

Rapport nr. 773001012

**Vergaande CO<sub>2</sub> -reducties; effecten op de  
emissies van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, fijn stof en VOS**

M.G.M. Harmelink, R.M.M. van den Brink,  
D. Stein

juni 1998

Dit onderzoek is verricht in het kader van het project 'Energie', projectnummer 773001, in opdracht van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu, Directoraat Generaal Milieubeheer (Directie Lucht en Energie).

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Postbus 1, 3720 BA Bilthoven,  
telefoon: 030 - 274 91 11, fax: 030 - 274 29 71

## **Abstract**

In the Second Memorandum on Climate Change the Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment announced that a long-term climate survey to investigate the possibilities and costs of extreme CO<sub>2</sub> reductions would be conducted. The first part of the survey was conducted by the Netherlands Energy Research Foundation (ECN), who investigated the possibilities of reducing Dutch greenhouse gas emissions by 32% in 2020, when compared to the 1990 emission levels. Two policy alternatives - 'Management and control' (Sturing) and 'Markets' (Markt) - , founded on the Global Competition scenario used in the long-term survey - were worked out. The ECN concluded that options such as the import of biomass, and the capture and storage of CO<sub>2</sub> (backstops), would have to be considered if such stringent CO<sub>2</sub> reductions were to be realised. The RIVM looked at the changes in the local emissions of NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> and VOC resulting from the CO<sub>2</sub> measures in two policy alternatives. The main conclusion from this survey is that an 8% to 30 % reduction in CO<sub>2</sub> emissions can be realised with the reduction of CO<sub>2</sub>. Combining new technologies (such as fuel cells) and backstop technologies offers prospects for a further reduction in these emissions of up to 50% of the levels under the existing policy.

# Inhoud

<b>1. Inleiding</b> .....	<b>5</b>
1.1. Aanleiding tot deze studie .....	5
1.2. Onderzoeksmethodiek .....	5
1.3. Keuze voor scenario en beleidsvarianten .....	6
1.4. Energiebesparing en CO <sub>2</sub> -reductie in de beleidsvarianten .....	7
1.5. Afbakening van deze studie .....	8
1.6. Leeswijzer .....	8
<b>2. Methodiek en beleidsveronderstellingen</b> .....	<b>9</b>
2.1. Inleiding .....	9
2.2. Beleidsveronderstellingen .....	9
2.3. Methodiek.....	10
<b>3. Emissies in het referentiescenario en bij NMP3-extra</b> .....	<b>13</b>
3.1. Inleiding .....	13
3.2. Energie- en CO <sub>2</sub> -beleid in het referentiescenario en bij NMP3-extra .....	13
3.3. NO <sub>x</sub> -emissies .....	15
3.4. SO <sub>2</sub> -emissies .....	17
3.5. Fijn stof (PM <sub>10</sub> )-emissies .....	18
3.6. VOS-, PAK-, CO- en dioxine-emissies.....	20
3.7. Conclusies .....	21
<b>4. Backstopstechnologieën</b> .....	<b>22</b>
4.1. Inleiding .....	22
4.2. Biomassa .....	22
4.2.1. Inleiding .....	22
4.2.2. Inzet van biomassa in de beleidsvarianten.....	24
4.3. CO <sub>2</sub> -verwijdering en -opslag.....	30
4.3.1. Het verwijderen van CO <sub>2</sub> uit synthesegas. ....	31
4.3.2. De verwijdering van CO <sub>2</sub> uit rookgassen. ....	33

---

<b>5. Emissies in de sturings- en marktvariant .....</b>	<b>34</b>
5.1. Inleiding .....	34
5.2. CO <sub>2</sub> -emissies .....	34
5.3. NO <sub>x</sub> -emissies .....	35
5.4. SO <sub>2</sub> -emissies .....	39
5.5. Fijn stof (PM <sub>10</sub> )-emissies .....	41
5.6. VOS-emissies .....	43
5.7. Backstops: mogelijkheden voor verdere reductie van de NO <sub>x</sub> -, SO <sub>2</sub> -, fijn stof- en VOS emissies. ....	45
5.8. Conclusies .....	49
<b>6. Conclusies en aanbevelingen .....</b>	<b>50</b>
<b>Samenvatting .....</b>	<b>53</b>
<b>Literatuur .....</b>	<b>56</b>
<b>Verzendlijst.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

# 1. Inleiding

## 1.1. Aanleiding tot deze studie

In de Vervolgnota Klimaatverandering (VROM, 1996) is aangekondigd dat er een verkenning zou worden uitgevoerd naar de mogelijkheden om in Nederland een reductie van de broeikasgasemissies met 1% a 2% per jaar te realiseren in de periode 2000-2020. Het ECN (Beeldman *et al*, 1998) heeft in opdracht van de directie Lucht en Energie van het Ministerie van VROM de mogelijkheden en kosten van het beleid geïnventariseerd om vergaande CO<sub>2</sub>-reductiedoelstellingen op de langere termijn (2020) te realiseren. Naast de effecten op de CO<sub>2</sub>-emissies wil de directie Lucht en Energie inzicht krijgen in de macro-economische effecten van de geïnventariseerde mogelijkheden en de effecten op de emissies van andere stoffen dan CO<sub>2</sub>. Het RIVM is gevraagd de door het ECN gepresenteerde mogelijkheden voor vergaande CO<sub>2</sub> reducties door te rekenen op hun overige milieueffecten en aan te geven waar mogelijkheden zijn om de inzet van backstoptechnologieën te optimaliseren. Tegelijkertijd beoordeelt het CPB de mogelijkheden op hun macro-economische effecten.

## 1.2. Onderzoeksmethodiek

Het ECN heeft de mogelijkheden en kosten voor vergaande CO<sub>2</sub>-reducties in kaart gebracht aan de hand van een tweetal beleidsvarianten (Sturing en Markt) die gebaseerd zijn op het Global Competition (GC) scenario uit de Lange termijn Verkenning (CPB, 1997). Deze varianten zijn opgesteld op basis van een aantal algemene uitgangspunten die door de opdrachtgever zijn geformuleerd. Uitgangspunt voor de berekeningen van het RIVM vormen de resultaten van de doorrekening van de twee beleidsvarianten door het ECN met het energieaanbodmodel SELPE aangevuld met informatie uit de conceptrapportage van het ECN. De doorrekening met SELPE levert een overzicht van de verdeling van de energieinzet per aanbod over de verschillende sectoren. Per aanbodproces is vervolgens een inventarisatie gemaakt van de beleidsinstrumenten en technische maatregelen gericht op de emissies van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, VOS en PM<sub>10</sub>. Hierbij is veelal gebruik gemaakt van informatie die is verzameld in het kader van de emissieberekeningen voor de vierde Milieuverkenning (RIVM, 1997a) en het NMP3 (RIVM, 1998a). Daar waar het gaat om nieuwe aanbodprocessen en technieken die niet in voorgaande verkenning zijn onderzocht is een (beperkte) literatuurstudie uitgevoerd.

### 1.3. Keuze voor scenario en beleidsvarianten

Bij de keuze voor het referentiescenario is gekozen voor een 'worst-case' benadering met moeilijke omstandigheden en strenge randvoorwaarden, omdat in een dergelijk scenario de knelpunten het sterkst naar voren komen. De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd bij de keuze van het referentiescenario en de beleidsvarianten (VROM, 1997a);

- Er wordt gestreefd naar een reductie van de broeikasgasemissies met 2% per jaar voor de periode 2000 tot 2020 ten opzichte van het in de Vervolgnota Klimaatverandering beoogde niveau in 2000. Dit komt neer op een reductie van 32% ten opzichte van het referentieniveau in het Kyoto protocol (emissieniveau van CO<sub>2</sub>, methaan, lachgas in 1990 en van de fluorverbindingen in 1995).
- Een relatief hoge economische groei (GC-scenario met een economische groei van 3,3% per jaar).
- Geen EU beleid op het gebied van klimaatverandering.
- Het beleid moet zo min mogelijk nadelige invloed hebben op de internationale concurrentieverhoudingen van Nederland.
- Het beleid wordt zo vormgegeven dat de emissiereducties op kosteneffectieve wijze kunnen worden genomen.
- Een gedeelte van de reductie van de broeikasgasemissies wordt bereikt door Joint Implementation, reductie van overige broeikasgassen en vastlegging van CO<sub>2</sub> door bosaanplant.
- De ingezette opties betreffen bestaande en reeds bekende technieken.

Deze uitgangspunten zijn uitgewerkt in een tweetal beleidsvarianten die gebaseerd zijn op het Global Competition (GC) scenario uit de Lange termijn Verkenning (CPB, 1997). In de sturingsvariant (*Sturing*) is een centrale rol weggelegd voor de overheid bij de aanpak van het klimaatprobleem. Belangrijkste instrumenten zijn subsidies en regelgeving ondersteund door een verdubbeling van de Regulerende Energiebelasting (REB). In de marktvariant (*Markt*) wordt het klimaatprobleem aangepakt doordat de overheid geschikte randvoorwaarden schept en de markt zijn werk kan doen. Centraal in deze beleidsvariant staat een systeem van verhandelbare CO<sub>2</sub>-emissiereductiecertificaten voor de 'exposed' sectoren (sectoren die blootgesteld zijn aan internationale concurrentie en als gevolg daarvan de extra kosten voor CO<sub>2</sub> reductie moeilijk kunnen afwentelen) gekoppeld aan een verviervoudiging van de huidige REB voor de 'sheltered' sectoren (sectoren die relatief weinig hinder ondervinden van internationale concurrentie zoals de huishoudens en de dienstensector).

#### 1.4. Energiebesparing en CO<sub>2</sub>-reductie in de beleidsvarianten.

Verkend wordt een reductie van de broeikasgassen met 2% per jaar. Voor de emissies in het jaar 2000 wordt uitgegaan van een emissie van 225 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten. Dit komt overeen met een stabilisatie van de broeikasgasemissies op het niveau 1990/1995<sup>1</sup>.

Uitgaande van een reductie van 2% per jaar vanaf 2000 is het doel van de klimaatverkenning een toegestane emissie van 150 Mton in 2020. Dit komt overeen met een reductie van de broeikasgassen van 32% ten opzichte van het referentieniveau volgens het Kyoto-protocol en 33% ten opzichte van het niveau in 1990. Tabel 1.1 geeft aan op welke wijze volgens het Kyoto-protocol de referentieëmissie moet worden bepaald. De referentieëmissie bedraagt 219 Mton CO<sub>2</sub>-eq. en is gebaseerd op de actuele emissie van CO<sub>2</sub>, methaan en lachgas in 1990 en van de fluorverbindingen in 1990.

Tabel 1.1 Referentieniveau van broeikasgasemissies volgens het Kyoto-protocol.

	Jaar	Emissie (Mton CO <sub>2</sub> -eq)
CO <sub>2</sub> <sup>1)</sup>	1990	161.4
Methaan	1990	27.1
Lachgas	1990	19.8
Fluorverbindingen	1995	10.6
TOTAAL	1990/1995	218.9

<sup>1)</sup>actuele emissies (niet temperatuur gecorrigeerd)

De geprognoseerde emissie voor 2020 bedraagt 286 Mton CO<sub>2</sub>-eq. in het GC-scenario<sup>2</sup>. Het beleidstekort bedraagt derhalve 136 Mton CO<sub>2</sub>-eq. Verondersteld is dat via reducties in het buitenland (Joint Implementation, Clean Development Mechanism, bosaanplant en trading) een beperkt deel - namelijk 10% van het referentieniveau: 23 Mton CO<sub>2</sub>-eq - wordt bereikt. Aan de hand van andere studies zijn de reductiemogelijkheden voor de overige broeikasgassen en vastlegging van CO<sub>2</sub> in bossen tezamen geschat op 18 Mton. Daarmee resteert een binnenlandse beleidsopgave voor CO<sub>2</sub>-reductie van 95 Mton (tabel 1.2).

Tabel 1.2 Broeikasgasemissies, doelstellingen en veronderstellingen voor de Lange Termijn Klimaatverkenningen.

	Mton CO <sub>2</sub> -eq.
Prognose emissies in GC-MV4 in 2020	286
Doel Klimaatverkenning 2020 <sup>1)</sup>	150
Beleidsopgave in 2020	-136
• reductie in het buitenland (JI, CDM, trading, bosaanplant)	-23
• overige reductie in het binnenland (methaan, lachgas, fluorverbindingen en bosaanplant)	-18
• CO <sub>2</sub> -reducties	-95

<sup>1</sup> Emissies CO<sub>2</sub> (gecorrigeerd voor temperatuur), methaan en lachgas voor 1990 en voor de fluorverbindingen voor 1995.

<sup>2</sup> Deze emissies zijn niet gecorrigeerd voor de effecten van het CO<sub>2</sub>-reductieplan en de doorwerking van het NMP3 beleid.

<sup>1)</sup> -2% p.j. van 2000 tot 2010 ten opzichte van stabilisatie in 2000 t.o.v. 1990/1995. Dit komt neer op -32% t.o.v. het Kyoto referentieniveau

De omvang van de benodigde CO<sub>2</sub>-reducties is zodanig dat in deze studie naast energiebesparingsmaatregelen, efficiencyverbeteringen bij aanbodprocessen en duurzame bronnen wordt ingezet op backstoptechnologieën als CO<sub>2</sub>-opslag en import van biomassa.

### **1.5. Afbakening van deze studie**

Het inzetten van beleid op bovengenoemde reductievelden heeft naast effecten op de omvang van de CO<sub>2</sub> emissies eveneens effect op een groot aantal andere milieuthema's. Daarom heeft VROM het RIVM verzocht de twee beleidsvarianten integraal door te rekenen op andere milieueffecten dan CO<sub>2</sub>. Het aantal aspecten waarop de voorgestelde opties betrekking hebben is breed en divers: van het gebruik van bestrijdingsmiddelen bij de verbouw van biomassa tot de risico's bij de opslag van CO<sub>2</sub> in de ondergrond. Vanwege de beperkt beschikbare tijd is op verzoek van VROM de doorrekening beperkt tot de beoordeling van de twee beleidsvarianten op hun mogelijke bijdrage in veranderingen van de lokale emissies van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en fijn stof en is een indicatie gegeven van de mogelijke veranderingen in de emissies van PAK's, VOS, koolmonoxyde (CO) en dioxines. De emissies van deze stoffen vormen met name een indicatie voor de mate van verzuring en veranderingen in de luchtkwaliteit. Tevens is het RIVM gevraagd aan te geven waar mogelijkheden liggen om met de ingezette backstoptechnologieën, naast vergaande CO<sub>2</sub> -reducties, de emissies van bovengenoemde stoffen te verminderen en een indicatie te geven van de kosten die hiermee gemoeid zijn.

### **1.6. Leeswijzer**

Hoofdstuk 2 beschrijft de beleidsveronderstellingen en de gehanteerde methodiek bij het in kaart brengen van de milieueffecten van de beleidsvarianten. Hoofdstuk 3 beschrijft de emissies in het referentiescenario. Vervolgens gaat hoofdstuk 4 dieper in op mogelijke veranderingen in de milieudruk bij de inzet van backstoptechnologieën. Hoofdstuk 5 geeft de resultaten van de doorrekening van de sturings- en marktvariant en schetst mogelijkheden om met de ingezette backstoptechnologieën de niet-CO<sub>2</sub>-emissies verder te reduceren. Tenslotte bevat hoofdstuk 6 conclusies en aanbevelingen.



## 2. Methodiek en beleidsveronderstellingen

### 2.1. Inleiding

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de veronderstellingen die zijn gehanteerd ten aanzien van de beleidsinstrumenten die voor de stoffen NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> en VOS zijn meegenomen bij het doorrekenen van de beleidsvarianten. Verder volgt een beschrijving van de gehanteerde methodiek bij het in kaart brengen van de milieueffecten van de twee beleidsvarianten.

### 2.2. Beleidsveronderstellingen

Deze studie maakt een onderscheidt naar drie typen beleid:

- **GC-MV4:** dit betreft de vastgestelde beleidsinstrumenten die in het referentiescenario zijn meegenomen bij de doorrekening in het kader van de Milieuverkenning 4 (RIVM, 1997a). Het vastgesteld beleid in de Milieuverkenning 4 betreft alle beleidsmaatregelen die voor 1 januari 1997 door de tweede Kamer zijn aangenomen.
- **NMP3:** dit betreft *concrete* beleidsinstrumenten waartoe het kabinet in het Nationaal Milieubeleidsplan 3 (NMP3) heeft besloten (VROM, 1998). Voorwaarde is dat de voornemens voldoende zijn geïnstrumenteerd en de financiering ervan is geregeld.
- **NMP3-extra:** dit betreft zowel beleidsinstrumenten die in het NMP3 zijn opgenomen maar waarvoor nog overeenstemming nodig is in internationaal verband, als ook opties voor verdergaande beleidsmaatregelen die in het NMP3 expliciet zijn genoemd zonder dat het kabinet daarover in het NMP3 reeds een besluit heeft genomen.

De onderverdeling naar NMP3 en NMP3-extra is conform de uitgangspunten die door het RIVM zijn gehanteerd bij de doorrekening van het NMP3 (RIVM, 1998a). Deze studie berekent de effecten van de sturings- en marktvariant tegen de achtergrond van *een referentiescenario waarin zowel de effecten van het beleid uit de MV4 als concrete beleidsinstrumenten uit het NMP3* zijn meegenomen. Daarnaast is een berekening gemaakt van de mogelijk additionele effecten van het NMP3-extra beleid zowel tegen de achtergrond van het referentiescenario (MV4+NMP3) als tegen de achtergrond van het beleid in de sturings- en marktvariant. Dit is gedaan om te kunnen beoordelen wat de mogelijke bijdrage is van het CO<sub>2</sub>-beleid in de sturings- en de marktvariant aan de beoogde emissiereductie (voor met name NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub>) van het NMP3-extra beleid.

Deze studie doet geen uitspraken over mogelijke verbeteringen of verslechtingen van de milieukwaliteit door veranderingen in lokale emissieniveau's. Om dergelijke uitspraken te kunnen doen moet rekening worden gehouden met beleid in de ons omringende landen ten

aan zien van de emissies van  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ , fijn stof en VOS. Circa 47% van de zure depositie en 60-80% van de fijn stof concentratie in Nederland is namelijk afkomstig uit het buitenland (RIVM, 1996). Zo'n analyse valt buiten het bereikt van deze studie.

### 2.3. Methodiek

Bij het in kaart brengen van de effecten van vergaande  $\text{CO}_2$  -reducties op de emissies van  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ , VOS en fijn stof is de analyse opgebouwd uit de volgende stappen:

**Stap 1:** Berekening emissiefactoren per doelgroep voor het referentiescenario (GC-MV4+NMP3). Op basis van het beleid uit de MV4 en het NMP3 zijn emissiereductiemaatregelen per energieaanbodproces geïnventariseerd. Daarmee zijn de emissiefactoren in 2010 en 2020 per aanbodproces ( $\text{Em-fac}_{\text{REF}}$ ) berekend.

**Stap 2:** Berekening effecten NMP3-extra tegen de achtergrond van het referentiescenario (GC-MV4+NMP3). Op basis van het NMP3-extra beleid zijn nieuwe maatregelen geselecteerd en is een tweede set van emissiefactoren per aanbodproces voor 2010 en 2020 berekend ( $\text{Em-fac}_{\text{NMP3-EXTRA}}$ ).

Doorrekening van de stappen 1 en 2 levert de emissies in het referentiescenario en bij inzet van het NMP3-extra beleid. De berekeningen zijn beschreven in hoofdstuk 3.

**Stap 3:** Berekening van de effecten van het  $\text{CO}_2$ -beleid in de sturings- en marktvariant op de emissies van  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  en fijn stof ten opzichte van het referentiescenario. Bij het in kaart brengen van de effecten van de twee beleidsvarianten op de emissies van  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ , fijn stof en VOS is in de analyse een onderscheid gemaakt naar de effecten van:

- a) energiebesparingen bij de eindverbruikerssectoren;
- b) inzet van duurzame energiebronnen (exclusief biomassa);
- c) verschuivingen in de inzet van energieaanbodprocessen en veranderingen in het rendement van energieaanbodprocessen.

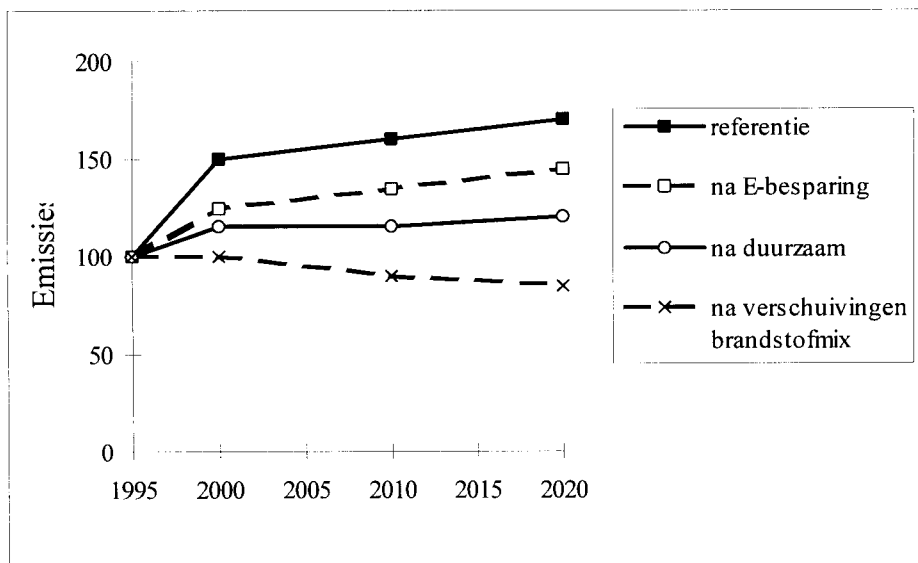
Ad a) Hierbij wordt gekeken in hoeverre de emissies dalen onder invloed van energiebesparingen bij de eindverbruikerssectoren zonder rekening te houden met verbeteringen van het rendement bij de aanbodprocessen of verschuivingen in het energieaanbod. Hiervoor wordt een gemiddelde emissiefactor per doelgroep voor het referentiescenario (GC-MV4+NMP3) berekend. Op basis van de verdeling van het energiegebruik per doelgroep per energieaanbodproces uit de Milieuverkenning 4 zijn de emissiefactoren per doelgroep berekend ( $\text{Em-fac}_{\text{doelgr-/REF}}$ ) voor het referentiescenario.

Emissie =  $Em\text{-}fac_{\text{doelgr-/REF}}$  \* energievraag per eindverbruikerssector (variant)

Ad b) Hierbij wordt het effect berekend op de emissies van genoemde stoffen door de inzet van duurzame energiebronnen (wind, zon etc.). De effecten van de inzet van biomassa zijn onder ad 3) meegenomen.

Ad c) Hierbij wordt het effect berekend van verschuivingen in het energieaanbod en rendementsverbeteringen bij de energieaanbodprocessen op de emissies van genoemde stoffen.

Na stap 3 is het emissieniveau voor de beleidsvarianten berekend. Figuur 2.1 illustreert de wijze waarop de analyse is opgebouwd.



Figuur 2.1 Schematische weergave van het emissieverloop voor de periode 1995-2020 met onderscheid naar de effecten van energiebesparingen, inzet duurzaam bronnen en verschuivingen in het energieaanbod.

**Stap 4:** Berekening effecten NMP3-extra tegen de achtergrond van het beleid in de sturings- en marktvariant. Vervolgens is bekeken wat het effect is op de emissies van  $NO_x$ ,  $SO_2$ , fijn stof en VOS voor de twee beleidsvarianten wanneer wordt verondersteld dat NMP3-extra wordt ingezet. De emissies worden berekend met de emissiefactoren berekend onder stap 2 ( $Em\text{-}fac_{\text{NMP3-EXTRA}}$ ) en de omvangen in energiegebruik uit stap 3.

**Stap 5:** Mogelijkheden voor verdergaande reductie van de niet- $CO_2$ -emissies door optimalisatie van de inzet van backstopstechnologiën. Deze stap schets mogelijkheden om tegelijkertijd met de reductie van de  $CO_2$  emissies de emissies van  $NO_x$  en  $SO_2$  ten opzichte van stap 4 verder te reduceren door optimalisatie van de inzet van de backstops.

**Stap 6:** Berekening effecten van de beleidsvarianten op de emissies van VOS, CO, dioxines en PAK's. Voor deze stoffen is geen integrale doorrekening gemaakt maar, voor zover van toepassing, zijn deelanalyses uitgevoerd en beschreven in hoofdstuk 3 en 5.

De berekeningen voor de stappen 1 en 2 staan beschreven in hoofdstuk 3 en voor de stappen 3 tot en met 6 in hoofdstuk 5. Tabel 2.1 geeft een overzicht van de beleidsvarianten die in deze studie zijn doorgerekend en de hoofdstukken waar deze staan beschreven.

*Tabel 2.1 Overzicht van beleidsvarianten die in deze studie zijn doorgerekend.*

	Hoofdstuk 3	Hoofdstuk 5	beleid
Ref	X		GC-MV4.+ NMP3
Ref+NMP3-extra	X		GC-MV4. + NMP3+NMP3-extra
Sturing		X	GC-MV4. + NMP3
Markt		X	GC-MV4. + NMP3
Sturing+NMP3-extra		X	GC-MV4. + NMP3 + NMP3-extra
Markt+NMP3-extra		X	GC-MV4. + NMP3 + NMP3-extra
Sturing+opt.		X	GC-MV4. + NMP3 + NMP3-extra + optimalisatie
Markt+opt.		X	GC-MV4. + NMP3 + NMP3-extra + optimalisatie

### 3. Emissies in het referentiescenario en bij NMP3-extra.

#### 3.1. Inleiding

In de vierde Milieuverkenning zijn een drietal lange termijn scenario's doorgerekend. Deze lange termijn scenario's zijn tot stand gekomen door samenwerking van een groot aantal instituten en staan uitvoerig beschreven in (CPB, 1997). Zoals reeds vermeld in hoofdstuk 1 is voor het doorrekenen van vergaande reductiedoelstellingen voor CO<sub>2</sub> gekozen voor het GC scenario, omdat bij een dergelijke hoge economische groei de knelpunten het sterkste naar voren komen. In tabel 3.1 zijn de belangrijkste karakteristieken van dit scenario samengevat.

Tabel 3.1: Enkele karakteristieken van het Global Competition scenario.

		1974-1995	1995-2020
Wereldhandel <sup>1</sup>	% per jaar	4,6	7,4
Volume BBP Nederland	% per jaar	2,2	3,3
Idem per hoofd bevolking	% per jaar	(1,5)	(2,9)
		1995	2020
Olieprijs	\$ per vat	17	26
Volume particulier cons. per hoofd	index	100	199
Bevolking .	mln	15,5	16,9
Aantal huishoudens	mln	6,5	8,1
Woningvoorraad	mln	6,2	8,0
Vrachtvervoer: tonkilometers	index	100	222
Personenvervoer: reizigerkilometers	index	100	119

<sup>1</sup> Voor de periode 2000-2020.

Bron: CPB (1997)

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de emissies van de voor deze studie relevante stoffen voor het referentiescenario (MV4+NMP3), met een aanduiding van de belangrijkste bronnen en het veronderstelde beleid. Verder is aangegeven wat de effecten zijn van het NMP3-extra beleid tegen de achtergrond van het referentiescenario.

#### 3.2. Energie- en CO<sub>2</sub>-beleid in het referentiescenario en bij NMP3-extra.

In (RIVM, 1997) zijn het referentiescenario en de veronderstellingen ten aanzien van het energiegebruik in het Global Competition (GC) scenario uitgebreid beschreven.

Ontwikkelingen in de scenario's leiden tot een zodanig niveau van reële energieprijzen voor de eindverbruikers dat de prikkel op een vermindering van het energiegebruik gering is.

Gegeven deze gematigde ontwikkeling van de energieprijzen zijn de ontwikkeling van de technologie en het ingezette beleid de belangrijkste determinant achter energiebesparing. De

belangrijkste energiebesparingsinstrumenten in **GC-MV4** zijn de reeds bestaande kleinverbruikersheffing, de aanscherping van de EnergiePrestatieNorm (EPN) en de Meerjarenafspraken (MJA's). Dit beleid leidt in het referentiescenario tot een energiebesparing van 1,3% per jaar in de periode 1995-2020. In het energieaanbod zijn in het referentiescenario geen al te grote veranderingen verondersteld ten opzichte van basisjaar 1995. De energievoorziening is tot 2020 nog grotendeels afhankelijk van de inzet van fossiele energiedragers. De bijdrage van biomassa en duurzame energiebronnen aan de energievoorziening blijft in het referentiescenario beperkt tot 4,6% van het totale energiegebruik in 2020. Onder invloed van prijsontwikkelingen van de energiedragers en liberalisatie van de Europese energiemarkten gebruiken de meeste nieuwe centrales aardgas als brandstof. Het opgestelde warmte/kracht-vermogen stijgt met een factor 4, met als belangrijkste groeisectoren de organische basischemie en de raffinaderijen.

Het **NMP3-beleid** gericht op de reductie van de broeikasgasemissies leidt tot een vermindering van de beleidsopgave in 2010 en 2020 in het GC-scenario met circa 12 Mton (inclusief actualisatie voor de eerste fase van het CO<sub>2</sub>-reductieplan van circa 3 Mton) (RIVM, 1998b). Het belangrijkste beleidsinstrument betreft de verhoging van de energiebelastingen met 3,4 miljard gulden. Tabel 3.2 geeft een overzicht van de CO<sub>2</sub>-emissies zonder en met NMP3-beleid.

Tabel 3.2 CO<sub>2</sub>-emissies in het GC-MV4 scenario en voor het referentiescenario (GC-MV4+NMP3).

	1990	1995	2010		2020	
			GC-MV4	Ref	GC-MV4	Ref
Consumenten	22	22	23	19	23	19
Verkeer en vervoer	29	32	38	38	47	47
Landbouw	9	9	14	14	16	16
Industrie	44	44	47	44	55	52
HDO	9	10	12	10	15	13
Bouw	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Energiebedrijven	41	46	53	51	51	49
Raffinaderijen	10	12	17	17	20	20
Overige	1	3	3	3	3	3
Afvalverwijdering	2	1	2	1	2	1
TOTAAL	168	180	210	198	233	221

Het **NMP3-extra** beleid zoals doorgerekend in (RIVM, 1998a) leidt tot een daling van de CO<sub>2</sub>-emissies met circa 20 Mton in 2010. Dit komt overeen met een reductie van circa 10% ten opzichte van het referentiescenario (GC-MV4+NMP3) in deze studie. De belangrijkste beleidsmaatregelen betreffen: een verbreding van de meerjarenafspraken (MJA's) bij de industrie, accijnsverhogingen van 50 ct/liter op benzine en diesel en een CO<sub>2</sub>-convenant met de elektriciteitsproductiesector. In dit hoofdstuk is bij de berekening van de effecten van het

NMP3-extra beleid op de emissies van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> en VOS eveneens rekening gehouden met de doorwerking van dit beleid.

### 3.3. NO<sub>x</sub>-emissies

NO<sub>x</sub>-emissies zijn van invloed op verzuring en de mate van luchtverontreiniging. NO<sub>x</sub> speelt een rol bij de vorming van ozon, dat een indicator is voor de mate van grootschalige luchtverontreiniging. Verder vormt de concentratie van NO<sub>x</sub> in steden een indicatie voor de stedelijke luchtkwaliteit. Veruit het grootste deel van de NO<sub>x</sub>-emissies komt vrij bij de verbranding van energiedragers (94% van totale emissies in 1995, waarvan 2/3 bij verkeer). De overige emissies komen vrij als procesemissies bij de industrie en de afvalverbrandingsinstallaties. Deze studie kijkt alleen naar veranderingen in het niveau van de *verbrandingsemissies*. Hierbij kan ten aanzien van de inzet van beleidsinstrumenten een onderscheid gemaakt worden naar de *mobiele bronnen* (verkeer en vervoer) en de *stationaire bronnen* (overige doelgroepen).

Het **GC-MV4**-beleid ter bestrijding van de NO<sub>x</sub>-emissies bij de stationaire bronnen bestaat uit:

- type keuringseisen voor nieuwe CV installaties;
- aanscherpingen BEES A en B tot en met laatste wijziging in 1996;

en voor de mobiele bronnen:

- aanscherping emissienormering nieuwe personenauto's per 1-10-1996 en omstreeks 2000;
- aanscherping emissienormering nieuwe bestelauto's per 1-10-1997 en omstreeks 2000;
- aanscherping emissienormering voor nieuwe vrachtwagens, trekkers en bussen per 1-10-1996 ('Euro2') en omstreeks 2001 ('Euro3');
- aanscherping emissienormering voor motoren (per 1-10-1997) en bromfietsen (per 1-10-1997 en per 1-10-1999);
- verlaging zwavelgehalte: benzine voor wegverkeer tot 0,02 gew.% per 1-10-1999 (deze maatregel heeft een indirecte invloed op de NO<sub>x</sub>-emissie omdat het rendement van katalysatoren door deze maatregel verbetert);
- aanscherping emissienormering voor nieuwe typen vliegtuigmotoren per 1-10-1996;
- emissienormering voor mobiele werktuigen en tractoren omstreeks 1997.

Het **NMP3**-beleid bij de stationaire bronnen:

- aanscherping BEES-normen;
- aanscherping normen voor Cv-installaties;
- invoering van een systeem van kostenverevening voor stationaire bronnen bij de grote industrieën, raffinaderijen en de elektriciteitscentrales;

en voor de mobiele bronnen:

- stimulering van de aanschaf van 'Euro3'-vrachtwagens, -trekkers en -bussen in de periode voorafgaand aan het moment van wettelijke invoering (1999-2001);
- stimulering van openbaar-vervoerbussen en nutsvoertuigen op LPG in de periode 1998-2002.

In het NMP3 is voor de doelgroep verkeer en vervoer onderstaand **NMP3-extra** beleid geformuleerd:

- aanscherpen van de emissienormen voor motoren in vrachtwagens en bussen (Euro4).
- aanscherpen van de emissienormen voor de binnenvaart (Euro3)
- fiscaal stimuleren aanschaf "schone" auto's.
- strengere kwaliteitseisen brandstoffen
- verschuiven brandstofmix

Voor de stationaire bronnen zijn in het NMP3 geen beleidsinstrumenten voor verdergaand NO<sub>x</sub>-beleid opgenomen. Het energiebesparingsbeleid evenals beleid gericht op de omschakeling van kolen naar aardgas in elektriciteitscentrales en het vervangen van stookolie door aardgas in raffinaderijen hebben echter wel effect op de hoogte van de NO<sub>x</sub>-emissies.

Tabel 3.3 geeft een overzicht van de NO<sub>x</sub>-emissies per doelgroep voor het referentiescenario (Ref) dus inclusief de effecten van het MV4-referentiebeleid en het NMP3-beleid. Tevens zijn de emissies gegeven bij doorwerking van het NMP3-extra beleid. Het NMP3 beleid zorgt voor een daling van circa 60 % van de NO<sub>x</sub>-emissies bij de *stationaire* bronnen ten opzichte van het beleid uit de MV4. Het systeem van kostenverevening bij de raffinaderijen, elektriciteitscentrales en de industrie is erop gericht de emissies zodanig te reduceren dat de afgesproken doelstelling voor 2005<sup>1</sup> wordt bereikt. Invoering van dit systeem maakt het noodzakelijk om op grote schaal low-NO<sub>x</sub> branders, Selectieve Catalytische Reductie (SCR) en 3-wegkatalysatoren bij gasmotoren toe te passen. Voor bedrijven die niet onder het systeem van kostenverevening vallen geldt de aanscherping van de BEES-normen. Inzet van deze beleidsinstrumenten heeft tot gevolg dat bij een groot aantal stationaire bronnen het technisch maximaal haalbare reductiepotentieel voor NO<sub>x</sub> wordt bereikt voor wat betreft de bewezen end-of-pipe technieken.

---

<sup>1</sup> Voor de berekeningen in het kader van het Milieurendement van het NMP3 is gerekend tegen de achtergrond van het EC scenario voor 2010. Voor deze studie zijn tegen de achtergrond van het GC-scenario dezelfde penetratiegraden van de gehanteerde technieken verondersteld. De effecten op de Nox-emissies ten gevolge van de energiebesparingsmaatregelen uit het NMP3 zijn gegeven de zeer geringe effecten niet meegenomen.



Tabel 3.3 NO<sub>x</sub> emissies in het referentiescenario (GC-MV4+NMP3) en voor NMP3-extra voor de periode 1995-2020.

	1985	1990	1995	2010		2020	
				Ref.	Ref+NMP3-extra.	Ref.	Ref+NMP3-extra.
miljoen kg							
Consumenten	26	22	23	6	6	6	6
Verkeer en vervoer	343	353	314	224	171	286	182
Landbouw	6	9	10	10	10	11	11
Industrie	85	79	63	34	32	36	34
HDO	14	12	8	3	3	2	2
Energiebedrijven	88	80	58	16	16	24	24
Raffinaderijen	20	20	18	7	6	8	7
Overige	6	6	4	1	1	1	1
TOTAAL	588	581	498	301	244	374	266

Het **NMP3-extra** beleid zorgt voor een daling van de NO<sub>x</sub>-emissies met 18% in 2010 en 29% in 2020 ten opzichte van het referentiescenario. Het overgrote deel (95%) van deze reductie wordt bereikt bij verkeer en vervoer met name door de aanscherping van de emissienormen voor vrachtauto's, bussen en binnenvaartschepen.

### 3.4. SO<sub>2</sub>-emissies

De emissies van SO<sub>2</sub> zijn met name van invloed op de omvang van de verzuring. De belangrijkste bronnen voor de emissies van SO<sub>2</sub> waren in 1995 de raffinaderijen gevolgd door de doelgroepen verkeer en de industrie. Ondanks een daling van de emissies blijven deze doelgroepen ook in 2020 de belangrijkste emittenten. Circa 70% van de SO<sub>2</sub> emissies zijn het gevolg van het verbranden van zwavelhoudende brandstoffen. De overige emissies komen vrij bij industriële productieprocessen en als procesemissie bij de raffinaderijen.

Het **MV4**-beleid ter bestrijding van de SO<sub>2</sub>-emissies bij de stationaire bronnen bestaat uit:

- BEES-normen voor verbrandingsinstallaties;
- EG-richtlijn over verlaging van het zwavelgehalte van dieselolie, invoering oktober 1996;
- aanpassing provinciale vergunningen SO<sub>2</sub> -emissies bij de industrie;
- afspraak met de raffinaderijen voor een emissieplafond van 36 kton in 2000.

en voor de mobiele bronnen

- verlaging zwavelgehalte: diesel voor wegverkeer tot 0,05 gew.% per 1-10-1996 en een verdere verlaging tot 0,035 gew.% per 1-10-1999; benzine voor wegverkeer tot 0,02 gew.% per 1-10-1999; diesel voor niet-wegverkeer tot 0,1 gew.% per 1-10-1999.

In het NMP3 zijn geen concrete beleidsinstrumenten opgenomen die van invloed zijn op het verloop van de SO<sub>2</sub>-emissies. Het **NMP3-extra** dat in het NMP3 is opgenomen bestaat uit:

- raffinaderijen: vervangen stookolie voor ondervuring door aardgas;

- verkeer en vervoer: verlagen zwavelgehalte stookolie voor zeeschepen;
- verkeer en vervoer: strengere kwaliteitseisen aan brandstoffen.

Daarnaast heeft het CO<sub>2</sub>-beleid gericht op de omschakeling van kolen naar aardgas effect op de emissies van SO<sub>2</sub>.

In tabel 3.4 zijn de emissies van SO<sub>2</sub> voor de verschillende doelgroepen voor het referentiescenario en bij NMP3-extra opgenomen. Ten gevolge van het **NMP3-extra** beleid dalen de SO<sub>2</sub> emissies met 38% in 2010 en 23% in 2020. In 2010 wordt de grootste reductie bereikt door het overschakelen van stookolie naar aardgas bij de raffinaderijen. Doordat het gebruik van stookolie tussen 2010 en 2020 in het referentiescenario daalt is de reductie in 2020 gelijk aan 4 kton. Verder zorgt de verlaging van het zwavelgehalte van stookolie voor zeeschepen voor een daling van de emissies in 2020 met circa 11 kton.

Tabel 3.4 SO<sub>2</sub>-emissies voor het referentiescenario (GC-MV4+NMP3) en bij NMP3-extra voor de periode 1985-2020.

	1985	1990	1995	2010		2020	
				Ref	Ref+NMP3-extra	Ref	Ref+NMP3-extra
miljoen kg							
Verkeer en vervoer	26	29	31	28	15	34	18
Industrie	68	52	32	26	26	28	28
Energiebedrijven <sup>1)</sup>	67	45	17	10	2	3	0
Raffinaderijen	87	67	61	29	14	31	27
Afvalverwijdering	3	5	1	1	1	1	1
Overige	7	4	5	1	1	2	2
TOTAAL	258	202	147	95	59	99	76

<sup>1)</sup> Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van de meest recente informatie uit de voortgangsrapportage verzuring (Sep, 1997). Dit betekent dat ten opzichte van de berekeningen in de MV4 de emissiefactoren voor kolencentrales zijn verlaagd naar 45 gr SO<sub>2</sub>/GJ voor nieuwe kolencentrales en 50 gr SO<sub>2</sub>/GJ voor oude kolencentrales, een reductie met circa 35% ten opzichte van het referentiescenario uit de MV4.

### 3.5. Fijn stof (PM<sub>10</sub>)-emissies

De concentratie van fijn stof (PM<sub>10</sub>)<sup>1</sup> vormt een indicator voor grootschalige deeltjesvormige luchtverontreiniging. Emissies van fijn stof (PM<sub>10</sub>) komen in Nederland met name vrij bij de doelgroepen verkeer en industrie (66% van de emissies in 1995). Ook in de toekomst blijft de doelgroep verkeer de belangrijkste bron van fijn stof emissies die het gevolg zijn van het gebruik van fossiele energiedragers. Andere belangrijke bronnen zijn de industrie en de consumenten. De emissies van fijn stof bij de industrie komen voor circa 95% (VROM,

<sup>1</sup> PM<sub>10</sub> is grofweg gezegd gedefinieerd als de totale massa van alle deeltjes kleiner dan 10 µm. De vraag of PM<sub>10</sub> een goede indicator is voor de schadelijkheid van fijn stof, staat momenteel volop ter discussie. In Milieuverkenningen en Milieubalansen zijn echter tot nu toe alleen prognoses opgenomen over de emissies van PM<sub>10</sub> omdat alleen PM<sub>10</sub> in het kader van de Emissieregistratie (VROM, 1997b) wordt gemonitord en dit de basis vormt voor het maken van prognoses.

1997b) vrij als procesemissies en worden dus vrijwel niet beïnvloed door veranderingen in het gebruik van fossiele energiedragers.

Het **MV4**-beleid ten aanzien van fijn stof is:

- industrie: maatregelen uit de BedrijfsMilieuPlannen (BMP's).
- de maatregelen die voor de doelgroep verkeer zijn genoemd bij NO<sub>x</sub> (paragraaf 3.3.1) en betrekking hebben op de emissies van nieuwe voertuigen hebben over het algemeen ook invloed op PM<sub>10</sub> omdat beide emissiecomponenten worden gereguleerd door de driewegkatalysator.
- de maatregelen die voor de doelgroep verkeer zijn genoemd bij SO<sub>2</sub> (paragraaf 3.3.2) en betrekking hebben op de verlaging van het zwavelgehalte van brandstoffen hebben ook invloed op de emissies van PM<sub>10</sub>. PM<sub>10</sub> in het uitlaatgas bestaat namelijk gedeeltelijk uit zwavelhoudende deeltjes.

In het NMP3 zijn geen concrete beleidsinstrumenten opgenomen om de fijn stof emissies verder te reduceren. Voor verkeer geldt dat de beleidsinstrumenten genoemd in de paragraaf over de NO<sub>x</sub> -emissies wel degelijk lokaal invloed hebben op de emissies van fijn stof (vooral beleid gericht op de vervanging van diesel door LPG); op landelijk niveau zijn de emissiereducties echter verwaarloosbaar.

In het NMP3 is geen extra beleid geformuleerd ten aanzien van de fijn stof emissies. De reducties liften echter gedeeltelijk mee met de maatregelen die worden uitgelokt met het NMP3-extra beleid gericht op de emissies van SO<sub>2</sub>.

In tabel 3.5 zijn de emissies van fijn stof voor de verschillende doelgroepen in het referentiescenario en bij NMP3-extra opgenomen. Ten gevolge van het NMP3-extra beleid dalen de emissies in 2010 met 15% en in 2020 met circa 11%.

Tabel 3.5 PM<sub>10</sub>-emissies in het referentiescenario (GC-MV4+NMP3) en bij NMP3-extra voor de periode 1985-2020.

	1985	1990	1995	2010		2020	
				Ref	Ref+NMP3-extra	Ref	Ref+NMP3-extra
miljoen kg							
Consumenten	9	10	10	8	8	8	8
Verkeer en vervoer	25	20	18	13	10	16	13
Industrie	28	26	14	10	10	10	10
Energiebedrijven	2	2	1	0,6	0	0,3	0
Raffinaderijen	5	7	5	2	0	2	2
Overige	3	3	1	0,3	0,3	0,3	0
TOTAAL	72	67	48	32	28	36	33

### 3.6. VOS<sup>1</sup>, PAK-, CO- en dioxine-emissies.

De emissies van VOS zijn samen met NO<sub>x</sub> en koolmonoxyde verantwoordelijk voor de vorming van ozon op leefniveau en daarmee van invloed op grootschalige luchtverontreiniging. De twee belangrijkste oorzaken van VOS-emissies zijn verdamping van organische stoffen en onvolledige verbranding van energiedragers. Circa 50% van de VOS emissies in Nederland (Spakman *et al*, 1998b) komt vrij bij verbrandingsprocessen. Van deze 50% is circa 90% afkomstig van de mobiele bronnen (verkeer en vervoer). Voor de stationaire bronnen is daarom in deze studie verder niet gekeken naar de effecten van veranderingen in het gebruik van fossiele energiedragers op de emissies van VOS. Voor de *mobiele bronnen* is wel gekeken naar de effecten van de twee beleidsvarianten op de emissies van VOS. Het beleid voor VOS is gericht op de emissienormering van nieuwe voertuigen (zie verder instrumenten bij NO<sub>x</sub>). In tabel 3.6 zijn de emissies in het referentiescenario en bij NMP3-extra opgenomen. Ten gevolge van het NMP3 -extra beleid dalen de emissies bij de doelgroep verkeer zowel in 2010 als 2020 met circa 20%. De totale emissies dalen met 4% in 2010 en 6% in 2020.

Tabel 3.6 VOS-emissies in 1995, 2010 en 2020 voor het referentiescenario (GC-MV4+NMP3) en bij NMP3-extra voor de periode 1995-2020.

	1995	2010		2020	
		Ref	Ref+NMP3-extra	Ref	Ref+NMP3-extra
miljoen kg					
Overig	209	176	179	202	202
Verkeer en vervoer	153	71	57	80	62
TOTAAL	362	247	236	282	264

De belangrijkste bronnen van *PAK-emissies*<sup>2</sup> zijn de doelgroepen verkeer en vervoer, industrie en consumenten. De emissies van *PAK's* zijn voor de doelgroep verkeer gekoppeld aan de emissies van VOS. Een reductie van de VOS emissies betekent tegelijkertijd een reductie van de PAK-emissies. Bij de doelgroep industrie bestaan de PAK-emissies voor meer dan 90% uit procesemissies en worden dus vrijwel niet beïnvloed door veranderingen in het gebruik van fossiele energiedragers. Bij de doelgroep consumenten is een groot deel van de PAK-emissies het gevolg van de verbranding van hout in open haarden (in 1996 99% van de Benzo(a)pyreen emissies en 55% van de fluorantheen-emissies voor deze doelgroep (RIVM, 1997b)). Omdat in de twee beleidsvarianten geen veranderingen optreden in het gebruik van hout bij de doelgroep consumenten ten opzichte van het referentiescenario zal hier verder geen aandacht aan worden besteed. In de twee beleidsvarianten wordt hout wel in toenemende mate ingezet voor ondervuring in de industrie. In de literatuur zijn tot nu toe geen aanwijzingen gevonden

<sup>1</sup> wanneer hier gesproken wordt over VOS dan worden de Niet Methaan-VOS-emissies bedoeld.

<sup>2</sup> In het kader van de Milieuverkenningen en Milieubalansen is als indicator voor de emissies van PAK's de emissies van Benzoapyreen (BaP) en Fluorantheen gebruikt.

dat rekening moet worden gehouden met de toename van PAK-emissies bij gebruik van biomassa voor grote vuurhaarden. In deze studie is daarom verder geen aandacht besteedt aan de emissies van PAK's.

De emissies van *koolmonoxyde* (CO) zijn grotendeels gekoppeld aan de emissies van fijn stof. In de beleidsvarianten is daarom voor CO geen aparte berekening uitgevoerd.

De emissie van *dioxines* spelen bij de verbranding van fossiele energiedragers geen grote rol. Verder blijkt uit (Eggels, 1997) dat bij de verbranding van schone biomassa geen dioxines worden gevormd. In de berekeningen is daarom verder geen rekening gehouden met de emissies van dioxines.

### 3.7. Conclusies

Tabel 3.6 geeft de veranderingen in het emissieniveau in 2010 en 2020 bij de inzet van het NMP3-extra beleid ten opzichte van het referentiescenario. Ten gevolge van het NMP3-extra beleid dalen de emissies van CO<sub>2</sub> met circa 10% ten opzichte van het referentiescenario. De emissiereductie van NO<sub>x</sub> wordt met name bereikt doordat, onder invloed van de aanscherping van de emissienormen voor vrachtwagens en bussen, voertuigen worden uitgerust met DeNO<sub>x</sub>-katalysatoren. De emissiereductie bij SO<sub>2</sub> is met name het gevolg van de overschakeling van brandstoffen met een relatief hoog zwavelgehalte naar brandstoffen met een lager zwavelgehalte of geheel zwavelvrije brandstoffen.

*Tabel 3.7 Daling van de emissies bij NMP3-extra ten opzichte van het referentiescenario (GC-MV4+NMP3) in 2010 en 2020.*

% daling t.o.v. Ref	2010	2020
	NMP3-extra	NMP3-extra
CO <sub>2</sub>	-10%	-10%
NO <sub>x</sub>	-18%	-29%
SO <sub>2</sub>	-38%	-23%
PM <sub>10</sub>	-13%	-8%
VOS	-4%	-6%

## 4. Backstopstechnologieën

### 4.1. Inleiding

In de twee beleidsvarianten is berekend dat 60-70% van de CO<sub>2</sub>-reductie bereikt wordt door de inzet van backstopstechnologieën. Met backstopstechnologieën worden opties bedoeld die een groot potentieel hebben tegen een vast bedrag per vermeden ton CO<sub>2</sub>. Backstopstechnologieën die worden beschouwd zijn de inzet van geïmporteerde biomassa en de verwijdering en opslag van CO<sub>2</sub>. De veronderstelde ontwikkelingen in het referentiescenario leiden ertoe dat backstopstechnologieën nauwelijks worden ingezet. Dit hoofdstuk gaat daarom allereerst in op de kentallen en veronderstellingen die zijn gehanteerd bij het doorrekenen van de effecten op de niet-CO<sub>2</sub>-emissies van deze backstopstechnologieën. Verder is kort aangegeven waar mogelijkheden aanwezig zijn voor verdere reductie van de niet-CO<sub>2</sub> emissies voor de verschillende backstopopties.

### 4.2. Biomassa

#### 4.2.1. Inleiding

Tabel 4.1 geeft een overzicht van de verdeling van de inzet van biomassa over de doelgroepen voor het referentiescenario en in de twee beleidsvarianten in 2020.

*Tabel 4.1 Inzet van biomassa in het referentiescenario(GC-MV4+NMP3) en voor de twee beleidsvarianten in 2020. Bron; ECN, 1998 en Beeldman et al, 1998)*

PJ	Ref	Sturing	Markt
Consumenten	12	12	12
Verkeer en vervoer	0	200	285
Landbouw	2	0	29
Industrie	1	129	192
HDO	23	24	24
Energiebedrijven	32	75	105
Raffinaderijen	0	0	0
TOTAAL	70 <sup>1)</sup>	440	647

1) in het referentiescenario betreft de inzet van biomassa alleen biomassa afkomstig uit Nederland.

In de twee beleidsvarianten wordt gekeken naar de situatie waar biomassa tussen de 12% (*Sturing*) en 17% (*Markt*) van het totale binnenlandse energiegebruik beslaat. Dit betekent dat de biomassa geïmporteerd moet worden omdat een dergelijk potentieel in Nederland niet voor handen is. In deze studie wordt bij de beoordeling van de milieudruk van de inzet van

biomassa alleen gekeken naar de *locale* emissies bij de inzet van biomassa. Dit betreft dus alleen de emissies die vrijkomen bij de inzet van biomassa (verbranding, vergassing etc.) bij de eindgebruiker. Emissies ten gevolge van teelt, oogst en verwerking van biomassa in het buitenland worden niet meegenomen.

Uit de literatuur (o.a. de Boo, 1993) blijkt dat de oogst van biomassa en de productie van biobrandstoffen een aanzienlijke bijdrage kan leveren aan de emissies. (Eggels, 1997) berekent dat bij de productie van warmte of elektriciteit door verbranding van in Nederland gekweekt hout slechts 32% van de verzurende emissies vrijkomen via de rookgassen. Dit betekent dat 68% van de verzurende emissies vrijkomt bij de oogst, het transport en de voorbereiding van de biomassa. Vergelijking van het gebruik van biomassa met fossiele energiedragers leert dat de bijdrage van de rookgascomponenten bij gebruik van fossiele energiedragers hoger ligt. Uit (Smit, 1994) blijkt dat de bijdrage van de rookgascomponenten aan de verzurende emissies van elektriciteit geproduceerd met een KV-STEG centrale circa 50% bedraagt. Voor elektriciteit of warmte geproduceerd met een installatie gestookt op Nederlands aardgas zal de bijdrage van de rookgascomponenten aan de totale milieudruk aanzienlijk hoger liggen. De emissies bij winning en transport zijn voor Nederlands aardgas namelijk aanzienlijk lager dan bij biomassa- of kolenstook.

Bij een vergelijking tussen de milieudruk veroorzaakt door de inzet van biomassa en de inzet van fossiele energiedragers op basis van de veroorzaakte lokale emissies moet dus worden bedacht dat een gedeelte van de emissies niet in de beoordeling wordt meegenomen. Doordat in deze studie alleen gekeken is naar de lokale emissies bij de inzet van geïmporteerde biomassa zijn dus alleen de veranderingen in de Nederlandse milieudruk in kaart gebracht. Voor een integrale beoordeling zou de hele keten meegenomen moeten worden. Dit valt echter buiten de vraagstelling van deze studie. Dit geldt eveneens voor de mogelijk te bereiken  $CO_2$  reductie bij de inzet van biomassa. Het ECN veronderstelt in haar berekeningen (Beeldman et al, 1998) dat het inzetten van biomassa tot een volledige eliminatie van  $CO_2$ -emissies leidt. Uit de literatuur blijkt dat als gevolg van de teelt, oogst en verwerking van biomassa  $CO_2$ ,  $N_2O$  en  $CH_4$  worden geëmitteerd en daarmee ten opzichte van het gebruik van fossiele energiedragers. In tabel 4.2 is de potentiële afname van de broeikasgasemissies (in  $CO_2$ -eq.) weergegeven bij vervanging van diesel door methanol en benzine door ethanol bij productie van biobrandstoffen uit verschillende soorten biomassa. Uit tabel 4.2 blijkt dat de reductie van broeikasgassen bij de vervanging van benzine of diesel door biobrandstoffen sterk afhankelijk is van het type gewas. Uit de tabel blijkt dat hout het meest optimale biogewas is voor wat betreft de reductie van broeikasgasemissies.

Tabel 4.2 Emissie van broeikasgassen (index) voor de hele keten (inclusief emissies teelt, oogst en verwerking van biomassa) bij gebruik van ethanol en methanol in het verkeer voor verschillende soorten biomassa ten opzichte van benzine en diesel.

	CO <sub>2</sub> -eq.		CO <sub>2</sub> -eq.
<b>benzine</b>	<b>100</b>	<b>diesel</b>	<b>100</b>
ethanol uit hout	15 <sup>(1)</sup>	methanol uit hout	30 <sup>(1)</sup>
ethanol uit suikerbiet	50 <sup>(2)</sup>		
ethanol uit tarwe	65 <sup>(2)</sup>		
ethanol uit maïs	30-120 <sup>(1)</sup>		

<sup>(1)</sup> bron: Michaelis (1995), betreft voor CO<sub>2</sub>-equivalenten, dus inclusief veranderingen in N<sub>2</sub>O- en CH<sub>4</sub>-emissie

<sup>(2)</sup> bron: de Boo (1993).

In (Eggels, 1997) zijn een groot aantal opties voor het gebruik van biomassa in de energievoorziening voor stationaire bronnen door middel van een LCA (Levens Cyclus Analyse) onderling vergeleken. Ook hieruit blijkt dat de reductie van broeikasgassen bij de vervanging van fossiele energiedragers door biomassa sterk varieert. Ter illustratie is in tabel 4.3 de broeikasgasemissie (in CO<sub>2</sub>-eq.) voor een aantal typen biomassa in combinatie met een verbrandingsinstallatie ten opzichte van een moderne STEG installatie aangegeven.

Tabel 4.3 CO<sub>2</sub>-emissie (index) voor de hele keten bij inzet van biomassa voor ondervuring bij stationaire bronnen ten opzichte van een moderne aardgasgestookte STEG.

Biomassa en techniek	CO <sub>2</sub> -eq.
<b>STEG op aardgas</b>	<b>100</b>
schoon resthout, decentraal verbranden	2
schoon resthout, centraal verbranden	3
dunningshout, centraal verbranden	5
kweekhout (wilgenhout), centraal verbranden	27

Uit de literatuur blijkt dat bij vervanging van fossiele energiedragers door biomassa momenteel niet verondersteld kan worden dan de CO<sub>2</sub>-reductie op mondiale schaal gelijk is aan de vermeden CO<sub>2</sub>-reductie door het niet verbranden van fossiele energiedragers. De in de beleidsvarianten veronderstelde inzet van biomassa leidt mogelijk voor Nederland tot de berekende reductie van CO<sub>2</sub> maar op mondiale schaal ligt de reductie momenteel nog 5-25% lager. Onder de veronderstelling dat voor energiegebruik van oogst en verwerking van biomassa in de toekomst gebruik wordt gemaakt van biobrandstoffen kan de emissiereductie verder worden vergroot.

#### 4.2.2. Inzet van biomassa in de beleidsvarianten

In de twee beleidsvarianten is verondersteld dat geïmporteerd biomassa op vier verschillende manieren wordt ingezet:

- 1) bijstoken van biomassa in elektriciteitscentrales;
- 2) inzet van biomassa bij de industrie;



- 3) biomassa voor transport;
- 4) biomassa voor de centrale productie van waterstof.

Bij de bespreking van de emissiefactoren is zoals reeds eerder aangegeven alleen gekeken naar de lokale emissies door het gebruik van biomassa voor de energievoorziening bij de eindverbruikerssectoren.

#### **Ad 1) Bijstoken van biomassa in elektriciteitscentrales**

Met het bijstoken van resthout in poederkoolcentrales wordt vanaf 1994 reeds ervaring opgedaan bij de Gelderland-13 centrale. Hierbij gaat het om het bijstoken van afvalhout spaanders (die eerst worden gedroogd en tot poeder worden vermaald) waarbij maximaal 5% van de kolen (circa 15 PJ) wordt vervangen. In de berekeningen is verondersteld dat het rendement van elektriciteitsproductie met bijstook van biomassa gelijk is aan 38% in 2020. Dit is twee procentpunten lager dan het rendement van een huidige conventionele poederkoolcentrale; met name het drogen van de biomassa en het vermalen kost energie. De emissiefactoren voor NO<sub>x</sub> en fijn stof zijn vergelijkbaar met die van een poederkoolcentrale. Voor SO<sub>2</sub> ligt deze circa een factor 15 lager, omdat biomassa nauwelijks zwavel bevat.

#### **Ad 2) Inzet van biomassa bij de industrie**

Biomassa kan op verschillende manieren worden ingezet voor de levering van energie binnen de industrie. Het aantal typen biomassa en de keuze van energieconversietechnieken die reeds worden ingezet of in onderzoek zijn is zeer groot. In (Eggels et al, 1997) zijn bijvoorbeeld 8 verschillende soorten biomassa<sup>1</sup> en 11 energieconversietechnieken voor biomassa beoordeeld op hun milieubelasting. In tabel 4.4 zijn een aantal mogelijkheden voor gebruik van biomassa in de industrie onderling vergeleken voor wat betreft de directe emissies van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en PM<sub>10</sub>. Ter vergelijking zijn de emissiefactoren van een aantal veel voorkomende energieproductieinstallaties gestookt op fossiele energiedragers binnen de industrie opgenomen, waarbij rekening is gehouden met de uitvoering van het NMP3-beleid.

---

<sup>1</sup> kwekhout, dunningshout, schoon resthout, geverfd afvalhout, geïmpregneerd afvalhout, pluimveemest, slib van de RWZI's en papierslib.

Tabel 4.4 Emissiefactoren voor de lokale emissies van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, fijn stof en VOS voor verschillende vormen van biomassa en conversietechnieken in gr/GJ bij gebruik verschillende soorten gasreiniging.

gr/GJ	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	Bron
Stoomketel op aardgas met low-NO <sub>x</sub> -branders	18	0	0	[3]
Warmte/kracht gasturbine met SCR	18	0	0	[3]
Oven/droger op chemisch restgas met ultra-low-NO <sub>x</sub> -branders	26	22	8	[3]
Stoomketel op kolen met SCR [0,5% zwavel in kolen]	14	253	13	[3]
Schoon resthout, decentraal verbranden + elektriciteitsproductie		4	14	[1]
Dunningshout, verbranden in wervelbedinstallatie		27	8	[1]
Schoon resthout, verbranden in wervelbedinstallatie		4	7	[1]
Kweekhout (wilgenhout), verbranden in wervelbedinstallatie		8	8	[1]
Afvalhout (ondervuring stoomketel).		10	14	[2]
Dunningshout (ondervuring stoomketel)		10	4	[2]
Schoon resthout vergassen + STEG met gaswassing		1	3	[1]
Dunningshout vergassen + STEG met gaswassing		6	3	[1]
Biomassa vergassing + gasturbine voor elektriciteitsproductie met gaswassing		9	4	[4]

Bronnen: [1] Eggels, van (1997). [2] Bundesamt für Landestechnik Wieselburg und Weihenstephan. [3] Spakman, (1998a)., [4] Faaij.(1997).

De in de literatuur genoemde emissiefactoren voor NO<sub>x</sub> zijn onderling moeilijk vergelijkbaar en daarom voor de installaties gestookt met biomassa niet in tabel 4.4 opgenomen. De verschillen worden met name veroorzaakt door veronderstellingen ten aanzien van de inzet en het rendement van nageschakelde NO<sub>x</sub>-technieken. Bij directe verbranding van biomassa kan de thermische gevormde NO<sub>x</sub> met bekende technieken op hetzelfde niveau gebracht worden als voor installaties gestookt op fossiele energiedragers. In de twee beleidsvarianten is verondersteld dat de biomassa binnen de industrie wordt ingezet voor de ondervuring van stoomketels en ovens. Bij de berekeningen in hoofdstuk 5 is verondersteld dat de emissiefactoren voor NO<sub>x</sub>, door toepassing van nageschakelde technieken, op hetzelfde niveau komen als bij de ondervuring met fossiele energiedragers.

Omdat het in de twee beleidsvarianten gaat om geïmporteerde biomassa die het beste te vergelijken is met kweekhout zijn voor SO<sub>2</sub> en PM<sub>10</sub> de emissiefactoren voor verbranden van kweekhout uit tabel 4.3 overgenomen.

Afhankelijk van de soort biomassa bevat deze in meerdere of mindere mate zwavel, waardoor bij gebruik van biomassa voor ondervuring SO<sub>2</sub> wordt geëmitteerd. De emissies van SO<sub>2</sub> en PM<sub>10</sub> door biomassa kunnen worden verminderd door de toepassing van biomassavergassing, waarbij het stookgas voor verbranding wordt gereinigd. Voor de emissies van PM<sub>10</sub> geldt evenals voor SO<sub>2</sub> dat de bij toepassing van vergassingstechnieken de emissies lager zijn bij ondervuring. Bij de vergassing van biomassa kan echter zonder verdere maatregelen de NO<sub>x</sub> emissie sterk toenemen. Bij de vergassing van de biomassa wordt de in de biomassa

aanwezige stikstof omgezet in  $\text{NH}_3$ . Bij de verbranding van stookgas met  $\text{NH}_3$  wordt naast thermische  $\text{NO}_x$  extra  $\text{NO}_x$  gevormd wanneer de  $\text{NH}_3$  wordt verbrand. Door de toepassing van gaswassing kan de  $\text{NH}_3$  worden verwijderd. Door vergroting van de waterstroom of door het toevoegen van een zuur kan de verwijderingsefficiëntie worden opgevoerd totdat vrijwel alleen nog thermische  $\text{NO}_x$  vrijkomt (Faaij, 1997). De vergassingstechniek biedt verder als voordeel, dat het stookgas door toepassing van verdere bewerkingsstappen kan worden gebruikt voor de productie van waterstof. De waterstof kan vervolgens in een brandstofcel worden ingezet of worden verbrand met zuivere zuurstof waardoor vrijwel geen  $\text{NO}_x$  wordt gevormd.

### **Ad 3) Biomassa voor transport**

Ter vervanging van fossiele brandstoffen in het wegverkeer kunnen alcoholen worden ingezet. Voor benzine is vervanging door bio-ethanol verondersteld, voor diesel vervanging door bio-methanol. Ethanol geproduceerd uit suikerriet (bio-ethanol) wordt op dit moment op grote schaal toegepast in Brazilië. Ethanol kan ook worden geproduceerd uit hout, maïs, tarwe of gerst. Methanol wordt momenteel veelal geproduceerd uit aardgas maar kan in principe uit iedere soort biomassa worden geproduceerd.

Over de effecten van het gebruik van alcoholen in Otto- of Dieselmotoren op de uitlaatgasemissies van  $\text{NO}_x$ , VOS,  $\text{PM}_{10}$  en  $\text{SO}_2$  is in de literatuur weinig informatie gevonden. De gevonden informatie beschrijft bovendien nogal uiteenlopende effecten van het gebruik van alcoholen. Uit (Michealis, 1995) blijkt dat de emissie  $\text{NO}_x$  bij gebruik van ethanol in Ottomotoren met driewegkatalystor dezelfde bandbreedte heeft als die bij gebruik van benzine, de emissies van  $\text{PM}_{10}$  is vergelijkbaar en de  $\text{SO}_2$ -emissie is nihil<sup>1</sup>. De gemiddelde VOS-emissie is bij gebruik van ethanol circa 50% lager (zie tabel 4.5) dan bij gebruik van een benzine.

Voor de effecten van het gebruik van methanol in lichte voertuigen met Dieselmotor is gebruik gemaakt van twee studies (Zelenka en Kapus, 1992) (Bruetsch en Hellman, 1992). De gemiddelde reductie bij het gebruik van methanol i.p.v. diesel bedroeg voor  $\text{NO}_x$  ca. 70%, voor  $\text{PM}_{10}$  83% en voor VOS 95%. Het zwavelgehalte van alcoholen is nagenoeg nul.

Voor de effecten van het gebruik van methanol in zware voertuigen met Dieselmotoren is gebruik gemaakt van de resultaten van meerdere studies (IEA/AFIS, 1996). De gemiddelde reductie voor  $\text{NO}_x$  bedraagt 16 tot 56%. Voor  $\text{PM}_{10}$  is de reductie als gevolg van het gebruik van methanol hoger, namelijk 46% tot 86%. De transitie naar methanol blijkt tot zeer hoge VOS-emissies te leiden, een factor 6 tot 18. Deze VOS-emissies bestaan voor het grootste

---

<sup>1</sup> Opgemerkt moet worden dat de bandbreedtes van de gebruikte gegevens zeer groot zijn. Voor de berekeningen zijn gemiddelden gebruikt over deze bandbreedtes.

gedeelte uit methanol. Met een oxidatiekatalysator kan evenwel een groot deel van deze emissies worden voorkomen. De efficiency van een oxidatiekatalysator, wanneer deze wordt toegepast bij een Dieselmotor die gebruik maakt van methanol, bedraagt ca. 95% (IEA/AFIS, 1996). Methanol kan namelijk eenvoudiger worden geoxydeerd dan complexere koolwaterstoffen. De VOS-emissie is bij gebruik van methanol en een oxidatiekatalysator gemiddeld ca. 40% lager dan bij gebruik van diesel. Voor de berekeningen van de effecten van het gebruik van methanol i.p.v. fossiele brandstoffen is echter het gebruik van uitlaatgasnabehandeling niet meegenomen aangezien de dieselmotor (wanneer laag-zwavelige brandstof wordt toegepast) ook met een oxidatiekatalysator kan worden uitgerust. De efficiency is in dat geval lager, ca. 70% (Bürgler *et al.*, 1992).

In hoeverre het gebruik van methanol in een Euro3-motor dezelfde relatieve reducties geeft als vermeld in tabel 4.5 kan aan de hand van de gevonden literatuur niet worden geverifieerd. In deze studie is verondersteld dat dit wel het geval is omdat Euro3-motoren net als voorgaande motorgeneraties niet voorzien zijn van uitlaatgasnabehandeling. De gerealiseerde emissiereductie kan in dat geval geheel worden teruggevoerd op verschillen in brandstofeigenschappen. Voor Euro4 is wat dit betreft een uitzondering gemaakt. Verondersteld is dat fabrikanten het van kracht worden van de Euro4-normen motoren op de markt brengen die óf gebruik maken van diesel en dan voorzien zijn van een zogenoemde de-NO<sub>x</sub>-katalysator óf gebruik maken van methanol en voorzien zijn van een oxidatiekatalysator. Het toepassen van methanol in een Euro4-motor met de-NO<sub>x</sub>-katalysator leidt naar verwachting niet tot een verdere emissiereductie.

In tabel 4.5 is een overzicht gegeven van de effecten van het gebruik van alcoholen, zoals gevonden in de literatuur. In tabel 4.6 is vervolgens een overzicht gegeven van de in de berekeningen gebruikte waarden.

De emissies bij het gebruik van alcoholen kunnen verdergaand worden gereduceerd door gebruik te maken van een brandstofcel. Een brandstofcel kan naast alcoholen ook worden gevoed door aardgas en waterstof.

Tabel 4.5 Uitlaatgasemissies bij gebruik van ethanol en methanol en bij gebruik van diesel of benzine

		NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	VOS
		[g/km]			
lichte voertuigen <sup>(a)</sup>	benzine (+ 3wegkat.)	0.1-0.4	0.00	-	0.1-0.2
	ethanol (+ 3wegkat.)	0.1-0.4	0.00	-	0.05-0.1
		(index)			
lichte voertuigen <sup>(b)</sup>	diesel	100	100	100	100
	methanol	30	17	0	5
		(index)			
zware voertuigen <sup>(c)</sup>	diesel	100	100	100	100
	methanol	44-84	14-54	0	600-1800

<sup>(a)</sup> bron: Michaelis (1995)

<sup>(b)</sup> bron: Zelenka en Kapus (1992), Bruetsch en Hellman (1992)

<sup>(c)</sup> bron: IEA/AFIS (1996); betreft resultaten van een literatuursurvey over het gebruik van methanol in Amerikaanse bussen

Tabel 4.6 Uitlaatgasemissies bij gebruik van ethanol en methanol relatief ten opzichte van benzine en diesel.

		NO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	VOS
lichte voertuigen <sup>(a)</sup>	benzine (+ 3wegkat.)	100	100	100	100
	ethanol (+ 3wegkat.)	100	100	0	50
lichte voertuigen <sup>(a)</sup>	diesel	100	100	100	100
	methanol	30	20	0	5
zware voertuigen <sup>(b)</sup>	diesel	100	100	100	100
	methanol	65	35	0	1200

#### Ad 4) Biomassa voor productie van waterstof.

Naast de inzet van biomassa voor ondervuring of ter vervanging van motorbrandstoffen is in de beleidsvarianten verondersteld dat biomassa wordt ingezet voor de productie van waterstof.

Waterstof kan worden geproduceerd door biomassa onder hoge temperaturen en onder toevoeging van zuurstof en stoom te vergassen. In de vergassingsstap wordt een synthesegas gevormd dat met name bestaat uit waterstof (12-15%), koolmonoxyde (14-18%) en methaan (circa 3%). De energieïnhoud van dit gas ligt tussen de 4-6 MJ/m<sup>3</sup>. In een shift-reactie wordt de CO met behulp van stoom verder opgewerkt tot CO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>. In (Faaij, 1997) en (Eggels, 1997) zijn analyses gemaakt van de emissies van het proces van biomassavergassing in combinatie met verbranding van het stookgas in een STEG (BV-STEG). Hieruit blijkt dat de emissies met name vrijkomen bij de verbranding van het stookgas en dat in de vergassingsstap (ook de reiniging van het gas) vrijwel geen emissies naar lucht plaatsvinden. In de vergassingsstap zijn echter grote hoeveelheden zuurstof nodig die moeten worden geproduceerd in een luchtscheidingsinstallatie. Het energiegebruik van de pompen en

compressoren in deze installatie zorgen voor een daling van het rendement van de BV-STEG ten opzichte van een STEG gestookt op aardgas met 13% (van 53% naar 40%). In de berekeningen is verondersteld dat per PJ ingezette biomassa, voor de productie van waterstof 0,13 PJ elektriciteit nodig is die geproduceerd is met een STEG installatie. Dit komt overeen met een NO<sub>x</sub> emissiefactor van 3 gr NO<sub>x</sub>/GJ biomassa<sup>1</sup>.

De geproduceerde waterstof kan vervolgens op verschillende manieren worden ingezet:

- menging van waterstof met aardgas tot maximaal 15 volume%. Dit vergt geen aanpassingen aan de energieconversie apparatuur. Verondersteld is dat de emissiefactoren voor NO<sub>x</sub> gelijk blijven.
- directe verbranding van waterstof in de eindconversie apparatuur. Hiervoor zal speciale apparatuur moeten worden ontwikkeld. Omdat het hierbij gaat om de verbranding van waterstof met lucht zal NO<sub>x</sub> gevormd worden.
- gebruik van waterstof in een brandstofcel. Bij de electrochemische omzetting van waterstof in een brandstofcel wordt door de afwezigheid van stikstof en de lage temperaturen in een brandstofcel nauwelijks NO<sub>x</sub> gevormd.
- verbranding van waterstof met zuivere zuurstof waarbij rookgassen ontstaan die vrijwel volledig uit H<sub>2</sub>O bestaan en waarbij vrijwel geen NO<sub>x</sub> wordt gevormd.

In de beleidsvarianten is verondersteld dat de waterstof wordt bijgemengd aan het aardgas en vervolgens wordt ingezet ter ondervuring van stoomketels in de industrie (optie 1).

### 4.3. CO<sub>2</sub>-verwijdering en -opslag

In de twee beleidsvarianten wordt CO<sub>2</sub> verwijdering op verschillende plaatsen ingezet. In tabel 4.7 is de inzet van CO<sub>2</sub> in de twee beleidsvarianten aangegeven.

Tabel 4.7 Inzet van CO<sub>2</sub> verwijdering in de beleidsvarianten in 2020.

Mton CO <sub>2</sub>	Sturing	Markt
Kunstmestproductie	4	4
Raffinaderijen	4	4
Poederkoolcentrale + CO <sub>2</sub> -opslag (retrofit)	6	4
Warmte/kracht op aardgas + CO <sub>2</sub> -opslag	18	18
Totaal	32	30

In principe zijn er twee verwijderingsstrategieën voor CO<sub>2</sub>, te weten:

1. de verwijdering van CO<sub>2</sub> uit synthesegas door middel van chemische of fysische absorptie met een regenererbaar absorbens;

<sup>1</sup> 0,13 PJ elektriciteit/PJ biomassa voor een STEG met een rendement van 53 % komt dit overeen met 0,24 PJ aardgas/PJ biomassa, met een emissiefactor van 12 gr NO<sub>x</sub>/GJ aardgas komt dit overeen met 2,9 gr NO<sub>x</sub>/GJ biomassa

2. de verwijdering van CO<sub>2</sub> uit rookgassen. Hiervoor zijn meerdere technieken beschikbaar. In (Herzog, 1996) zijn technieken en verwijderingsrendementen opgenomen voor verwijdering van CO<sub>2</sub> bij poederkoolcentrales:
- verbranding van fossiele energiedragers onder toevoeging van zuivere zuurstof in plaats van lucht. Hierbij ontstaat een vrijwel zuivere CO<sub>2</sub> stroom die kan worden gecomprimeerd en opgeslagen (circa 100% reductie)
  - verwijdering van de CO<sub>2</sub> uit de rookgassen door middel van een chemische absorbens (circa 85% reductie)
  - afscheiding van de CO<sub>2</sub> uit de rookgassen met membranen (circa 46% reductie);
  - condensatie van de CO<sub>2</sub> door het afkoelen van de rookgassen (circa 60% reductie).
- Van bovengenoemde technieken is alleen voor de verwijdering van CO<sub>2</sub> uit synthese- en rookgassen door middel van een chemische absorbens op redelijk grote schaal ervaring opgedaan (Herzog, 1996). Deze optie is daarom in de sturings- en marktvariant opgenomen. Van bovengenoemde technieken is verder de verbranding van fossiele energiedragers onder toevoeging van zuivere zuurstof een interessante optie omdat daarmee tegelijkertijd de emissies van NO<sub>x</sub> worden gereduceerd. De technieken genoemd onder 2c) en 2d) zullen niet verder worden besproken omdat deze opties momenteel een veel lager verwijderingsrendement hebben en tegelijkertijd zorgen voor een grotere daling van het energetisch rendement van de installatie.

#### 4.3.1. Het verwijderen van CO<sub>2</sub> uit synthesegas.

De verwijdering van CO<sub>2</sub> uit synthesegas vindt momenteel reeds plaats bij productie van waterstof in de kunstmestindustrie en de raffinaderijen. De verwijderde CO<sub>2</sub> wordt nu nog afgeblazen of gedeeltelijk gebruikt in het productieproces. In de twee beleidsvarianten is verondersteld dat de CO<sub>2</sub> die bij de productie van waterstof vrijkomt wordt opgeslagen. Het reductiepotentieel bedraagt ongeveer 8 Mton per jaar.

##### *CO<sub>2</sub>-verwijdering en opslag bij de kunstmestproductie*

Bij de productie van ammonia uit aardgas worden grote hoeveelheden CO<sub>2</sub> geproduceerd. In een reformer wordt uit aardgas, water en lucht een mengsel van waterstof (H<sub>2</sub>), koolmonoxyde (CO) en CO<sub>2</sub> geproduceerd. In een shift-reactie wordt de CO met behulp van stoom verder opgewerkt tot CO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>. De CO<sub>2</sub> moet vervolgens uit de gasstroom worden verwijderd (ook in de situatie zonder CO<sub>2</sub>-opslag omdat de CO en CO<sub>2</sub> de katalysator voor de synthese van ammoniak aantasten) met behulp van chemische (ethanolamines) of fysische absorbers (Selexol). Hierbij liften geen andere stoffen mee. De CO<sub>2</sub> wordt vervolgens weer gescheiden van de absorber die wordt hergebruikt (Worrell, 1993). De CO<sub>2</sub>, die nu nog wordt afgeblazen, kan worden gecomprimeerd en opgeslagen. Het verwijderen en opslaan van de CO<sub>2</sub> zorgt voor een toename van het energiegebruik van ongeveer 380-400 MJ elektriciteit per ton CO<sub>2</sub> en 8

MJ stoom per ton CO<sub>2</sub> (Farla *et al*, 1992). In de twee beleidsvarianten is 4 Mton CO<sub>2</sub> opslag per jaar bij de kunstmestindustrie ingezet, hierdoor neemt het energiegebruik bij de kunstmestindustrie toe met 1,6 PJe en 0,032 PJ stoom. Onder de veronderstelling dat de elektriciteit wordt opgewekt met STEG installatie (gemiddelde rendement in 2020 54%) en de stoom met een ketel op aardgas (rendement 90%) neemt het primaire energiegebruik toe met 5,2 PJ en de NO<sub>x</sub>-emissie met 0,03 kton.

#### *CO<sub>2</sub>-verwijdering en opslag bij raffinaderijen*

Momenteel worden studies uitgevoerd naar de mogelijkheden voor CO<sub>2</sub> opslag bij Shell in Pernis. Het gaat hierbij om het opslaan van circa 1 Mton CO<sub>2</sub> per jaar. De CO<sub>2</sub> komt in geconcentreerde vorm vrij bij de productie van waterstof (H<sub>2</sub>) die nodig is voor het raffinage proces (in de hydrocracker). Bij Shell wordt de waterstof geproduceerd door olie te vergassen waarbij een synthesegas wordt gevormd dat na gasreiniging met name bestaat uit koolmonoxyde (CO) en waterstof (H<sub>2</sub>) (Shell, 1997) Het synthesegas wordt vervolgens enerzijds gebruikt voor de productie van energie in een warmte/kracht-installatie en anderzijds door middel van een shiftreactie (waarbij stoom aan het gasmengsel wordt toegevoegd) verder omgezet in extra H<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub>. De studies die momenteel worden uitgevoerd zijn erop gericht de geconcentreerde zuivere CO<sub>2</sub> stroom die ontstaat bij de tweede shiftreactie te comprimeren en op te slaan. Het op deze plaats verwijderen en opslaan van CO<sub>2</sub> bij de raffinaderijen zorgt niet voor een gelijktijdige reductie van de emissies van andere stoffen. Het proces waarbij de CO<sub>2</sub> vrijkomt bij de raffinaderijen is vergelijkbaar met het productieproces bij de kunstmestindustrie. In de beleidsvarianten is verondersteld dat in 2020 jaarlijks 4 Mton CO<sub>2</sub> jaar wordt opgeslagen. De toename van het energiegebruik en de emissies is daarom vergelijkbaar met de verwijdering en de opslag bij de kunstmestproductie.

#### *CO<sub>2</sub>-verwijdering en opslag bij KV-STEG's installatie.*

De derde mogelijkheid voor verwijdering van CO<sub>2</sub> uit synthesegassen die echter niet in de beleidsvarianten is verondersteld is de combinatie van een KV-STEG met CO<sub>2</sub> verwijdering. De vergassingstechniek komt overeen met olievergassingstechniek zoals beschreven bij de raffinaderijen en de biomassavergassing. Na de vergassingsstap wordt het stookgas gereinigd en wordt met behulp van een shiftreactie CO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub> gevormd. De CO<sub>2</sub> wordt op chemische of fysische wijze gescheiden van de waterstof. De H<sub>2</sub> -rijke gasstroom wordt gebruikt als stookgas in de STEG. De combinatie van CO<sub>2</sub> -opslag met een KV-STEG zorgt voor een daling van het rendement van 44% naar 37% (CE, 1997). De NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en fijn stof emissies nemen hierdoor per kWh geproduceerde elektriciteit toe met circa 20%.

#### *Conclusie*

Het extra energiegebruik voor het opslaan van circa 8 Mton CO<sub>2</sub> per jaar bij de kunstmestproductie en raffinaderijen is verwaarloosbaar evenals de toename van de verbrandingsemissies. Het verwijderen van de CO<sub>2</sub> is bij deze productieprocessen reeds



noodzakelijk voor een goed verloop van het productieproces; het comprimeren en opslaan (de stap die relatief het minste energie vraagt) kost daarom relatief weinig extra energie. De verwijdering van CO<sub>2</sub> bij een KV-STEg zorgt zonder verdere maatregelen voor een toename van de verbrandingsemissies met circa 20% per geproduceerde kWh elektriciteit.

#### 4.3.2. De verwijdering van CO<sub>2</sub> uit rookgassen.

Voor het verwijderen van CO<sub>2</sub> uit de *rookgassen* bij verbrandingsprocessen zijn momenteel twee technieken bekend waarmee ervaring is opgedaan. De meeste ervaring is opgedaan met de verwijdering van CO<sub>2</sub> met behulp van een absorbens, deze techniek is daarom ingezet in de beleidsvarianten. Bij deze techniek wordt met behulp van absorbers (b.v. Selexol of Purisol) de CO<sub>2</sub> uit de rookgassen gewassen. Bij gebruik van een zwavelhoudende brandstof wordt tegelijkertijd de gevormde SO<sub>2</sub> verwijderd. Het verwijderingsrendement voor CO<sub>2</sub> ligt op circa 85%. De NO<sub>x</sub>-emissies blijven bij de toepassing van deze techniek op hetzelfde niveau als in een situatie zonder CO<sub>2</sub>-verwijdering. In de twee beleidsvarianten wordt deze vorm van CO<sub>2</sub> verwijdering toegepast bij grootschalige warmte/kracht, STEg-centrales en bij circa 1000 MWe poederkoolvermogen.

Een andere mogelijkheid is het verbranden van de fossiele brandstoffen met zuivere zuurstof waarbij CO<sub>2</sub> wordt bijgemengd om de verbrandingstemperatuur te verlagen. De gevormde rookgassen bestaan dan vrijwel volledig uit CO<sub>2</sub> dat eenvoudig kan worden gecompriemd en opgeslagen. Bij verbranding van fossiele brandstoffen met zuivere zuurstof wordt vrijwel geen NO<sub>x</sub> gevormd (met uitzondering van stikstof in aardgas die kan worden omgezet in NO<sub>x</sub>). Door verbranding met zuivere zuurstof worden kosten voor NO<sub>x</sub>-bestrijding uitgespaard.

Beide technieken voor rookgasreiniging zorgen voor een daling van het rendement. Voor een aardgasgestookte STEg daalt het gemiddelde rendement van 52 naar 45% voor een poederkoolcentrale van 41% naar circa 30% (CE, 1997). Het brandstofverbruik stijgt dus met respectievelijk 16% en 36% wat zonder verdere maatregelen leidt tot een vergelijkbare verhoging van de NO<sub>x</sub>-emissies per eenheid geproduceerde energie.

## 5. Emissies in de sturings- en marktvariant

### 5.1. Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van de doorrekening van de twee beleidsvarianten voor vergaande CO<sub>2</sub> reducties met betrekking tot de effecten op de emissies van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, fijn stof en VOS. Verder is aangegeven wat de emissies zijn wanneer naast het beleid in de sturings- en marktvariant eveneens rekening wordt gehouden met het NMP3-extra beleid. Tenslotte schetst paragraaf 5.6 mogelijkheden om door optimalisatie van de inzet van de backstoptechnologieën de emissies van bovengenoemde stoffen verder te reduceren.

### 5.2. CO<sub>2</sub>-emissies

Om de benodigde emissiereducties van CO<sub>2</sub> te bereiken wordt ingezet op drie reductievelden

- 1) energiebesparingsmaatregelen bij de eindgebruikers;
- 2) verschuivingen in het energieaanbod (veranderingen in de inzet van energieaanbodprocessen en efficiencyverbeteringen bij de energieaanbodprocessen);
- 3) inzet van backstoptechnologieën.

De twee beleidsvarianten verschillen in de inzet van beleidsinstrumenten, met als gevolg een andere verdeling van de reducties over de verschillende CO<sub>2</sub>-reductievelden. Tabel 5.1 geeft de resultaten van de twee beleidsvarianten op de reducties van CO<sub>2</sub>.

Tabel 5.1: Overzicht van CO<sub>2</sub>-reducties over de verschillende CO<sub>2</sub>-reductievelden.

Mton CO <sub>2</sub>	2010		2020	
	Sturing	Markt	Sturing	Markt
Energiebesparing	29	23	37	26
Huishoudens	5	3	6	2
Diensten+overig	3	3	3	4
Landbouw	2	1	2	1
Industrie	8	7	13	11
Transport	3	0	6	1
Raffinaderijen	0	0	0	0
Energiebedrijven1)	9	10	7	7
Backstoptechnologieën	16	19	57	67
CO <sub>2</sub> -afvang bij kunstmest/raffinage	4	4	8	8
CO <sub>2</sub> -afvang grootschalige warmt/kracht-installaties	9	9	29	29
Biomassa import voor ondervuring en waterstofproductie	2	3	7	11
Biomassa import voor transport	2	3	14	19
Import	0	0	0	3
<b>TOTAAL</b>	<b>45</b>	<b>43</b>	<b>95</b>	<b>95</b>

<sup>1)</sup> Besparingen op elektriciteit, rendementsverbeteringen en verschuivingen in het aanbod.

Verschillen in instrumentarium leiden tot meer energiebesparing in de sturingsvariant dan in de marktvariant. De effecten van verschuivingen in het energieaanbod en efficiencyverbeteringen bij de energieaanbodprocessen zijn voor de twee varianten vrijwel gelijk. Voor het behalen van vergaande CO<sub>2</sub>-reducties wordt in de twee beleidsvarianten verder een groot aantal nieuwe technologieën ingezet. Uit tabel 5.1 blijkt dat sterk wordt ingezet op de backstoptechnologieën biomassa en CO<sub>2</sub>-opslag. Omdat in de marktvariant het effect van energiebesparingen kleiner is dan in de sturingsvariant moet voor het behalen van de beleidsopgave in de marktvariant een groter beroep worden gedaan op de inzet van deze backstoptechnologieën. Tabel 5.2 geeft de CO<sub>2</sub>-emissie voor het referentiescenario (GC-MV4+NMP3) en voor de sturings- en marktvariant per doelgroep. Ten opzichte van de referentiesituatie daalt de CO<sub>2</sub>-emissie met circa 16% in 2010 en 38% in 2020.

Tabel 5.2 CO<sub>2</sub>-emissies voor de verschillende doelgroepen voor 1995, 2010 en 2020 voor het referentiescenario (GC-MV4+NMP3), en voor de sturing- en markt.

miljard kg CO <sub>2</sub>	1990 1995		2010			2020		
			Ref	Sturing	Markt	Ref	Sturing	Markt
Consumenten	22	22	19	18	20	19	17	21
Diensten + overig	13	15	15	16	15	18	18	17
Landbouw	9	9	14	12	14	16	14	15
Industrie	44	44	44	36	35	52	32	29
Verkeer en vervoer	29	32	38	34	35	47	27	27
Raffinaderijen	10	12	17	15	15	20	16	16
Energiebedrijven	41	46	51	35	34	49	15	13
TOTAAL	168	180	198	165	168	221	139	138

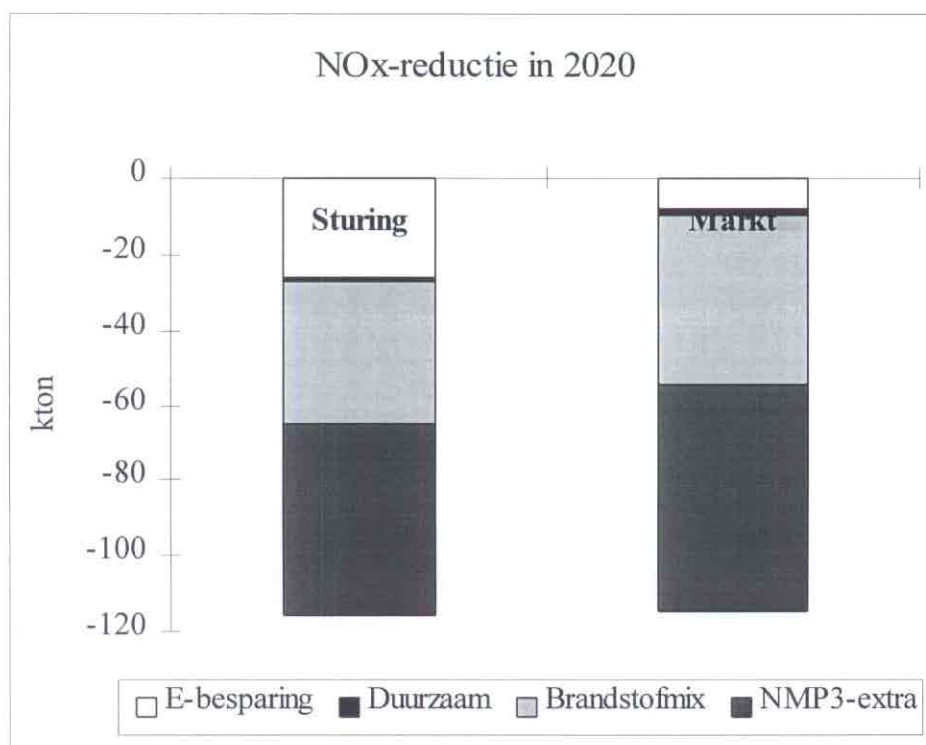
### 5.3. NO<sub>x</sub>-emissies

Tabel 5.3 geeft de resultaten van de doorrekening van de sturings- en de marktvariant op de emissies van NO<sub>x</sub>.

Tabel 5.3 NO<sub>x</sub>-emissies voor de verschillende doelgroepen voor 1995, 2010 en 2020 voor het referentiescenario (GC-MV4+NMP3), en voor de sturing- en markt exclusief en inclusief het NMP3-extra beleid.

	1995	2010			2020		
		Ref	Sturing	Sturing+NMP3-extr	Ref	Sturing	Sturing+NMP3-extr
miljoen kg							
Sturingsvariant							
Consumenten	23	6	5	5	6	3	3
Verkeer en vervoer	314	224	210	157	286	238	187
Landbouw	10	10	10	10	11	11	11
Industrie	63	34	31	31	36	29	29
HDO	8	3	2	2	2	1	1
Energiebedrijven	58	16	13	13	24	21	21
Raffinaderijen	18	7	7	7	8	6	6
Overige	4	1	1	1	1	1	1
TOTAAL	498	301	279	226	374	310	258
	1995	2010			2020		
		Ref	Markt	Markt+NMP3-extr	Ref	Markt	Markt+NMP3-extr
miljoen kg							
Marktvariant							
Consumenten	23	6	5	5	6	4	4
Verkeer en vervoer	314	224	223	170	286	250	190
Landbouw	10	10	10	10	11	11	11
Industrie	63	34	33	33	36	28	28
HDO	8	3	2	2	2	1	1
Energiebedrijven	58	16	12	12	24	20	20
Raffinaderijen	18	7	7	7	8	6	6
Overige	4	1	1	1	1	1	1
TOTAAL	498	301	293	240	374	321	261

De emissies van NO<sub>x</sub> dalen in 2010 tussen de 3% en 7% en in 2020 tussen de 14% en 18% ten opzichte van het referentiescenario. De verschillen in emissiereductie tussen de markt- en sturingsvariant worden verklaard door de verschillen in energiebesparingsmaatregelen die zijn ingezet. De bijdrage van de verschillende CO<sub>2</sub>-reductievelen aan de reductie van de NO<sub>x</sub>-emissies in de sturings- en marktvariant voor 2020 is weergegeven in figuur 5.1. Deze figuur laat zien dat energiebesparing en verschuivingen in de brandstofmix de belangrijkste bijdrage leveren aan de reductie van NO<sub>x</sub>. De omvang van de duurzame energiebronnen (wind, zon, water en gasexpansie exclusief geïmporteerde biomassa) in de beleidsvarianten is relatief gering zodat deze geen substantiële bijdrage leveren aan een verdere reductie van de NO<sub>x</sub>-emissies. De veranderingen in emissieniveau ten gevolge van de inzet van biomassa zijn meegenomen onder 'Brandstofmix'.



Figuur 5.1 Reductie van  $\text{NO}_x$  in 2020 in de sturings- en de marktvariant met een onderscheid naar de bijdrage van de verschillende reductievelen.

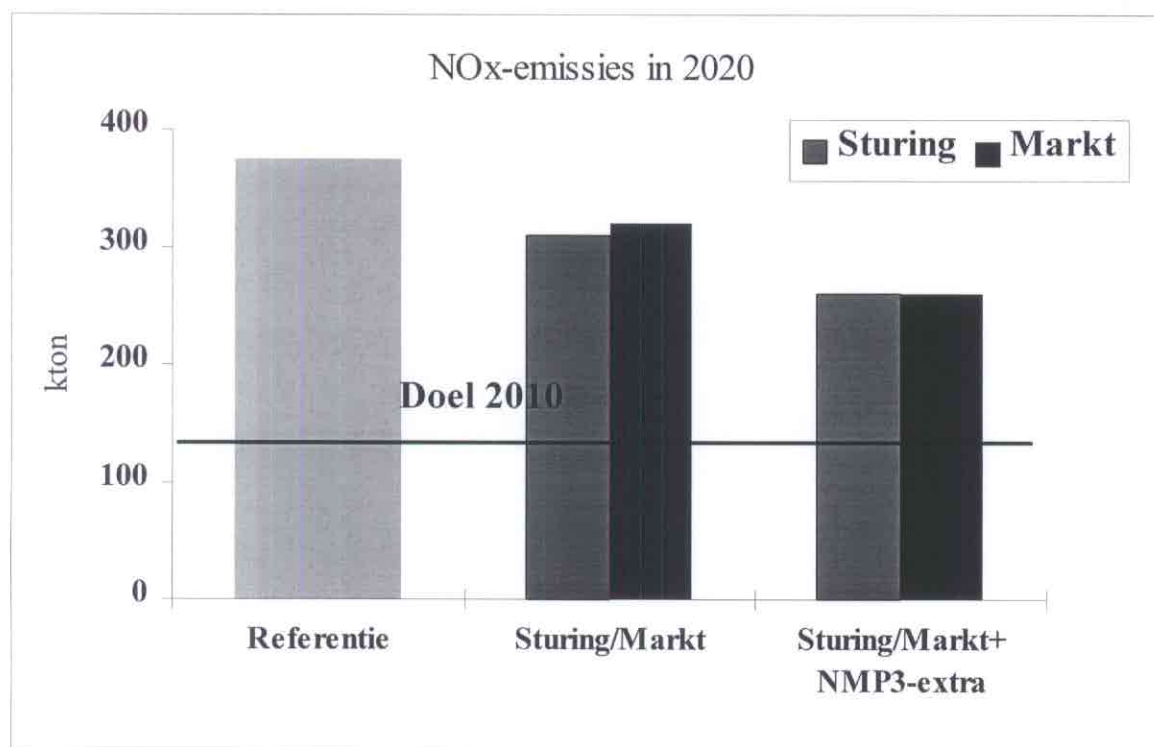
De belangrijkste bijdrage aan de reductie van de  $\text{NO}_x$ -emissies wordt geleverd door de *mobile bronnen* (verkeer en vervoer in tabel 5.1). De emissies dalen in de sturingsvariant met 6% in 2010 en met 17% in 2020<sup>1</sup>. Deze daling is enerzijds het gevolg van energiebesparingsmaatregelen (zuiniger auto's, snelheidsverlaging en besparingen in de binnenvaart) en anderzijds van de inzet van backstoptechnieken (substitutie van fossiele brandstoffen door biobrandstoffen). De emissiereducties in 2010 zijn vrijwel volledig toe te schrijven aan energiebesparingsmaatregelen omdat dan nog vrijwel geen biobrandstoffen zijn ingezet. In 2020 is het aandeel van energiebesparingsmaatregelen in de  $\text{NO}_x$ -reductie van verkeer circa 30%. In de marktvariant dalen de emissies in 2010 met 0,5% en in 2020 met 12%. De emissiedaling is in deze variant voor verkeer lager dan in de sturingsvariant omdat vrijwel geen energiebesparende maatregelen worden getroffen.

De emissies van  $\text{NO}_x$  voor de *stationaire bronnen* dalen zowel in de sturings- als in de marktvariant met circa 10% in 2010 en 19% in 2020 ten opzichte van het referentiescenario. In 2010 wordt zowel in de sturings- als marktvariant de reductie van de emissies met name bereikt door energiebesparing. Verschuivingen in de inzet van aanbodprocessen zorgen voor een geringe stijging van de emissies zodat netto in 2010 een reductie van circa 8 kton resteert. In 2020 wordt in de sturingsvariant circa 60% van de reducties bereikt door energiebesparing

<sup>1</sup> De effecten zijn berekend door **alleen** te kijken naar **locale** emissies. Emissies ten gevolge van productie van biobrandstoffen kunnen een aanzienlijke bijdrage geven aan de totale emissies bij gebruik van biobrandstoffen (de Boo, 1993). Als gevolg van de in deze studie gehanteerde afbakening zijn deze emissies niet meegenomen.

bij de eindverbruikerssectoren. In de marktvariant, waar de energiebesparing lager is dan in de sturingsvariant, is dit circa 25%. De resterende reducties worden hier behaald door rendementsverbeteringen bij de energieproductieprocessen, een verschuiving naar energieproductieprocessen met een hoger rendement en de inzet van biomassa. De verwijdering van CO<sub>2</sub> uit de rookgassen bij warmte/kracht-installaties veroorzaakt een daling van het rendement en leidt daarmee tot een toename van het energiegebruik. Het gestegen energiegebruik zorgt voor een verhoging van de NO<sub>x</sub>-emissies met circa 2 kton ten opzichte van de situatie zonder CO<sub>2</sub>-verwijdering in zowel de sturings- als de marktvariant.

Wanneer in de sturings- en marktvariant rekening wordt gehouden met de doorwerking van het **NMP3-extra** beleid kan een additionele NO<sub>x</sub>-reductie van circa 15% in 2020 worden bereikt. Deze daling is vrijwel geheel toe te schrijven aan de aanscherping van de emissienormen voor vrachtauto's en binnenschepen. Figuur 5.2 geeft een overzicht van de NO<sub>x</sub>-emissies voor de verschillende varianten.



Figuur 5.2 Emissies van NO<sub>x</sub> in 2020 in de sturings- en de marktvariant met en zonder het NMP3-extra beleid.

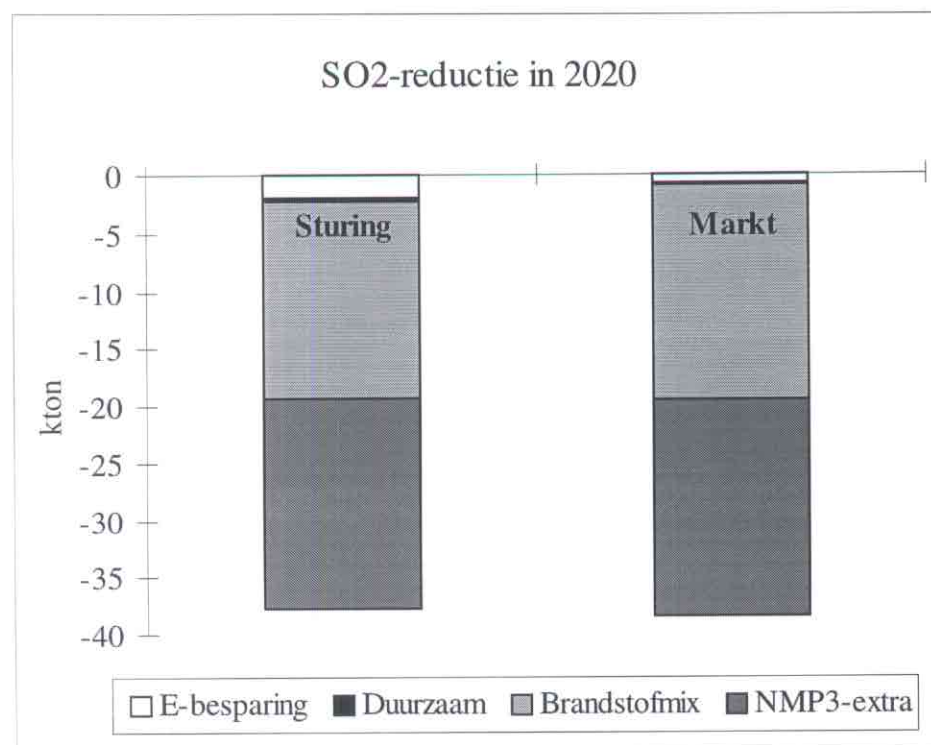
## 5.4. SO<sub>2</sub>-emissies

Tabel 5.4 geeft de resultaten van de doorrekening van de sturings- en de marktvariant op de emissies van SO<sub>2</sub>.

Tabel 5.4 SO<sub>2</sub>-emissies voor de verschillende doelgroepen voor 1995, 2010 en 2020 voor het referentiescenario (GC-MV4+NMP3), en voor de sturing- en markt exclusief en inclusief het NMP3-extra beleid.

	1995	2010			2020		
		Ref	Sturing	Sturing+ NMP3-extr	Ref	Sturing	Sturing+ NMP3-extra
miljoen kg							
<b>Sturingsvariant</b>							
Consumenten	0	0	0	0	0	0	0
Verkeer en vervoer	31	28	27	14	34	30	16
Landbouw	0	0	0	0	0	0	0
Industrie	32	26	26	26	28	31	31
HDO	6	2	2	2	3	3	3
Energiebedrijven	17	10	7	7	3	0	0
Raffinaderijen	61	29	29	14	31	31	27
TOTAAL	147	95	91	63	99	95	77
	1995	2010			2020		
		Ref	Markt	Markt+ NMP3-extr	Ref	Markt	Markt+ NMP3-extra
miljoen kg							
<b>Marktvariant</b>							
Consumenten	0	0	0	0	0	0	0
Verkeer en vervoer	31	28	28	15	34	30	15
Landbouw	0	0	0	0	0	0	0
Industrie	32	26	26	26	28	32	32
HDO+overig	6	2	2	2	3	3	3
Energiebedrijven	17	10	7	7	3	0	0
Raffinaderijen	61	29	29	14	31	31	27
TOTAAL	147	95	91	64	99	96	77

De emissies van SO<sub>2</sub> dalen zowel in de sturings- als de marktvariant ten opzichte van het referentiescenario in 2010 met circa 4% en in 2020 met 3-4%. In figuur 5.3 is het aandeel van de verschillende CO<sub>2</sub>-reductievelden in de reductie van de emissies voor zowel de sturings- als de marktvariant aangegeven.



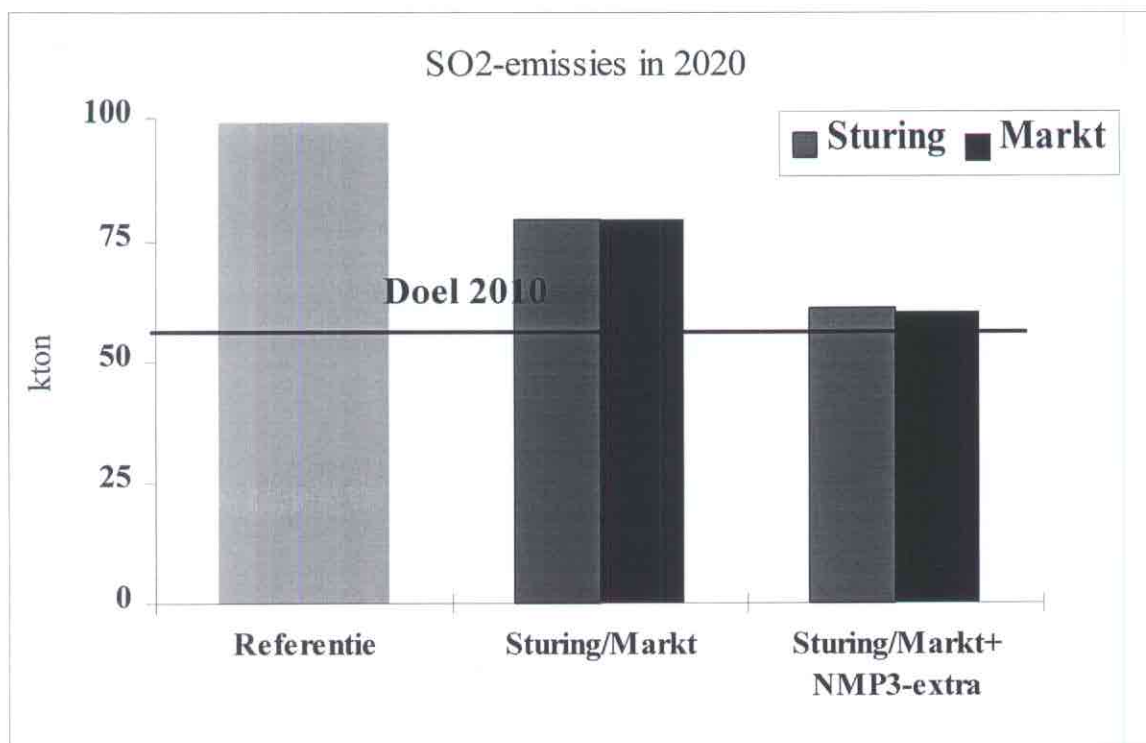
Figuur 5.3 Reductie van SO<sub>2</sub> in 2020 in de sturings- en de marktvariant met een onderscheid naar de bijdrage van de verschillende reductievelden.

Bij de doelgroep verkeer en vervoer vindt in 2020 in de sturings- en marktvariant globaal een halvering plaats van de emissies van SO<sub>2</sub> bij de *dieselveertuigen* van het *wegverkeer*. Dit is voornamelijk het gevolg van de vervanging van diesel door biobrandstoffen die nauwelijks zwavel bevatten. Doordat het grootste deel van de SO<sub>2</sub> emissies bij verkeer en vervoer echter wordt veroorzaakt door de scheepvaart dalen de totale SO<sub>2</sub>-emissies bij deze doelgroep in 2020 maar met 12% ten opzichte van het referentiescenario.

Bij de *stationaire bronnen* worden in 2010 de emissies met circa 8% gereduceerd ten opzichte van het referentiescenario doordat kolencentrales vervroegd worden gesloten. In 2020 zorgt de inzet van biomassa voor een lichte toename van de SO<sub>2</sub>-emissies. Biomassa bevat een geringe hoeveelheid zwavel en doordat biomassa wordt ingezet ter vervanging van aardgas neemt de SO<sub>2</sub>-emissie licht toe ten opzichte van de referentiesituatie. Uiteindelijk blijven de emissies voor de stationaire bronnen in de sturings- en marktvariant op ongeveer hetzelfde niveau als in de referentiesituatie.

Implementatie van het **NMP3-extra** beleid zorgt in de sturings- en de marktvariant voor een additionele reductie van circa 18% van de SO<sub>2</sub>-emissies. De overschakeling van stookolie naar aardgas bij de raffinaderijen en de verlaging van het zwavelgehalte van stookolie voor zeeschepen zijn oorzaken voor deze daling. Figuur 5.4 geeft een overzicht van de SO<sub>2</sub>-emissies voor de verschillende varianten.





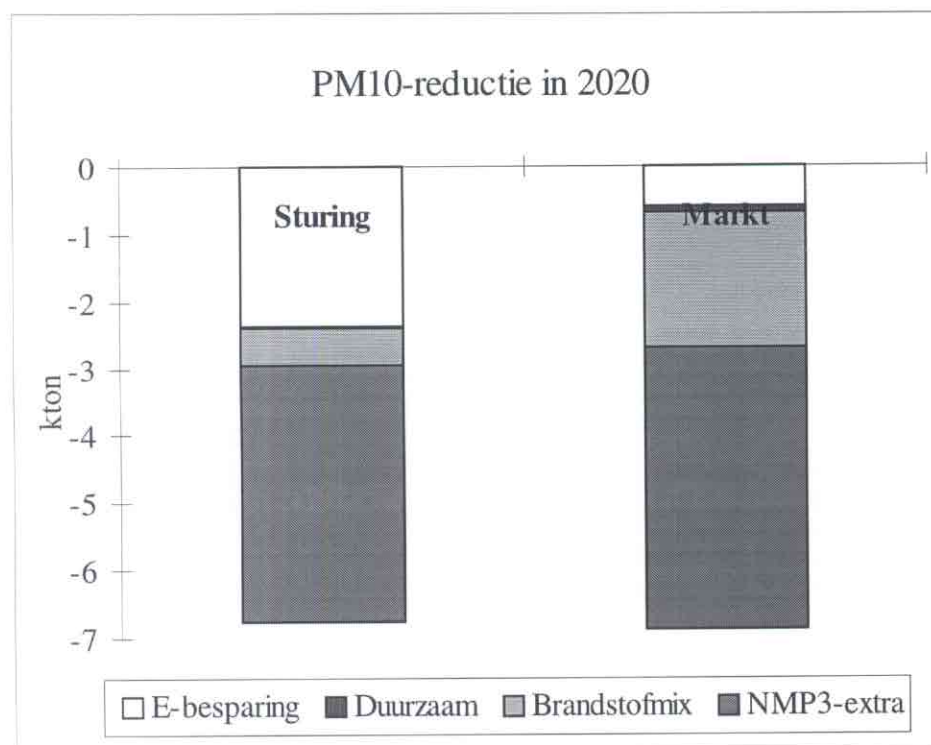
Figuur 5.4 Emissies van SO<sub>2</sub> in 2020 in de sturings- en de marktvariant met en zonder het NMP3-extra beleid.

## 5.5. Fijn stof (PM<sub>10</sub>)-emissies

In tabel 5.5 zijn de emissies van PM<sub>10</sub> in het referentiescenario en voor de sturings- en marktvariant opgenomen. In de twee beleidsvarianten treedt een daling op van de emissies van PM<sub>10</sub> in 2020 van 3 - 5%. In figuur 5.5 is de bijdrage van de verschillende CO<sub>2</sub> - reductievelden aan de emissiereductie van fijn stof aangegeven.

Tabel 5.5 PM<sub>10</sub>-emissies voor de periode 1995, 2010 en 2020 in het referentiescenario (GC-MV4+NMP3) en voor de sturings- en marktvariant.

	1995	2010			2020		
		Ref	Sturing-	Markt	Ref	Sturing	Markt
miljoen kg							
Consumenten	10	8	8	8	8	8	8
Verkeer en vervoer	17	13	12	13	15	12	13
Industrie	14	10	11	11	10	11	13
Hdo+overig	1	0	0	0	0	0	0
Energiebedrijven <sup>1</sup>	1	1	0	0	0	0	0
Raffinaderijen	5	2	2	2	2	2	2
TOTAAL	48	34	33	34	36	33	36

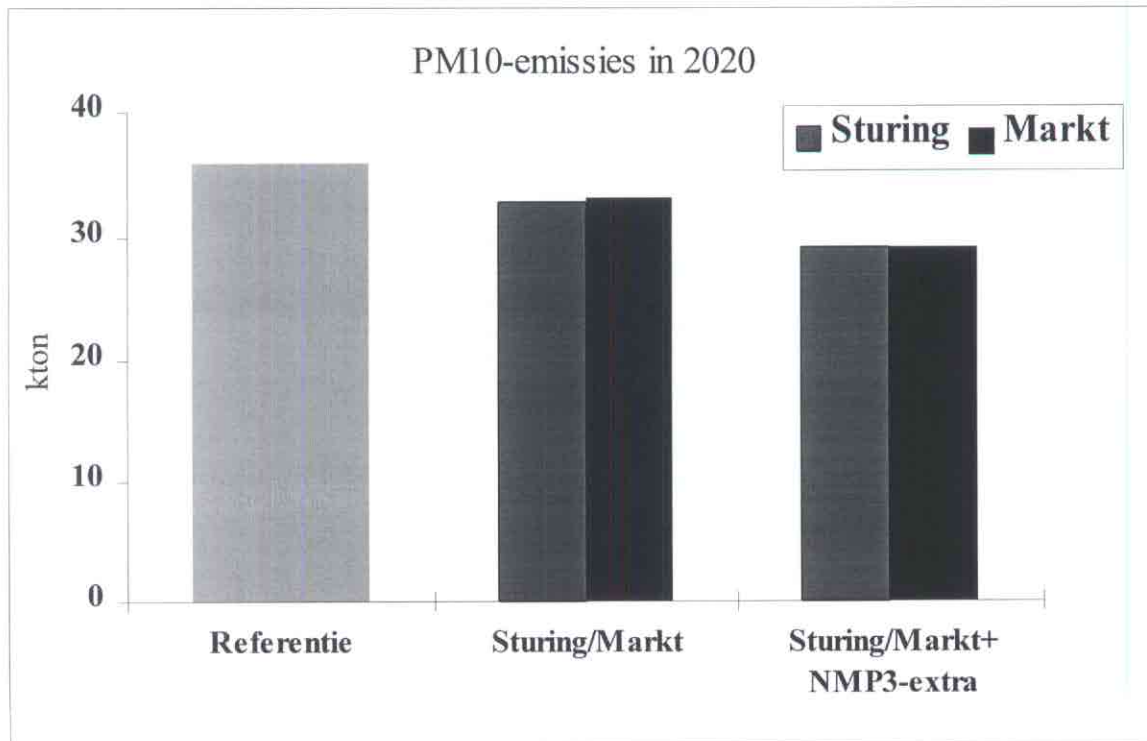


Figuur 5.5 Reductie van  $PM_{10}$  in 2020 in de sturings- en de marktvariant met een onderscheid naar de bijdrage van de verschillende reductievelden.

Bij *mobile bronnen* zorgt de inzet van biobrandstoffen (50% van de fossiele brandstoffen worden in 2020 vervangen door biobrandstoffen) voor een daling van de emissies van  $PM_{10}$  met circa 20%. Deze daling wordt met name veroorzaakt door een daling van de emissies bij de dieselveertuigen. De effecten van energiebesparing op de  $PM_{10}$ -emissies door de doelgroep verkeer en vervoer zijn klein.

Uit de tabel blijkt dat het niveau van de emissies van  $PM_{10}$  bij de *stationaire bronnen* vrijwel niet beïnvloed wordt door maatregelen in de sturings- en beleidsvariant. Door energiebesparing treedt een geringe daling op van de emissies van  $PM_{10}$  terwijl daarentegen de verschuiving naar de inzet van extra biomassa zorgt voor een lichte stijging.

In het NMP3 is geen aanvullend beleid geformuleerd ten aanzien van de  $PM_{10}$  emissies. De reducties liften echter gedeeltelijk mee met de maatregelen die worden uitgelokt met het  $SO_2$ -beleid. In 2020 levert dit een additionele emissiereductie van 3-4 kton die voor circa 80% bereikt wordt bij de doelgroep verkeer en vervoer. Figuur 5.6 geeft een overzicht van de  $PM_{10}$ -emissies voor de verschillende varianten.



Figuur 5.6 Emissies van  $PM_{10}$  in 2020 in de sturings- en de marktvariant met en zonder het NMP3-extra beleid.

## 5.6. VOS-emissies

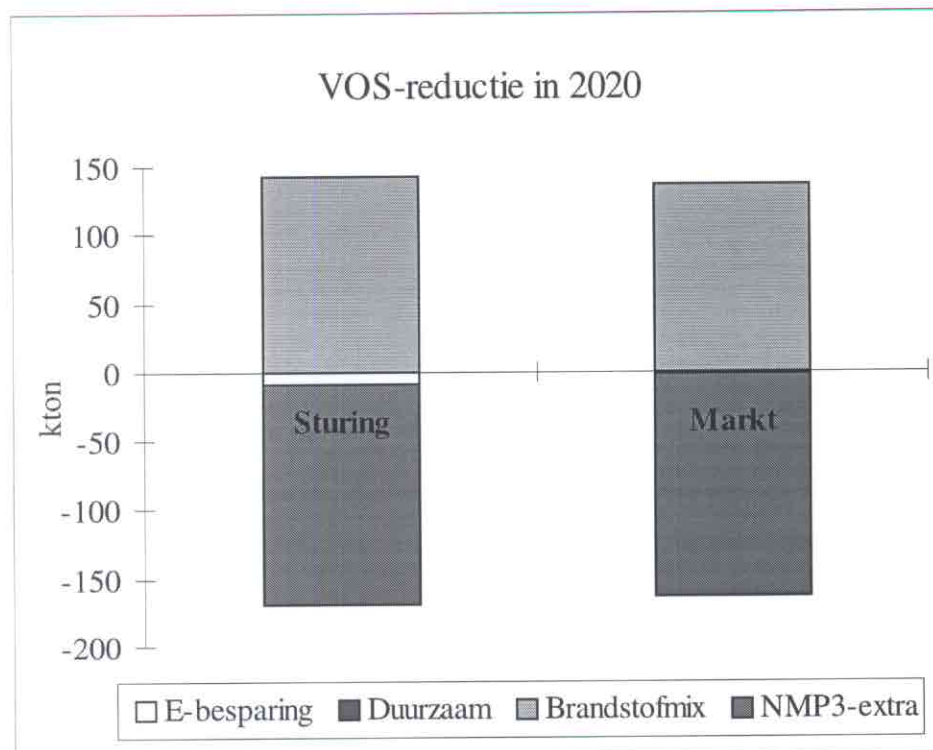
Van de overige emissies zijn, zoals reeds aangegeven in hoofdstuk 3, alleen de veranderingen in de omvang van de VOS-emissies bij de doelgroep verkeer en vervoer berekend. Tabel 5.6 geeft een overzicht van de VOS-emissies voor de twee beleidsvarianten ten opzichte van het referentiescenario.

Tabel 5.6 VOS-emissies in 1995, 2010 en 2020 voor het referentiescenario (GC-MV4+NMP3) en voor de sturings- en marktvariant.

	1995	2010			2020		
		Ref	Sturing	Markt	Ref	Sturing	Markt
miljoen kg							
Overig	209	176	176	176	202	202	202
Verkeer en vervoer	153	71	62	71	80	217	222
TOTAAL	362	247	238	247	282	419	424

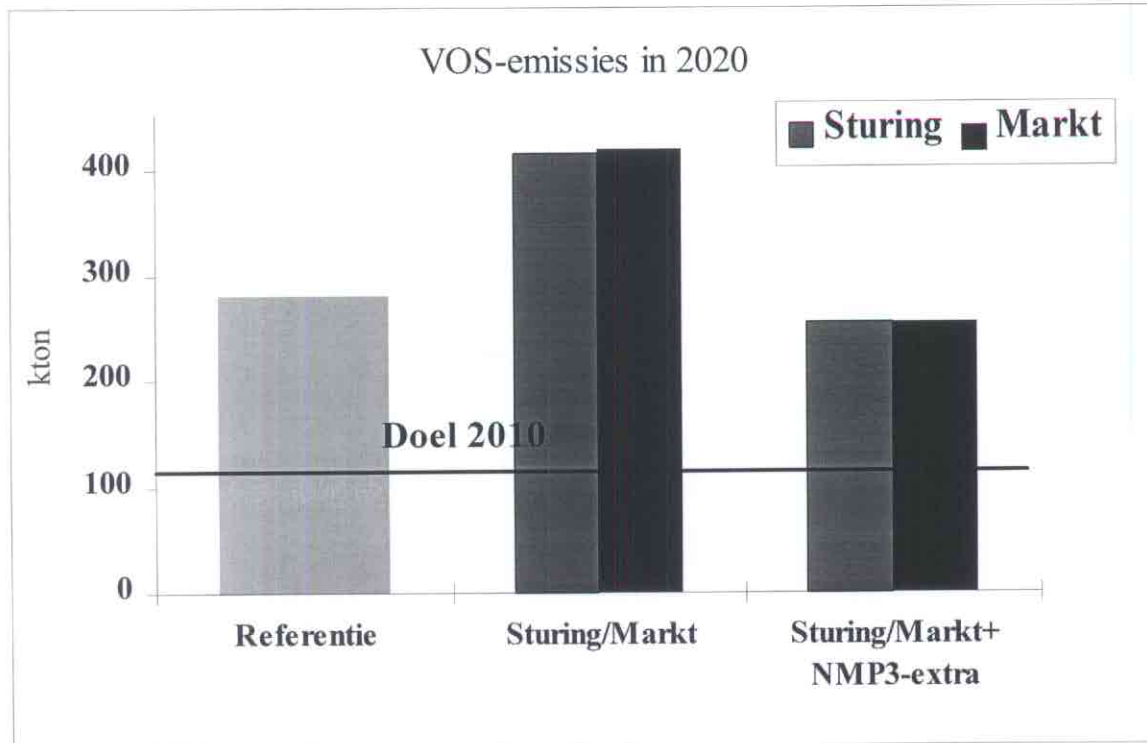
Doordat in de sturingsvariant meer energie wordt bespaard dan in de marktvariant dalen in de sturingsvariant de emissies in 2010 met circa 11% ten opzichte van de referentiesituatie. In 2020 nemen zonder verdere maatregelen de VOS-emissies toe met 48% in de sturingsvariant en met 50% in de marktvariant. Dit is het gevolg van het feit dat bij gebruik van methanol in zware dieselveertuigen zonder katalysator (het pre-Euro4 tijdperk) de emissiefactor voor VOS een factor tot 6 tot 18 hoger ligt dan in de situatie waarin diesel wordt gebruikt (tabel 4.5).

Figuur 5.7 geeft een overzicht van de bijdrage van de verschillende reductievelden aan de veranderingen in de emissies van VOS.



Figuur 5.7 Verandering van VOS-emissie in 2020 in de sturings- en de marktvariant met een onderscheid naar de bijdrage van de verschillende reductievelden.

Implementatie van het **NMP3-extra** beleid leidt tot een daling van de VOS-emissies met circa 8% ten opzichte van de referentiesituatie in zowel de sturings- en marktvariant. De reducties zijn het gevolg van de invoering van strengere kwaliteitseisen voor brandstoffen en Euro4 normen voor vrachtwagens en bussen. Hierbij is verondersteld dat vrachtwagens die op methanol rijden worden voorzien van een oxidatiekatalysator en voertuigen die op diesel rijden worden voorzien van de deNOx-katalysator. In figuur 5.8 zijn de emissies voor de verschillende varianten aangegeven.



Figuur 5.8 Emissies van VOS in 2020 in de sturings- en de marktvariant met en zonder het NMP3-extra beleid.

### 5.7. Backstops: mogelijkheden voor verdere reductie van de NO<sub>x</sub>-, SO<sub>2</sub>-, fijn stof- en VOS emissies.

Het tweede doel van deze studie is aan te geven wat de mogelijkheden zijn om met de inzet van backstoptechnologieën als onderdeel van vergaande CO<sub>2</sub>-reducties, tegelijkertijd de emissies van de overige macrocomponenten te reduceren. In tabel 5.7 zijn de emissies van NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub> voor de backstoptechnologieën in de sturings- en marktvariant opgenomen.

Tabel 5.7 Restemissies van backstoptechnologieën in de sturings- en marktvariant in 2020

miljoen kg	Sturing		Markt	
	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>
TOTAAL emissie biomassa in 2020	66	1	72	2
w.v. biomassa voor ondervuring	9	1	10	2
w.v. biomassa voor productie waterstof	1	0	1	0
w.v. biobrandstoffen voor transport	56	0	60	0
TOTAAL emissies CO <sub>2</sub> -opslag in 2020	9	2	8	1
w.v. warmte/kracht op aardgas met CO <sub>2</sub> -opslag	8	0	8	0
w.v. poederkoolcentrale met CO <sub>2</sub> -opslag	1	2	0	1
TOTAAL backstoptechnologieën	75	3	79	3

De totale emissies van NO<sub>x</sub> bij de inzet van backstoptechnologieën, bedragen tussen de 75 en 80 kton. Dit is circa 25% van de resterende emissies in 2020 bij inzet van zowel het NMP3-beleid als het NMP3-extra beleid. Voor SO<sub>2</sub> betreft dit circa 4% van de resterende emissies in 2020. Deze paragraaf schetst verschillende mogelijkheden om deze emissies verder te reduceren.

#### *Biomassa voor ondervuring*

De emissies voor biomassa voor ondervuring kunnen verder worden gereduceerd door de biomassa te vergassen en het stookgas na reiniging te gebruiken voor de productie van waterstof. Daarmee wordt de SO<sub>2</sub> die vrijkomt bij de verbranding van biomassa vrijwel volledig afgevangen. De geproduceerde waterstof kan zodanig worden ingezet dat de emissies van NO<sub>x</sub> worden geminimaliseerd. Mogelijke opties zijn:

- gebruik van waterstof in combinatie met een brandstofcel. Bij gebruik van een brandstofcel komt vrijwel geen NO<sub>x</sub> vrij. De investeringskosten van een warmte/krachtinstallatie op basis van een brandstofcel liggen momenteel nog een factor 2 tot 3 hoger (Ybema, 1995) dan voor een conventionele warmte/krachtinstallatie op basis van een STEG op aardgas.
- verbranden van waterstof met zuivere zuurstof. Bij verbranding van waterstof met zuivere zuurstof ontstaat alleen water en worden NO<sub>x</sub>-emissies volledig vermeden.

Bij de productie van waterstof uit biomassa treden rendementsverliezen op waardoor ten opzichte van de situatie waarin biomassa direct wordt ingezet voor ondervuring meer biomassa nodig zal zijn om aan de energiebehoefte te voldoen. De kosten van CO<sub>2</sub> reductie bij het gebruik van biomassa voor ondervuring liggen tussen de 100-200 gld per ton vermeden CO<sub>2</sub> (Beeldman *et al*, 1998). Door biomassa eerst om te zetten in waterstof en zodanig in te zetten voor de productie van energie dat NO<sub>x</sub>-emissies vrijwel volledig worden vermeden veroorzaken een stijging van de kosten per vermeden ton CO<sub>2</sub> met een factor 2-6 (Boels *et al*, 1994 en Wees *et al*, 1994).

#### *Biobrandstoffen voor transport*

Door de biobrandstoffen in de transportsector in te zetten in brandstofcellen in plaats van in een verbrandingsmotor kunnen de emissies van NO<sub>x</sub> met meer dan 95% worden gereduceerd. In een brandstofcel kan methanol worden omgezet in CO<sub>2</sub> en water waarbij daarnaast kleine hoeveelheden CO en NO<sub>x</sub> worden gevormd. Vanwege het hogere rendement van een brandstofcel ligt het brandstofverbruik per verreden kilometer in 2020 naar verwachting voor een brandstofcel ongeveer 50% lager dan voor een verbrandingsmotor (Ybema, 1995). Dit betekent dat voor eenzelfde CO<sub>2</sub>-reductie maar de helft van de in de beleidsvarianten veronderstelde hoeveelheid biobrandstoffen nodig is.

Bij het gebruik van biobrandstoffen in combinatie met brandstofcelvoertuigen zullen bij de huidige productiekosten van brandstofcellen de kosten voor transport fors toenemen. De kosten voor CO<sub>2</sub> reductie bij gebruik van biobrandstoffen in combinatie met een verbrandingsmotor, zoals verondersteld in de basisvariant, liggen tussen de 150-300 gulden per vermeden ton CO<sub>2</sub> (Beeldman *et al*, 1998). Bij gebruik van methanol in combinatie met een brandstofcel zullen bij het huidige kostenniveau van een brandstofcel de kosten per vermeden ton CO<sub>2</sub> met een factor 8-10 toenemen. Naar verwachting zullen de investeringskosten echter dalen en liggen deze in 2020 voor een auto met brandstofcel nog een factor 2 hoger ten opzichte van een zuinige personenauto met verbrandingsmotor (Ybema, 1995).

### *CO<sub>2</sub>-verwijdering*

Als alternatief voor de verwijdering van CO<sub>2</sub> uit rookgassen met behulp van een chemische absorbans kan het aardgas of de kolen worden verbrand met zuivere zuurstof. De rookgassen bestaan dan vrijwel volledig uit CO<sub>2</sub> en er wordt geen NO<sub>x</sub> gevormd. De kosten van verbranding met zuivere zuurstof liggen in dezelfde orde van grootte (70 gld/vermeden ton CO<sub>2</sub>)<sup>1</sup> als bij het gebruik van een absorbans (Herzog, 1996).

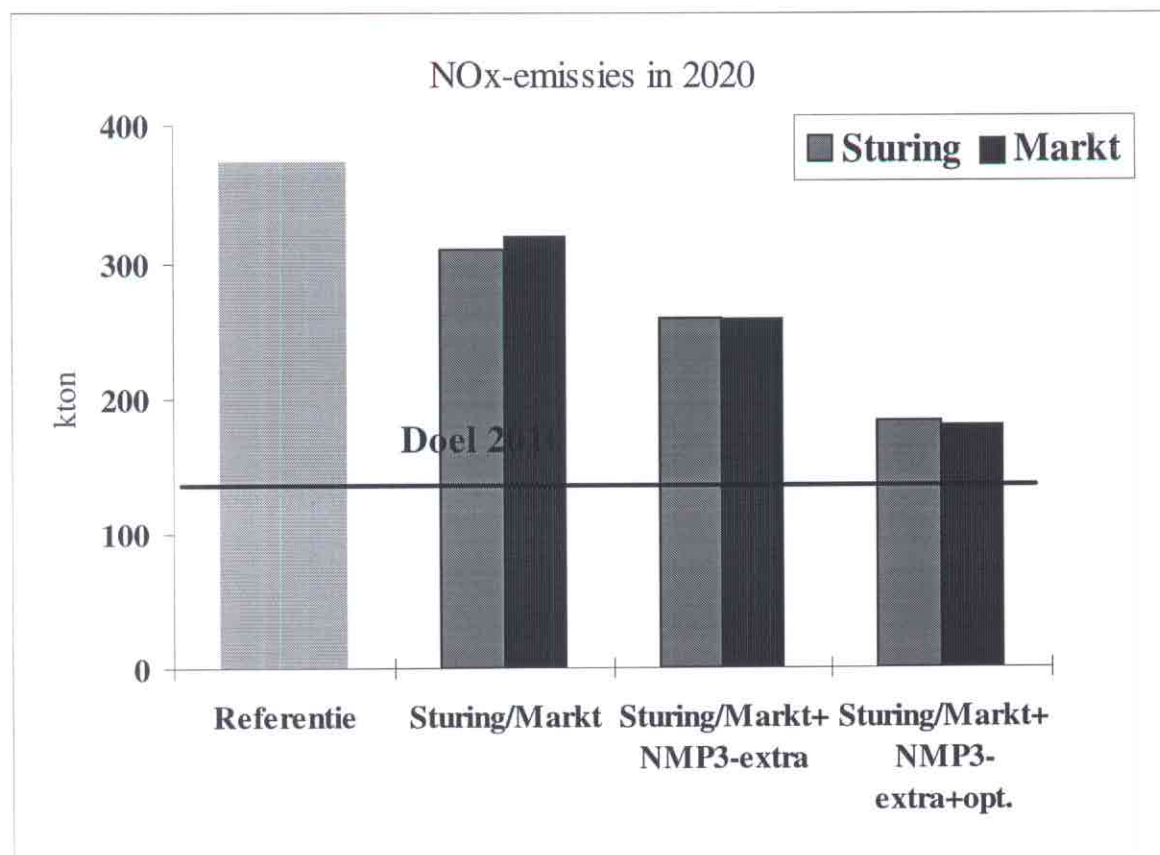
De milieuwinst van CO<sub>2</sub>-verwijdering en opslag kan verder worden vergroot door CO<sub>2</sub>-opslag toe te passen bij installaties die gestookt worden op zwavelhoudende brandstoffen. De SO<sub>2</sub> die wordt gevormd bij de verbranding van deze brandstoffen kan zonder extra kosten tegelijkertijd met de CO<sub>2</sub> worden verwijderd en opgeslagen. Door toepassing van CO<sub>2</sub> verwijdering bij installaties gestookt op zwavelhoudende brandstoffen zou een forse reductie van de SO<sub>2</sub> emissies bij de raffinaderijen en de chemische industrie kunnen worden bereikt.

### *Biomassa en CO<sub>2</sub>-opslag*

Een andere mogelijkheid vormt de combinatie van waterstofproductie uit biomassa met CO<sub>2</sub>-opslag. Bij de productie van waterstof ontstaat een geconcentreerde CO<sub>2</sub> stroom die relatief goedkoop (ten opzichte van het verwijderen van CO<sub>2</sub> uit rookgassen) kan worden verwijderd en opgeslagen. In (CE, 1996) is aangegeven dat de kosten van waterstofproductie in zo'n geval toenemen met 5-6%.

---

<sup>1</sup> Dit zijn dus alleen de verwijderingskosten hier komt nog 30-100 gulden per ton bij voor de opslag van CO<sub>2</sub>.



*Figuur 5.9 Mogelijkheden voor verdere reductie van de NO<sub>x</sub>-emissies bij optimalisatie van de inzet van backstoptechnologieën.*

### *Conclusie*

Door de backstoptechnologieën uit de basisvariant te combineren met de inzet van nieuwe technieken kunnen, naast de CO<sub>2</sub>-reducties, de emissiereducties voor NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub> ten opzichte van het referentiescenario oplopen tot circa 50% respectievelijk 25%. De kosten per vermeden ton CO<sub>2</sub> zullen daarbij ten opzichte van de inzet van technieken in de basisvariant met een factor 2 tot 10 toenemen. Figuur 5.9 geeft een totaalbeeld van de mogelijkheden die in dit hoofdstuk zijn besproken om de emissies van NO<sub>x</sub> te reduceren.



## 5.8. Conclusies

Tabel 5.8 geeft mogelijke emissiereducties voor de sturings- en marktvariant ten opzichte van het referentiescenario zonder vergaand beleid, bij NMP3-extra beleid en bij optimalisatie van de ingezette technieken.

*Tabel 5.8 Procentuele daling van de emissies van CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> en VOS in 2020 ten opzichte van het referentiescenario voor de verschillende varianten.*

	Sturing	Markt	Sturing +NMP3-extra	Markt +NMP3-extra	Sturing +opt.	Markt +opt.
% daling t.o.v. Ref						
CO <sub>2</sub>	-38%	-38%	-38%	-38%	-38%	-38%
NO <sub>x</sub>	-18%	-14%	-31%	-30%	-51%	-49%
SO <sub>2</sub>	-4%	-3%	-22%	-22%	-25%	-25%
PM <sub>10</sub>	-8%	-0%	-17%	-11%	-22%	-17%
VOS	+48%	+50%	-8%	-8%	-13%	-13%

Ten opzichte van het referentiescenario dalen de emissies van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, en PM<sub>10</sub> in de sturings- en de marktvariant tussen de 3 en 18%. Emissiereducties worden in dit geval met name bereikt door de inzet van energiebesparingsmaatregelen, duurzame energie en de omschakeling naar biobrandstoffen bij de doelgroep verkeer en vervoer. De VOS-emissies nemen zonder verdere maatregelen aan de voertuigen in de sturingsvariant toe met circa 50%.

Bij inzet van het NMP3-extra beleid kan met name bij de doelgroep verkeer en vervoer een extra emissiereductie worden bereikt. De VOS-emissies kunnen in dat geval dalen met circa 8%. De grootste emissiereducties worden bereikt wanneer naast de inzet van het NMP3-extra beleid de inzet van backstoptechnologieën wordt gecombineerd met nieuwe technieken waarbij de vorming van verbrandingsemissies wordt voorkomen.

## 6. Conclusies en aanbevelingen

Een daling van de Nederlandse CO<sub>2</sub> -emissies met 38% ten opzichte van het referentiescenario leidt zowel in de sturings- als de marktvariant eveneens tot een daling van de lokale emissies van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en PM<sub>10</sub>. Zonder verdere maatregelen stijgen de emissies van VOS met circa 50% ten opzichte van het referentiescenario. Dit is het gevolg van een grotere emissie bij het wegverkeer bij de inzet van biobrandstoffen. Inzet van het NMP3-extra beleid leidt voor alle stoffen tot een (verdere) daling van de emissies. In tabel 6.1 zijn de emissiereducties ten opzichte van het referentiescenario voor de verschillende beleidsvarianten naast elkaar gezet.

Tabel 6.1 Procentuele daling van de emissies van CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> en VOS in 2020 ten opzichte van het referentiescenario (GC-MV4+NMP3) voor de verschillende varianten.

	Ref+NMP3-extra	Sturing	Markt	Sturing +NMP3-extra	Markt +NMP3-extra
% daling t.o.v. Ref					
CO <sub>2</sub>	-10%	-38%	-38%	-38%	-38%
NO <sub>x</sub>	-29%	-18%	-14%	-31%	-30%
SO <sub>2</sub>	-23%	-4%	-3%	-22%	-22%
PM <sub>10</sub>	-8%	-8%	-0%	-17%	-8%
VOS	-6%	+48%	+50%	-8%	-8%

Door een grotere inzet van energiebesparingsmaatregelen dalen de emissies in de sturingsvariant relatief sneller dan in de marktvariant. In 2020 wordt in de sturingsvariant circa 40% en in de marktvariant circa 15% van de emissiereductie bereikt door de inzet van energiebesparingsmaatregelen. De resterende daling wordt met name bereikt door het omschakelen naar biobrandstoffen bij verkeer en vervoer. De reductie van de NO<sub>x</sub>-emissies is het grootst doordat een relatief sterke daling optreedt bij het wegverkeer door de overschakeling van fossiele brandstoffen op biobrandstoffen. De SO<sub>2</sub>- en PM<sub>10</sub>-emissies vertonen in beide varianten een relatief geringe daling, die met name het gevolg is van de vermindering van de emissies bij de dieselloertuigen voor het wegverkeer. Bij omschakeling van diesel naar methanol bij zware voertuigen stijgen de VOS-emissies, omdat de emissiefactor voor VOS voor methanol een factor 6-18 hoger ligt dan bij gebruik van diesel.

Bij implementatie van het NMP3-extra beleid kunnen de emissiereducties in de sturings- en de marktvariant voor NO<sub>x</sub> oplopen tot 30% en voor SO<sub>2</sub> tot 22%. De daling van de NO<sub>x</sub> emissies is met name het gevolg van de aanscherping van de emissienormen voor verkeer. Voor SO<sub>2</sub> wordt door de inzet van het NMP3-extra beleid een relatief grote reductie bereikt door beleid gericht op het terugdringen van de SO<sub>2</sub>-emissies bij de raffinaderijen en de binnenvaart. De emissies van VOS dalen bij inzet van het NMP3-extra beleid met circa 8% waarbij is

verondersteld dat vrachtwagens die op methanol rijden aan de Euro 4 normen moeten voldoen en daarom worden uitgerust met een katalysator.

Tabel 6.1 laat zien dat inzet van NMP3-extra beleid leidt tot een daling van de CO<sub>2</sub> emissies met circa 10% en een daling van de overige emissies met 6% (VOS) tot 29% (NO<sub>x</sub>) ten opzichte van de het referentiescenario (GC-MV4 + NMP3). In de sturings- en marktvariant liften de emissiereducties van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, en PM<sub>10</sub> mee met het ingezette CO<sub>2</sub>-beleid. Hiermee wordt 20% tot 100% van de emissiereducties bereikt die ook kan worden bereikt met de inzet van het NMP3-extra bereid voor deze stoffen.

Door de inzet van nieuwe technologieën te combineren met de backstoptechnologieën kunnen naast CO<sub>2</sub> -reducties, eveneens verdergaande reductie van de lokale emissies van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, fijn stof en VOS worden bereikt. Door bijvoorbeeld biobrandstoffen te combineren met een brandstofcel kunnen de NO<sub>x</sub>-emissies vrijwel volledig worden vermeden. Voor NO<sub>x</sub> kan op het optimaal combineren van technieken in 2020 een reductie worden bereikt van circa 50% ten opzichte van het referentiescenario (zie tabel 6.2). De kosten per vermeden ton CO<sub>2</sub> kunnen daarbij, ten opzichte van de inzet van technieken in de basisvariant, meer dan verdubbelen. Hierbij moet worden aangetekend dat de kostencijfers veelal gebaseerd zijn op het huidige (hoge) kostenniveau van de beschreven technieken en dat slechts beperkt rekening is gehouden met kostendalingen bij grootschalige introductie van deze technieken.

*Tabel 6.2 Procentuele daling van de emissies van CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> en VOS in 2020 ten opzichte van het referentiescenario voor de sturing- en marktvariant bij optimalisatie van de inzet van backstoptechnologieën.*

	Sturing+opt.	Markt+opt.
% daling t.o.v. Ref		
CO <sub>2</sub>	-38%	-38%
NO <sub>x</sub>	-51%	-49%
SO <sub>2</sub>	-25%	-25%
PM <sub>10</sub>	-22%	-17%
VOS	-13%	-13%

De emissies van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> en VOS zouden in de twee beleidsvarianten verder kunnen dalen door in plaats van backstoptechnologieën verdergaand in te zetten op energiebesparing en duurzame energie. De emissies van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> en VOS liften bij de inzet van energiebesparingsmaatregelen automatisch mee met de reductie van CO<sub>2</sub>. Het energiebesparingspotentieel dat in de modellen is opgenomen wordt in twee beleidsvariant vrijwel volledig ingezet. Hieruit zou de conclusie getrokken kunnen worden dat het potentieel voor verdere energiebesparing beperkt is. De kennis van de wat duurdere energiebesparingsmaatregelen is momenteel echter beperkt. Het is daarom niet onwaarschijnlijk dat bij het gewenste verdergaande beleid de energiebesparingspotentielen groter blijken te zijn dan nu op basis van de modellen is ingeschat. Het verdient daarom

aanbeveling onderzoek te doen naar de beschikbaarheid van energiebesparingsmaatregelen met kosten tussen de 100 - 200 gulden per ton.

Bij de conclusies in deze studie over de inzet van geïmporteerde biomassa moet worden bedacht dat alleen gekeken is naar de veranderingen in de lokale emissies. Uit de literatuur blijkt dat deze benadering mogelijk leidt tot een overschatting van de te bereiken milieuvoordelen door de inzet van biomassa. Om te kunnen beoordelen in hoeverre de inzet van biomassa op (mondiale) schaal een duurzame optie is zal de hele milieuketen in ogenschouw moeten worden genomen.

## Samenvatting

In de Vervolgnota Klimaatverandering is aangekondigd dat er een verkenning zal worden uitgevoerd naar de mogelijkheden om in Nederland een reductie van de broeikasgasemissies met 1% à 2% per jaar te realiseren. Deze studie vormt een onderdeel van de verkenning naar de mogelijkheden voor vergaande CO<sub>2</sub>-reducties op de lange termijn (2020). Het ECN heeft allereerst gekeken naar de technische mogelijkheden en kosten van een reductie van de broeikasgasemissies met 32% in 2020 ten opzichte van het Kyoto referentieniveau. De verkenning is uitgevoerd aan de hand van een tweetal varianten (Sturing en Markt) op het Global Competition scenario uit de Lange Termijn Verkenning. De varianten verschillen met name in de keuze van ingezet beleidsinstrumentarium.

Een reductie van 32% ten opzichte van het Kyoto referentieniveau komt overeen met 136 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten ten opzichte van het geprognostiseerde niveau in 2020 voor het Global Competition scenario. Verondersteld is dat 41 Mton gereduceerd kan worden in het buitenland, door bosaanplant en bij de overige broeikasgassen zodat een reductie resteert van 95 Mton CO<sub>2</sub>. Tabel 0.1 geeft een overzicht van de wijze waarop de emissiereducties zijn ingezet in de twee beleidsvarianten.

Tabel 0.1 CO<sub>2</sub>-reductie in de sturings- en marktvariant in 2020 (Mton)

	Sturing	Markt
Energiebesparing + efficiencyverbeteringen	37	26
Inzet biomassa	36	36
CO <sub>2</sub> -verwijdering en opslag	20	30
Import	0	3
TOTAAL	95	95

Deze studie beschrijft de resultaten van de doorrekening van de twee beleidsvarianten op hun effecten op de verandering in de lokale emissies van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, fijn stof en VOS. Tevens is een indicatie gegeven van de mogelijkheden om met de ingezette backstoptechnologieën (biomassa en CO<sub>2</sub>-verwijdering), naast vergaande CO<sub>2</sub>-reducties, de emissies van bovengenoemde stoffen te verminderen en is een indicatieve schatting gemaakt van de kosten die hiermee zijn gemoeid.

De twee beleidsvarianten zijn doorerekend tegen de achtergrond van een *referentiescenario* (GC-MV4+NMP3) waarin zowel rekening is gehouden met de effecten van het beleid in het Global Competition scenario uit de vierde Milieuverkenning als concrete beleidsinstrumenten uit het Nationaal Milieubeleidsplan 3 (NMP3). Hierbij is bekeken wat de afzonderlijk bijdrage is van de verschillende CO<sub>2</sub>-reductiemogelijkheden op de emissies van de verschillende stoffen. Daarnaast is bekeken wat de bijdrage is van het NMP3-extra pakket op de emissies

van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> en VOS. Tabel 0.2 geeft de resultaten van de doorrekening van de verschillende beleidsvarianten.

*Tabel 0.2 Procentuele daling van de emissies van CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> en VOS in 2020 ten opzichte van het referentiescenario (GC-MV4+NMP3) voor de verschillende varianten.*

	Ref+NMP3-extra	Sturing	Markt	Sturing +NMP3-extra	Markt +NMP3-extra
% daling t.o.v. Ref					
CO <sub>2</sub>	-10%	-38%	-38%	-38%	-38%
NO <sub>x</sub>	-29%	-18%	-14%	-31%	-30%
SO <sub>2</sub>	-23%	-4%	-3%	-22%	-22%
PM <sub>10</sub>	-8%	-8%	-0%	-17%	-8%
VOS	-6%	+48%	+50%	-8%	-8%

Een daling van de Nederlandse CO<sub>2</sub> -emissies met 38% ten opzichte van het referentiescenario leiden zowel in de sturings- als de marktvariant eveneens tot een daling van de lokale emissies van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en PM<sub>10</sub>. Zonder verdere maatregelen stijgen de emissies van VOS met circa 50% ten opzichte van het referentiescenario. Dit is het gevolg van een grotere emissie bij het wegverkeer bij de inzet van biobrandstoffen. Inzet van het NMP3-extra beleid leidt voor alle stoffen tot een (verdere) daling van de emissies. In tabel 6.1 zijn de emissiereducties ten opzichte van het referentiescenario voor de verschillende beleidsvarianten naast elkaar gezet.

Bij implementatie van het NMP3-extra beleid kunnen de emissiereducties in de sturings- en de marktvariant voor NO<sub>x</sub> oplopen tot 30% en voor SO<sub>2</sub> tot 22%. De emissies van VOS dalen bij inzet van het NMP3-extra beleid met circa 8% waarbij is verondersteld dat vrachtwagens die op methanol rijden aan de Euro 4 normen moeten voldoen en daarom worden uitgerust met een katalysator.

Tabel 0.2 laat zien dat inzet van NMP3-extra beleid leidt tot een daling van de CO<sub>2</sub> emissies met circa 10% en een daling van de overige emissies met 6% (VOS) tot 29% (NO<sub>x</sub>) ten opzichte van de het referentiescenario (GC-MV4 + NMP3). In de sturings- en marktvariant liften de emissiereducties van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, en PM<sub>10</sub> mee met het ingezette CO<sub>2</sub>-beleid. Hiermee wordt 20% tot 100% van de emissiereducties bereikt die ook kan worden bereikt met de inzet van het NMP3-extra bereid voor deze stoffen.

Door de inzet van nieuwe technologieën te combineren met de backstoptechnologieën kunnen naast CO<sub>2</sub> -reducties, eveneens verdergaande reducties van de lokale emissies van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, fijn stof en VOS worden bereikt. Door bijvoorbeeld biobrandstoffen te combineren met een brandstofcel kunnen de NO<sub>x</sub>-emissies vrijwel volledig worden vermeden. Voor NO<sub>x</sub> kan op het optimaal combineren van technieken in 2020 een reductie worden bereikt van circa 50% ten opzichte van het referentiescenario (zie tabel 0.3). De kosten per vermeden ton CO<sub>2</sub>

kunnen daarbij, ten opzichte van de inzet van technieken in de basisvariant, meer dan verdubbelen. Hierbij moet worden aangetekend dat de kostencijfers veelal gebaseerd zijn op het huidige (hoge) kostenniveau van de beschreven technieken en dat slechts beperkt rekening is gehouden met kostendalingen bij grootschalige introductie van deze technieken.

*Tabel 0.3 Procentuele daling van de emissies van CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> en VOS in 2020 ten opzichte van het referentiescenario voor de sturing- en marktvariant bij optimalisatie van de inzet van backstoptechnologieën.*

	Sturing+opt.	Markt+opt.
% daling t.o.v. Ref		
CO <sub>2</sub>	-38%	-38%
NO <sub>x</sub>	-51%	-49%
SO <sub>2</sub>	-25%	-25%
PM <sub>10</sub>	-22%	-17%
VOS	-13%	-13%

## Literatuur

- Beeldman et al, 1998. Mogelijkheden voor CO<sub>2</sub> -reductie in 2020. ECN, Petten (te verschijnen).
- Boels L, G. Bergsma, B. Van den Haspel, F. Rooijers, 1994. Syrenestuide. Infrastructuur Brandstoffen en Conversie van energiedragers met nadruk op waterstof. Centrum voor Energiebesparing en Schone Technologie, Delft.
- Boo de W, 1993. Environmental and Energy Aspects of Liquid Biofuels. Centrum voor energiebesparing en schone technologie, Delft.
- Bruetsch, R.I., K.H. Hellman (1992), Evaluation of a passenger car equipped with a direct injection neat methanol engine, SAE-paper 920196, SAE, Warrendale, USA
- Bürgler, L. P.L. Herzog, P. Zelenka (1992), Strategies to meet US 1994/95 diesel engine federal emission legislation for HSDI diesel engine powered vehicles, IMechE
- CE, 1996. Waterstof in aardgasland. Nieuwe mogelijkheden voor bestrijding van het broeikaseffect. Centrum voor energiebesparing en schone technologie, Delft.
- CE, 1997. CO<sub>2</sub>-opslag. Panacee voor het klimaatprobleem? Centrum voor Energiebesparing en Schone Technologie, Delft.
- CPB, 1997. Economie en fysieke omgeving. Beleidsopgaven en oplossingsrichtingen 1995-2020. Centraal Planbureau, Den Haag.
- ECN, 1998. Seple bestanden februari 1998.
- Eggels et al, 1997. Emissievergelijking thermische benutting van biomassa. TNO-MEP- R 97/487, Apeldoorn.
- Faaij (1997). Energy from biomass and waste. Proefschrift. Universiteit Utrecht.
- Herzog H.J en E.M. Drake, 1996. Carbon dioxide recovery and disposal from large energy systems. Annual Review Energy and Environment. Volume 21.
- Farla et al (1992) Carbon dioxide recovery from Industrial processes. Universiteit Utrecht, vakgroep Natuurwetenschap en Samenleving.
- Michaelis L (1995). The abatement of airpollution from motor vehicles, the role of alternative fuels. Journal of transport and economics and policy. Jan. 1995, page 71-84
- Rideout G, M. Krisch and Hatt. C. Prakash (1994). Emissions from methanol, ethanol and diesel powered urban transport buses. SAE-paper nr 942261.
- RIVM, 1996. Achtergronden bij: Milieubalans 1996. Samson H.D. en Tjeenk Willink b.v., Alphen a/d Rijn.



- RIVM, 1997a. Nationale Milieuverkenning 4 1997-2020. Samson H.D. en Tjeenk Willink b.v., Alphen a/d Rijn.
- RIVM, 1997b. Achtergronden bij: Milieubalans 1997. Samson H.D. en Tjeenk Willink b.v., Alphen a/d Rijn.
- RIVM, 1998a. Milieurendement van het NMP3. RIVM, Bilthoven.
- RIVM, 1998b. Update National Communications.
- Sep, 1997. 3e Voortgangsrapportage betreffende de Bestrijding van SO<sub>2</sub>- en Nox-emissies van de Elektriciteitsproductiebedrijven in de jaren 1994 en 1995 in het kader van het Convenant. N.V. Samenwerkende elektriciteitsproductiebedrijven, Arnhem.
- Shell, 1997. PER+: de nieuwe toekomst van Pernis. Shell Venster, mei/juni 1997.
- Smit, R en E. Nieuwlaar, 1994. Life cycle Assesment of Integrated Coal Clasification Combined Cylcle. Universiteit Utrecht, rapportnummer 94021.
- Spakman et al, 1997. Methode voor het berekenen van broeikasgasemissies. Ministerie van VROM, Hoofdingspectie Milieuhygiene, Den Haag.
- Spakman, 1998. NO<sub>x</sub>-emissies bij stationaire bronnen in de MV4 scenario's en NMP3 (te verschijnen).
- Spakman, et al, 1998. Greenhouse gas emissions in the Netherlands 1990-1996. RIVM, Bilthoven.
- VROM, 1996. Vervolgnota Klimaatverandering, Den Haag.
- VROM, 1997a. Lange termijn klimaatverkenning (2020). Interne notitie directie Lucht en energie, mei 1997.
- VROM, 1997b. Emissies in Nederland. Trends, thema's en doelgroepen 1995 en ramingen 1996. Hoofdingspectie Milieuhygiene, Den Haag.
- VROM, 1998. Nationaal Milieubeleidsplan 3. Den Haag.
- Wees van, M, M. van Brummelen, A. van Wijk, 1994. Technologieverkenning warmte- en koudeproductie; conversie en opslag. Universiteit Utrecht, vakgroep Natuurwetenschap en Samenleving.
- Worrel, E en K. Blok, 1993. Energy savings in het nitrogen industry in the Netherlands.
- Ybema et al, 1995. Prospects for energy technologies in the Netherlands. Volume 2. Technology characterization and technology results. ECN, Petten.
- Zelenka, P., P. Kapus (1992), Development and vehicle application of a multi-fuel DI-alcohol engine, The vehicle and the environment, IMechE

## Verzendlijst

1. Directoraat-Generaal Milieubeheer, Directie Lucht en Energie
2. Plv. Directeur-Generaal Milieubeheer, Dr. Ir. B.C.J. Zoeteman
3. Plv. Directeur-Generaal Milieubeheer, Mr. G.J.R. Wolters
  
4. Ir A.J. Baayen - DGM/LE
5. Dhr. W.J. Lenstra - DGM/LE
6. Drs R.A.W. van den Wijngaart - DGM/LE
7. Drs F. Vlieg - DGM/LE
8. Drs W.F.G. Alblas - DGM/LE
9. Drs B.C.W. van Engelenburg - DGM/LE
10. Ir G. Grootveld - DGM/LE
11. Ing H.W. Holtering - DGM/LE
12. Drs M.E.B. van den Boogaart - DGM/LE
13. Drs H.C.G.M. Brouwer - DGM/GV
14. Ir J.H.A.M. Peeters - DGM/GV
  
15. Drs M. Beeldman, ECN/BS
16. Dr A.W.N. van Dril, ECN/BS
17. Ir H. Jeeninga, ECN/BS
18. Dr P.R. Koutstaal, ECN/BS
19. Ir P. Kroon, ECN/BS
20. Ir T.J. de Lange, ECN/BS
21. Ir M. Menkveld, ECN/BS
22. Ir J.R. Ybema, ECN/BS
23. Ir P.G.M. Boonekamp, ECN/BS
  
24. Dr C. Koopmans, CPB
25. Dr C. Hendriks, Ecofys
26. Ir KW Kwant, Novem
27. Ir P.G. Eggels, TNO-MEP
28. Drs R.C.J. de Vos, Energie en Milieuspectrum
  
29. Depot Nederlandse Publikaties en Nederlandse Bibliografie
  
30. Directie RIVM
31. Ir F. Langeweg, RIVM/SB5
32. Drs L.H.M. Kohsiek, RIVM/LAE
33. Dr D. van Lith, RIVM/LLO

34. Drs R.J.M. Maas, RIVM/MNV
  35. Dr B. Metz, RIVM/MNV
  36. Ir K. Wierenga, RIVM/MNV
  37. Drs E. Drissen, RIVM/MNV
  38. Ir R.A.W. Albers - RIVM/LLO
  39. Dr M.A.J. Kuijpers - Linde, RIVM/LAE
  40. Dr Th. G. Aalbers, RIVM/LAE
  41. Drs J. P. M. Ros, RIVM/LAE
  42. Drs D. Nagelhout, RIVM/LAE
  43. Ir J.R.K. Smit, RIVM/LAE
  44. Drs J.M. Joosten, RIVM/LAE
  45. Ir N.P.J. Hoogervorst, RIVM/LAE
  46. Dr G.P. van Wee, RIVM/LAE
  47. Ir E. Honig, RIVM/LAE
  48. Ir J. Spakman, RIVM/LAE
  49. Ing J.A. Montfoort, RIVM/LAE
- 
- 50-52 Auteurs
  53. Hoofd Bureau Voorlichting & Public Relations
  54. Bibliotheek RIVM
  55. Bureau Rapportenregistratie
  - 56-70 Rapportenbeheer
  - 71-90 Reserve exemplaren