	1.034 (0.989 - 1.082)	1.029 (0.968 - 1.094)	1.002 (0.986 - 1.018)

Tabel IV. 2: Sterfte en spoedopnamen in het ziekenhuis in Nederland in 1997 respectievelijk 1998. Bron: Hoek et al., 1997 en Vonk en Schouten, 1998.

Sterfte (1997):				
Leeftijdscategorie	Alle oorzaken	Hart- en vaat-aandoeningen	COPD	Longontsteking en acute bronchitis
<45	6906	944	45	61
45-64	19813	5573	466	188
65-74	28113	10247	1584	519
75+	80951	32997	4261	4993
totaal	135783	49761	6356	5761
Spoedopnamen (1998):				
Leeftijdscategorie	Alle respiratoire aandoeningen	Luchtweg-aandoeningen	Astma	Hart- en vaat-aandoeningen
<15	13619	873	2736	119
15-64	14420	4167	1871	34413
65+	26152	11383	456	68867
totaal	54191	16423	5063	103400

Tabel IV.3: Demografische ontwikkeling in Nederland 1980-2030. Bron: MV5 en Drissen et al., 2000.

Leeftijdscategorie	1980	1990	1997	2010	2020	2030
<15	3280000	2828000	2804000	3000000	2992000	3135000
15-45	6399000	7082000	6965699	6686667	6464264	6679446
45-64	2797000	3077000	3453135	4646114	4866619	4464751
65-74	1037800	1114200	1156118	1376780	1879300	2094562
75+	577200	791800	842232	1106203	1304196	1839780
totaal	14091000	14893000	15221184	16815764	17506379	18213539



Figuur IV.1: Concentratie-respons relatie voor mortaliteit geassocieerd met ozon (8-uurs gemiddelde concentratie tussen 12:00-20:00 uur). De getrokken lijn geeft de gemiddelde relatie (stippellijnen: 95% betrouwbaarheidsinterval). Bron: Hoek et al., 1997.