

OKTOBER 1984

ESC-30

**OPTIMALE STRATEGIEËN VOOR DE BESTRIJDING VAN
ZURE REGEN VEROORZAKENDE SO₂ - EN NO_x-EMISSIONS
GEBASEERD OP BEREKENINGEN MET SELPE**

**F. VAN OOSTVOORN
W.G. VAN ARKEL**

SAMENVATTING

De voorliggende studie heeft ten doel het bepalen van die maatregelen, die gelet op de kosten en milieuhygiënische consequenties relatief het meest bijdragen aan de vermindering van de verzurende emissies SO_2 en NO_x in Nederland. Dit bij een gegeven energie-inzet (scenario) en gegeven streefwaarden voor de uitworpplafonds van SO_2 en NO_x . De gewenste emissieniveaus voor SO_2 en NO_x zijn opgesteld door het Ministerie van Volkshuisvesting Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. Wel wordt erop gewezen dat wijzigingen in de uitgangsgegevens vanzelfsprekend van invloed kunnen zijn op de conclusies.

Volgens de huidige ideeën, zie het Indicatief Meerjarenprogramma Lucht 1985-1989, is het beleid gericht op een terugbrengen van de SO_2 -uitworp met een factor 3,5 en de NO_x -uitworp met een factor 1,5, ofwel een uitworp van 150 mln kg SO_2 per jaar en 350 mln kg NO_x per jaar voor het jaar 2000.

De streefwaarden kunnen bereikt worden met behulp van een aantal bestrijdingsmaatregelen in de sfeer van aanvullende zuiveringstechnologieën, procesgeïntegreerde technologieën en een gewijzigde samenstelling van de brandstof (bijvoorbeeld een lager zwavelgehalte van stookolie). Uit de berekeningen blijkt, dat de gemiddelde milieukosten voor het bereiken van de streefwaarden van de SO_2 -uitworp in 2000 ca. f. 2.515,- per vermeden ton SO_2 bedragen. De kosten van NO_x -bestrijding verschillen sterker naar aard en sector waarin deze worden toegepast dan de kosten van de SO_2 -bestrijding. De streefwaarden voor NO_x -emissies kunnen niet bereikt worden met een relatief goedkope bestrijdingsvariant, genaamd verdergaande NO_x -bestrijding, met gemiddelde kosten van ca. f. 2.320,- per vermeden ton NO_x . Hiervoor is een duurdere bestrijdingsvariant genaamd volledige NO_x -bestrijding, met gemiddelde bestrijdingskosten van ca. f. 16.100,- per vermeden ton NO_x nodig. Laatstgenoemd bedrag is vooral zo hoog door het gebruik van driewegkatalysatoren voor de bestrijding van NO_x -verkeersemisies. Een herevaluatie van de verschillende opties voor de bestrijding van verkeers-emisies lijkt gezien de hoge kosten van de driewegkatalysatoren aan te bevelen. Hieronder worden de te behalen emissiereducties en de daarmee

gepaard gaande milieukosten van de verschillende bestrijdingsvarianten kort samengevat. Voor een meer uitgebreide toelichting op de resultaten en conclusies van de studie raadplege men hoofdstukken 4, 5, 6, en 7 van dit rapport.

| | 1980 | 1990 | | 2000 | | | | |
|---|------|------|------|------|-----|-----|-----|------|
| | | (1) | (2) | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
| SO ₂ -emissies | 484 | 413 | 181 | 361 | 156 | - | - | - |
| NO _x -emissies (mln. kg/jr) | 516 | 543 | 501 | 558 | - | 465 | 379 | 250 |
| SO ₂ -milieukosten | - | 70,8 | 583 | 262 | 653 | - | - | - |
| NO _x -milieukosten (mln. gld-80/jr) | - | 1,7 | 62,1 | 5,7 | - | 250 | 421 | 2498 |

(1) Basisscenario; (2) Volledige SO₂-bestrijding; (3) Verdergaande NO_x-bestrijding (a); (4) Verdergaande NO_x-bestrijding (b) en (5) Volledige NO_x-bestrijding.

Opmerking: Voor een overzicht van maatregelen per bestrijdingsvariant raadplege men hoofdstuk 6

SUMMARY

This report contains the results of a modeling study on strategies for cost optimal control of acid rain.

The emission levels for SO₂ and NO_x have to be lowered with amounts up to 75%. Calculations show that the abatement policies are expensive, but can realize the emission goals. The control of NO_x emissions is more expensive than the control of SO₂ and also less effective.

Especially the abatement of the NO_x-emissions of automobiles by three-way catalyst systems for simultaneous reduction of NO_x, CO and hydrocarbons is very expensive.

Keywords

ENERGY POLICY

ENERGY MODELS

ENVIRONMENT

LINEAR PROGRAMMING

MATHEMATICAL MODELS

OPTIMIZATION

ENVIRONMENTAL POLICY

COST

AIR POLLUTION ABATEMENT

ACID RAIN

NITROGEN OXIDES

EMISSIONS

AUTOMOBILES

CATALYSTS

SULFUR DIOXIDES

FOSSIL-FUELS

INDUSTTRY

NETHERLANDS

RESIDENTIAL SECTOR

VOORWOORD

In januari tot en met mei 1984 is ten behoeve van het Indicatief Meerjarenprogramma (IMP)-Lucht 1985-1989 in opdracht van de Directie Lucht van het Ministerie van Volkshuisvesting Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer door het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM) een onderzoek uitgevoerd naar het bepalen van die maatregelen, die gelet op de kosten en milieuhygiënische consequenties optimaal bijdragen aan vermindering van de potentieel verzurende emissies in Nederland. Voor uitvoering van het onderzoek heeft het RIVM onderdelen uitbesteed aan het Energie Studie Centrum en het adviesbureau Technica Consulting Scientists and Engineers te London. Door het RIVM wordt integraal over de werkzaamheden en resultaten van het onderzoek gerapporteerd [1]. Met betrekking tot de drie verschillende onderdelen, te weten een NH_3 -studie, gegevensverzameling SO_2 - en NO_x -emissies en de optimalisatie-berekeningen met SELPE wordt door respectievelijk het RIVM, Technica[2] en ESC uitvoerig gerapporteerd in deelrapporten. In de voorliggende studie wordt over de resultaten van de optimalisatie-berekeningen met SELPE gerapporteerd. Bij de toelichting op de resultaten valt de nadruk vanzelfsprekend op de te verwachten SO_2 en NO_x emissies en de kosten en te bereiken emissiereducties van mogelijke bestrijdingsmaatregelen.

Aan het project hebben de volgende medewerkers van ESC een bijdrage geleverd:

W.G. van Arkel;

P.G.M. Boonekamp;

N.J. Koenders;

F. v. Oostvoorn (projectleider).

INHOUD

| | <u>Blz.</u> |
|--|-------------|
| SAMENVATTING | 3 |
| VOORWOORD | 6 |
| 1. INLEIDING | 9 |
| 2. METHODE | |
| 2.1. Karakterisering van het model SELPE | 11 |
| 2.2. Procesparameters en rekenmethode | 16 |
| 2.3. Werkwijze | 19 |
| 3. UITGANGSPUNTEN | |
| 3.1. Scenariogegevens | 21 |
| 3.2. Emissiefactoren in het basisscenario | 21 |
| 4. RESULTATEN BEREKENINGEN BASISSCENARIO | |
| 4.1. Energievoorziening | 25 |
| 4.2. SO ₂ - en NO _x -emissies | 35 |
| 5. EFFECTEN BESTRIJDINGSMAATREGELEN | |
| 5.1. Inleiding | 40 |
| 5.2. SO ₂ -emissies | 41 |
| 5.3. NO _x -emissies | 45 |
| 5.4. Samenvatting specifieke kosten | 52 |
| 6. RESULTATEN BESTRIJDINGSVARIANTEN | |
| 6.1. Bestrijdingsvarianten | 54 |
| 6.2. Volledige SO ₂ - en verdergaande NO _x -bestrijding (a) en (b) | 54 |
| 6.3. Volledige NO _x -bestrijding | 55 |

| | |
|---|----|
| 6.4. Emissiereductie | 56 |
| 6.5. Milieukosten | 61 |
| 6.6. Effect inzet kernenergie | 62 |
| 7. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN | |
| 7.1. Conclusies | 63 |
| 7.2. Discussie | 65 |
| 8. LITERATUUR | 68 |
| APPENDIX I Kosten en emissiefactoren | 70 |
| II Kosten- en emissie-effecten van SO ₂ - en NO _x - bestrijdingsmaatregelen per sector | 87 |

1. INLEIDING

Het probleem van de verzuring is een internationaal probleem, waarvan de precieze oorzaken wetenschappelijk nog slechts ten dele bekend zijn. Op basis van de huidige kennis op het gebied van oorzaken en effecten van zure depositie is het echter gewenst lange termijndoelstellingen voor het beleid te formuleren.

In de Notitie inzake Verzuring [3], die in januari 1984 aan de Tweede Kamer is aangeboden, wordt reeds aangegeven dat de omvang van de schade, die het gevolg is van de verzuring, maar gedeeltelijk is te overzien en deels niet in geld is uit te drukken. Voor zover dit laatste wel mogelijk is, lopen de schattingen uiteen van een half tot één miljard gulden per jaar.

Als belangrijkste oorzaak van verzuring wordt de uitworp van zwaveldioxyde (SO_2), stikstofoxyden (NO_x) en ammoniak (NH_3) beschouwd.

Het Nederlandse beleid is er in het algemeen op gericht de uitworp van verzurende stoffen te reduceren met een factor 3 à 4 ten opzichte van de situatie in 1980.

De reductie van emissies door middel van het uitvaardigen van emissiebeperkende maatregelen heeft natuurlijk economische gevolgen. Het is daarom gewenst een zodanig pakket aan bestrijdingsmaatregelen samen te stellen, dat uit economisch oogpunt een optimale emissiereductie, c.q. afname van de verzuring kan worden bereikt.

Ten behoeve van het in september 1984 te verschijnen Indicatief Meerjarenprogramma (IMP) Lucht 1985-1989 wordt een onderzoek uitgevoerd dat bovengenoemde problematiek behandelt. De belangrijkste doelstelling van dit onderzoek is de bepaling van die maatregelen, die gelet op kosten en milieuhygiënische consequenties relatief het meest bijdragen aan de vermindering van de verzurende emissies SO_2 , NO_x en NH_3 in Nederland, zowel per stof als in combinatie.

Belangrijk hierbij is dat wordt uitgegaan van bepaalde veronderstellingen over de relatie tussen nationale emissie-niveaus van SO_2 , NO_x en NH_3 en de hieruit resulterende verzuring gegeven een aantal hierop van invloed zijnde factoren zoals bijvoorbeeld de regionale verdeling van de emissies en depositie. Vervolgens kan dan de landelijk gemiddeld toelaatbare depositie van verzurende stoffen worden afgeleid. Deze waarde kan echter op verschillende wijze, dat wil zeggen met verschil-

lende combinaties van emissieplafonds per stof worden bereikt. Bij deze studie is uitgegaan van streefwaarden voor emissieplafonds van 150 mln.kg/jaar voor SO_2 en 350 mln.kg/jaar voor NO_x in het jaar 2000. Voor het uitwerken en opstellen van de kostenoptimale varianten voor de bestrijding van SO_2 en NO_x zijn de kosten en emissiesreducties van de relevant geachte bestrijdingsmaatregelen met het bij ESC ontwikkelde energie/milieumodel SELPE doorgerekend.

Meer in het bijzonder is allereerst een voorlopige versie van een aangepast EZ-referentiescenario uitgewerkt om de emissies voor het jaar 1990 en 2000 te bepalen.

Dit scenario, in dit rapport verder aangeduid als het voorlopige ESC-scenario, vormt het uitgangspunt (basisscenario) voor een analyse van de bestrijdingsmogelijkheden en de daaraan verbonden kosten. Het gaat hierbij vooral om het bepalen van de kosten en emissieverlagende effecten van implementeerbaar geachte maatregelen. Met behulp van een systematische rangschikking van de bestrijdingsmaatregelen op basis van de eerder berekende specifieke kosten per vermeden ton NO_x en SO_2 kunnen vervolgens kostenoptimale bestrijdingsstrategieën worden uitgewerkt. In het volgende hoofdstuk zal allereerst een toelichting op het gebruikte model en de gevolgde werkwijze in de studie worden gegeven. Daarna volgt een toelichting op de belangrijkste uitgangspunten in hoofdstuk 3. Vervolgens zullen de resultaten worden besproken in hoofdstukken 4, 5, en 6.

2. METHODE

2.1. Karakterisering van het model SELPE

Bij het ESC is in de afgelopen jaren een energie/milieumodel ontwikkeld, genaamd SELPE (Statisch ESC Lineair Programmerings Energie/-Milieumodel) [4,5].

Bij de opzet van het energie-milieu-model is allereerst getracht om zo goed mogelijk de substitutie tussen energiedragers (emissiebronnen) en de daarmee verband houdende technologische ontwikkelingen, inclusief mate van bestrijding, in de energievoorziening te beschrijven.

Voor de keuze van een passende modeltechniek kan men het gebruik van econometrische of procesmatige modellen overwegen.

Voor het schatten van betrouwbare parameters van een econometrisch model van de energievoorziening is echter onvoldoende statistisch materiaal (tijdreeksen en dergelijke) aanwezig. Bovendien is de technologische ontwikkeling moeilijk te beschrijven met behulp van econometrische modellen en vaak blijkt hoogstens een zeer globale specificatie van de technologische ontwikkeling mogelijk. Daarom is gekozen voor het opzetten van een L.P.-model, met een gedetailleerde procesmatige beschrijving van de energievoorziening. Voor het schatten van de parameters is het dan noodzakelijk om historische statistische gegevens te combineren met technische en economische procesgegevens van bestaande en toekomstige technologieën. Dit type LP-modellen heeft een rijke historie en is bijvoorbeeld gebruikt voor het modelleren van raffinaderijen en andere basisindustrieën.

SELPE kan als volgt gekarakteriseerd worden:

- a. SELPE is ontwikkeld om een kwantitatieve analyse te kunnen maken van de substitutiemogelijkheden tussen energiedragers, bestrijdings- en energietechnologieën. De nadruk ligt hierbij op het kwantificeren en evalueren van energetische, economische en milieuconsequenties van ontwikkelingen op de langere termijn (10 à 20 jaar).
- b. Het model geeft een procesmatige beschrijving van de energievoorziening vanaf winning en invoer, via transport, conversie en distribu-

tie tot en met eindverbruik.

Hiertoe zijn naast de nu bestaande ook toekomstige bestrijdings- en energietechnieken in het model gespecificeerd. Met behulp van een optimalisatie-algoritme wordt aldus een belangrijk deel van de technologische ontwikkelingen geëndogeniseerd. Technologische veranderingen vinden namelijk plaats door verdringing van minder efficiënte technologieën door meer efficiënte technologieën. Het overige deel van de technologische veranderingen in de energievoorziening moet door middel van het per planjaar (exogeen) bijstellen van de parameters van in het model gespecificeerde processen bewerkstelligd worden.

Alle modelparameters zijn in principe tijdsafhankelijk, dat wil zeggen dat deze per planjaar worden bepaald.

- c. Het is een statisch model, dat wil zeggen het berekent voor een gegeven planjaar het "optimale energieplaatje". Een zogenaamde tijdpadanalyse kan worden uitgevoerd door successievelijk voor verschillende elkaar opvolgende planjaren berekeningen uit te voeren (comparatieve statica). De outputs van een planjaar zijn inputs voor een volgend planjaar enz.
- d. De structuur van het complete energiesysteem is opgesteld als een netwerk van energiestromen. De netwerkstructuur maakt het qua aantal variabelen en vergelijkingen tamelijk omvangrijke model overzichtelijk en leent zich tevens goed voor het incorporeren van "concurrerende" toekomstige energietechnologieën. Zie figuur 2.1. voor een vereenvoudigd netwerkschema van het energiemodel. Hierin stellen de pijlen energiestromen (variabelen) en de knooppunten markten (balansvergelijkingen) voor.
Om een zo goed mogelijke beschrijving van de energievoorziening te bereiken, zijn de netwerkstructuurvergelijkingen aangevuld met een groot aantal additionele vergelijkingen, zoals capaciteitsvergelijkingen, brandstoffeninzet en -afzetrestricties.
- e. Mathematisch gezien is het model opgebouwd uit een doelfunctie en een groot aantal restricties.

De belangrijkste typen restricties zijn:

- procesvergelijkingen die de relatie tussen inputs en outputs van processen beschrijven ($x_i = \eta_j x_j$), hierbij is η_j de efficiëntie van het proces.
- balansvergelijkingen die zorgen voor het evenwicht tussen vraag en aanbod van energie op de verschillende deelmarkten (knooppunten)
 $(\sum_i x_i = \sum_j x_j)$;
- capaciteitsvergelijkingen die de relatie tussen produktie en produktiecapaciteiten leggen ($x_i \leq a_{p_i} \cdot c_i$). Hierin is (a_{p_i}) een beschikbaarheidsfactor;
- reservecapaciteitsvergelijking, die een relatie legt tussen de geleverde elektriciteit door de openbare voorziening en het minimaal op te stellen produktievermogen ($\sum_i p_i \cdot c_i \leq \alpha_j + \sum_j x_j$). Hierin is ($\sum_j x_j$) de totale gewenste openbare levering en ($\sum_i p_i \cdot c_i$) de totale bijdrage van produktiecapaciteiten (c_i) aan de openbare levering;

De belangrijkste doelfunctie betreft minimalisatie van de totale systeemkosten ($\min z = \sum_j c_j x_j$).

De systeemkosten bevatten:

- . kosten van winning en invoer van energie;
- . proceskosten, gesplitst in vaste (kapitaal) en variabele kosten;
- . accijnzen, aardgaswinsten, en overige toeslagen.

Tezamen zorgen de kostencomponenten ervoor dat de cumulatieve kosten van een energiestroom in het model overeenkomen met de marktprijs van de betreffende energiedrager op dat punt in de energievoorziening. Marktprijzen sturen de beslissingen van de energieconsumenten en -producenten in het model. Bij processen met capaciteitsvariabelen waaraan vaste kosten zijn gekoppeld, spelen alleen de variabele kosten een rol indien de capaciteit niet maximaal benut wordt. Wordt de capaciteit echter wel maximaal benut, dan sturen de totale (vaste en variabele) kosten de beslissingen.

Andere doelfuncties zoals minimaliseren van de olie-invoer, milieu-uitwerp en dergelijke, zijn ook mogelijk.

Men bedenke echter wel dat de optimalisatie met behulp van SELPE/M niet dezelfde "vrije" vorm heeft als meestal het geval is bij L.P.-modellen.

Door specificatie van een groot aantal procescapaciteiten en beleids- en andere restricties is in feite enigszins sprake van "simuleren" met een optimalisatie-algorithme. Het "oplossings-mechanisme" levert echter ten opzichte van een zuiver simulatiemodel veel nuttige informatie ten aanzien van de "optimale" oplossing en afwijkingen daar van (gevoeligheidsanalyse).

f. Om beleidsanalyses te kunnen maken, dienen voorts de nodige beleidsinstrumenten in een model aanwezig te zijn. Door middel van het opleggen van vaste, maximum of minimum waarden aan beslissingsvariabelen of groepen van variabelen kunnen aardgasafzet- en brandstofinzetplannen van centrales, maar ook emissienormen en -plafonds in het energiemodel worden gespecificeerd. Het implementeren van heffingen, investeringssubsidies en prijsvoorschriften met betrekking tot energiedragers, bestrijdings- en energietechnologieën kan door middel van aanpassing van de kostenparameters en/of specificatie van de doelfunctie worden verwerkt.

g. Tenslotte enige opmerkingen over de betekenis van de uitkomsten van het model. Het L.P.-model berekent een oplossing, dat wil zeggen de waarden van de variabelen bij een optimale waarde van de doelfunctie.

De economische en milieuhygiënische gevolgen van een "optimale" oplossing blijken voor de beoordeling en beleidsafweging van cruciale betekenis.

De volgende outputs (vaak evaluatie criteria van de beleidsmaatregelen) kunnen met behulp van SELPE worden gekwantificeerd:

- Optimale brandstofinzet;
- Energie- en milieulasten van de verschillende sectoren (industrie, gezinshuishouding, etc.);
- De energieprijsstijgingen, die bijvoorbeeld het gevolg zijn van bepaalde bestrijdingsmaatregelen en/of penetratie van duurdere energietechnologieën;
- Energiebaten (inkomsten) van de overheid, zoals aardgasbaten, accijnzen;
- Na enige bewerkingen kunnen de investeringsuitgaven voor energie- en bestrijdingstechnieken bepaald worden per sector, proces en in totaal.

De investeringssubsidies (via WIR e.a.) en het overheidsaandeel kunnen zo ook bepaald worden;

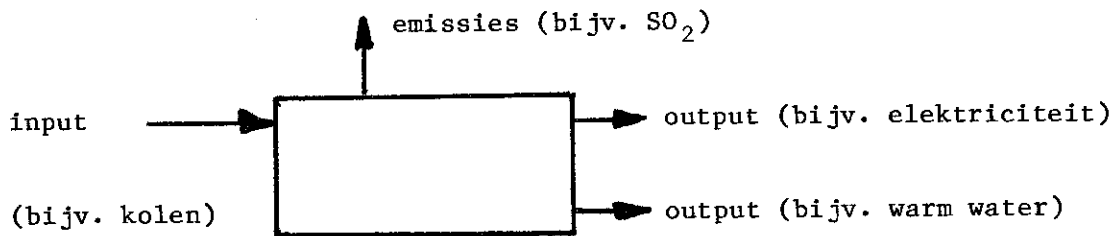
- Emissies totaal en per (ca. 13) subsectoren;
- Energie (betalings)balans met buitenland.

Voor een compleet overzicht van de informatiestromen rond het energie/milieu-model SELPE, zie figuur 2.2.

2.2 Procesparameters en rekenmethode

Aangezien om praktische redenen niet alle bekende energietechnologieën en bestrijdingstechnieken gespecificeerd kunnen worden in het model zijn de meest relevant geachte processen in het model gespecificeerd. De processen zijn te definiëren als een zo homogeen mogelijke verzameling van energietechnologieën van het zelfde type. Voor het maken van berekeningen moeten vooraf de waarden van de parameters van de processen in het model bepaald worden. Dit gebeurt met behulp van de in de technologieën data base beschreven energie- en milieutechnologieën. De keuze van een bepaalde proceskarakteristiek kan per analyse en/of berekening verschillen en is onder andere afhankelijk van het vooraf gedefinieerde energie- en milieubeleid voor een bepaald zichtjaar en/of tijdpad (scenario).

Proces:



Figuur 2.3. Schematische weergave van een proces in het model

Invoergegevens:

- Energieprijzen
- Energievraag
- Beleidsplannen
- Milieunormen
- Procesgegevens

L.P. energie/milieumodel
SELPE

Uitvoergegevens:

- Brandstoffeninzet
- Kosten energievoorziening w.o. aardgasbaten en accijzen en milieulasten per sector
- Investeringsbeslag
- Energieprijzen
- Penetratie energietechnologieën (productiecapaciteiten e.d.)
- Milieu-emissies per sector

energievraag

CPB- en/of andere energie/economie-modellen

prijzen, investeringen e.d.

omvang en regionale verdeling economische activiteiten

Verspreidingsmodellen

concentratieniveau's en deposities

milieu-normen

Evaluatie effecten luchtkwaliteit

emissies

Figuur 2.2. Informatiestroom van de in- en uitvoergegevens van SELPE

Een proces (zie figuur 2.3.) wordt op dit moment in het model gekarakteriseerd door de volgende technische, economische en milieuhygiënische parameters:

- Technische

- . procesrendement (%)
- . type brandstof (kolen, stookolie, etc.)
- . vaste input en/of outputverhoudingen (bijv. gecombineerde warmte- en krachtproductie)
- . productiecapaciteit (PJ/jr of MW) of boven- en ondergrens hiervan
- . beschikbaarheidsfactoren
- . boven- en/of ondergrens van input (brandstof) en/of output (brandstof, elektriciteit, warm water, etc.)

- Economische

- . vaste energie- en milieu-kapitaalskosten. Deze worden afgeleid uit een aantal andere grootheden namelijk investeringsuitgaven, eenheids grootte, levensduur, reële rente (lange termijn discontovoet) etc.
- . variabele energie- en milieuproduktiekosten (excl. brandstofkosten)

- Milieu-emissies

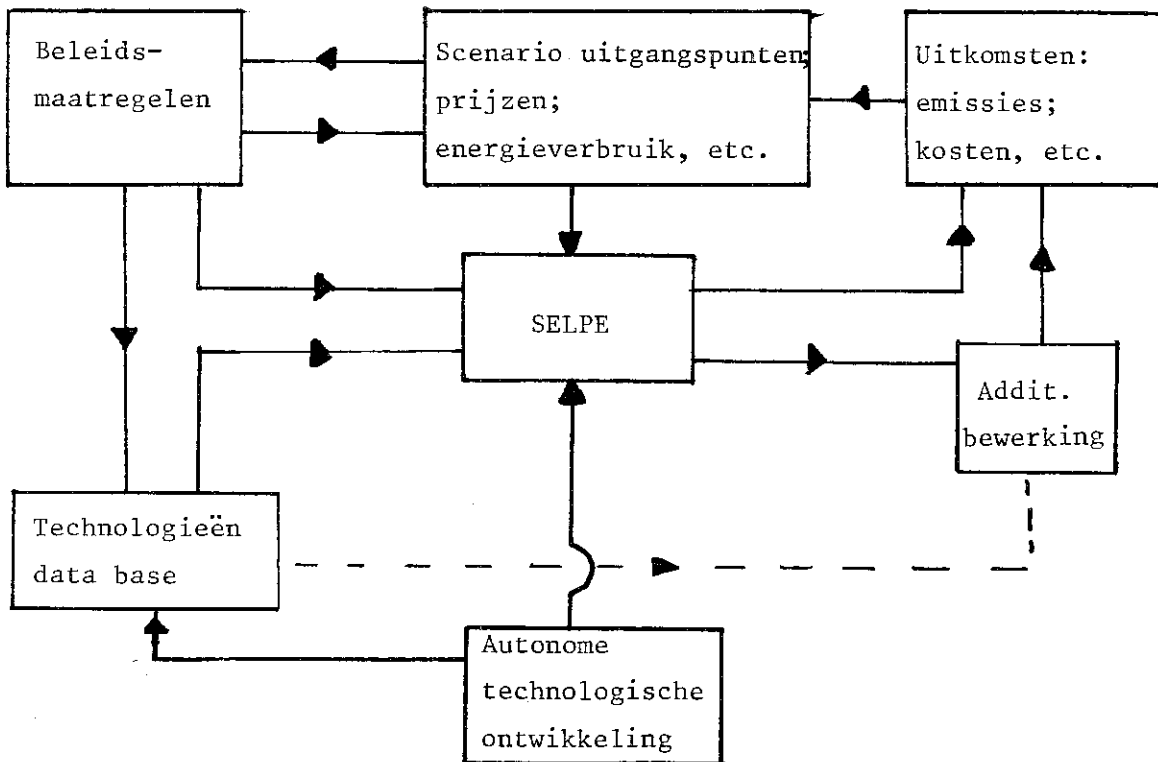
- . SO_2 , NO_x , Stof, C_xH_y , CO, Aldehyden en verschillende bijprodukten zoals gips, vlieg- en bodemas (ton/PJ_{input}).

Per zichtjaar moeten de waarden van de parameters bepaald worden. Om praktische redenen wordt bij de berekeningen meestal volstaan met een beperkt aantal zichtjaren, bijv. 1980, 1990 en 2000.

Aan de hand van het schema in figuur 2.4. kan kort de hier gehanteerde berekeningswijze worden weergegeven. Allereerst worden alle invoergegevens voor het model bepaald. Deze invoergegevens, zoals energieprijzen en energieverbruik worden afgeleid uit beschikbare scenario's en/of andere toekomstprojecties. Daarnaast wordt een deel van de invoergegevens afgeleid uit de data base van SELPE, waarin alle parameters van de processen, die in het model voorkomen op consistente wijze worden gekarakteriseerd.

In deze data base zijn de te voorziene technologische ontwikkelingen, beleidsmaatregelen, e.d. zo goed mogelijk verwerkt. Tenslotte kunnen

modeluitkomsten van een zichtjaar de uitkomsten van een volgend zichtjaar beïnvloeden (denk bijvoorbeeld aan het bijstellen van de productiecapaciteiten). Voorts dient opgemerkt dat een klein deel van de modeluitkomsten (bijvoorbeeld investeringen) nog niet direkt met het model berekend worden, maar bepaald moeten worden met een eenvoudige bewerking van de modeluitkomsten, en/of van gegevens uit de database.



Figuur 2.4. Schema berekeningswijze

2.3. Werkwijze

Alvorens de uitgangspunten en resultaten van de berekeningen te bespreken moeten eerst enige opmerkingen worden gemaakt over de wijze waarop met SELPE de kostenoptimale bestrijdingsstrategieën worden uitgewerkt. Voor de onderhavige berekeningen is de volgende studie-opzet gevolgd:

1. Allereerst zijn de economische, technische en emissieparameters van de bestrijdingsmaatregelen in SELPE voorzover nodig aangevuld

met recente gegevens, veelal afkomstig van de Technische Advies Commissie (TAC) voor het SO₂ en NO_x-beleid en verzameld door het bureau Technica [2]

2. Voorts zijn met behulp van gegevens over de verzurende werking van SO₂ en NO_x en de toelaatbaarheid daarvan, streefwaarden geformuleerd voor de emissieplafonds. In het IMP-Lucht 1985-1989 wordt als doelstelling van het beleid een totale depositie van ongeveer 3200 mol H⁺/ha, jaar genoemd (in 1980 bedroeg de totale depositie ca 6000 mol H⁺/ha, jaar).
3. Uitgaande van een door het CPB opgestelde projectie van de energievraag en beleidsveronderstellingen van EZ betreffende de energie-inzet zijn vervolgens emissies en energieinzet (basisscenario) berekend met SELPE. Met betrekking tot de emissiebestrijding kan van een zogenaamd ongewijzigd milieu-beleidsscenario gesproken worden.
4. Vervolgens zijn met het model de kosten- en emissie-effecten van een groot aantal relevante bestrijdingsmaatregelen berekend met als uitgangspunt het ESC-(basis)scenario. Op basis van de kosten- en emissie-effecten van de verschillende bestrijdingsmaatregelen per sector en/of per maatregel zijn de specifieke kosten per vermeden hoeveelheid SO₂ respectievelijk NO_x bepaald.
5. Op basis van een overzicht van de maatregelen, gerangschikt naar specifieke kosten per maatregel zijn een aantal bestrijdingsvarianten samengesteld waarmee de emissies van het basisscenario zouden kunnen worden bestreden.
6. Corrigeert men de specifieke kosten echter voor de potentieel verzurende werking van de betreffende stof (deze verschilt namelijk tussen SO₂, NO_x, en NH₃) dan kan een integraal beeld van de kosten-effectiviteit van bestrijdingsmaatregelen worden verkregen waarmee integrale kostenoptimale bestrijdingsstrategieën kunnen worden opgesteld [1].

3. UITGANGSPUNTEN

3.1. Scenariogegevens

Voor het opstellen van het ESC-basisscenario met SELPE zijn een aantal inputgegevens nodig. Het betreft gegevens met betrekking tot de ontwikkeling van de vraag, inzet en prijs van energie. Hieronder wordt volstaan met de belangrijkste uitgangspunten dienaangaande.

Energievraag

De projectie van de vraag naar energie is opgesteld door het CPB en ten aanzien van de energieinzet zijn een groot aantal beleidsveronderstellingen van het Ministerie van Economische Zaken gevolgd. Het betreft hierbij met name de inzet mogelijkheden van stromingsbronnen, koleninzet, uitbouw van het elektriciteits- en w/k-vermogen etc.. In grote lijnen gaat het hierbij om een aangepast EZ-referentiescenario, zoals eerder in 1981 door EZ opgesteld [7,8]. Het kan tevens beschouwd worden als een voorlopige versie van het eind september 1984 te verschijnen EZ-referentiescenario-1984.

Vergeleken met het Referentiescenario 1981 is globaal sprake van een lagere brutoproduktie van bedrijven, meer invoer van elektriciteit tot 1990, en een lager binnenlands elektriciteitsverbruik en meer besparingen in de gezinshuishoudingen. Dit resulteert in een daling van het energieverbruik in 2000 met 5% en in 1990 8% ten opzichte van 1980.

Energieprijzen

De prijsontwikkeling komt in grote lijnen overeen met hetgeen voor het Referentiescenario 1981 is aangenomen. De ruwe olieprijs stijgt hier over de periode 1980/2000 met iets minder dan 2% per jaar in plaats van 2% per jaar zoals in het Referentiescenario 1981.

3.2. Emissiefactoren in het basisscenario

3.2.1. Stationaire verbrandingsemissie

Voor het berekenen van de emissies behorende bij het ESC-basisscenario zijn voor het bepalen van de emissie-coëfficiënten een aantal

uitgangspunten gehanteerd, zie ook appendix I. Het basisscenario is met betrekking tot emissies gedefinieerd als een zogenaamd "Ongewijzigd milieubeleidsscenario", dat wil zeggen dat het een voortzetting van het huidige milieubeleid zonder aanvullende bestrijdingsmaatregelen en normstellingen betreft.

Bestreden emissies

Als ingezet milieubeleid met betrekking tot kolen zijn de maatregelen genomen, die zijn aanbevolen in de "Tweede circulaire inzake eisen met betrekking tot de uitworp van luchtverontreinigende stoffen door kolengestookte installaties" [6]. Dit houdt in:

SO₂

- Rookgasontzwaveling met een ontwerprendement van 90% voor alle nieuwe en om te bouwen kolengestookte openbare elektriciteits- en warmte/-kracht-installaties. Voor de berekeningen is van een SO₂-uitworp van 70 ton/PJ uitgegaan. Dit onder de veronderstelling van een zwavelgehalte voor kolen van 1%.

- Voor nieuwe en om te bouwen kolengestookte industriële installaties geldt een maximaal toelaatbare SO₂-uitworp van 600 ton/PJ tot 1990 en 230 ton/PJ na 1990.

NO_x

- De NO_x-uitworp voor kolengestookte ketels mag door de toepassing van lage NO_x-branders tussen de 270 en 190 ton/PJ liggen. Voor de berekeningen is uitgegaan van een gemiddelde waarde van 220 ton/PJ.

Onbestreden emissies

SO₂

Voor de overige brandstoffen kan worden opgemerkt dat voor SO₂ de emissiefactoren grotendeels bepaald worden door het zwavelgehalte van de brandstof, zodat hieronder volstaan kan worden met een overzicht van het voor het basisscenario veronderstelde zwavelgehalte per brandstof, zie tabel 3.1.

NO_x

Ten aanzien van de emissiefactoren van NO_x kan worden opgemerkt dat brandertype, eenheids grootte, bedrijfsvoering en bezettingsgraad van de installatie van grote invloed zijn op de NO_x-emissies. Bij de bepaling van de emissiefactor voor deze studie is uitgegaan van een momentane bezettingsgraad van 50 tot 80% [9].

| Brandstof | S-gehalte (%) | t/PJ |
|--|---------------|---------|
| - aardgas, l.p.g., cokesovengas, biogas, hoogovengas | 0 | 0 |
| - benzine | 0,03 | 14 |
| - middendestillaten (HBO I en II en dieselolie) | 0,27/0,30 | 125/140 |
| - raffinaderijgas | 0,32 | 140 |
| - steenkolen | 1,0 | 770 |
| - zware destillaten (stookolie) ¹ | 1,6 | 680 |
| - stookolie/raffinaderijen | 2,6 | 1450 |

¹ Met uitzondering van raffinaderijen

Tabel 3.1. Zwavelgehalte en emissiefactoren van brandstoffen (1980)

3.2.2. Mobiele bronnen

In de transportsector zijn met uitzondering van zeescheepvaart alle emissies begrepen die door mobiele bronnen veroorzaakt worden.

Ten aanzien van de verkeersemissies is voor het basisscenario uitgegaan van een belangrijke autonome verlaging van de NO_x-emissiefactor voor benzine- en l.p.g.-auto's door de introductie vanaf 1990 van de zogenaamde arme-mengsel(leanburn) motor. Dit leidt tot een brandstofbesparing van circa 20% en een NO_x-reductie van circa 40%. Met andere woorden de NO_x-reductie is een bijproduct van het streven naar zuiniger automotoren.

Hieronder worden de voor het basisscenario veronderstelde emissiefactoren samengevat.

| Voertuig | Brandstof | SO ₂ | NO _x | | |
|----------------------------------|------------|-----------------|-----------------|------|------------------|
| | | | 1980 | 1990 | 2000 |
| personen- en lichte vrachtauto's | benzine | 13 | 931 | 1052 | 735 ¹ |
| | l.p.g. | 0 | 649 | 724 | 528 ¹ |
| vrachtauto's en bussen | dieselolie | 146 | 1246 | 1446 | 1325 |
| overige voertuigen | benzine | 13 | 1000 | 1000 | 1000 |
| | dieselolie | 146 | 740 | 650 | 650 |

Bron: Erga en Directie Lucht van VROM

¹ Bron: Directie Lucht van VROM

Tabel 3.2. Emissiefactoren basisscenario verkeerssector (ton/PJ)

De totale emissies voor de zeescheepvaart worden op 26 mln kg SO₂/jr en 13 mln kg NO_x/jr gesteld.

4. RESULTATEN BEREKENINGEN BASISSCENARIO

4.1. Energievoorziening

4.1.1. Inleiding

Voor het basisjaar 1980 is een energiebalans opgesteld op basis van historische gegevens van het CBS (kwartaaluitgaven De Nederlandse Energiehuishouding), waarbij ook winning, in- en uitvoer en bunkers vermeld staan (zie tabel 4.1.). De resultaten van de berekening (zichtjaren 1990 en 2000) van het ESC-(basis)-scenario worden in tabellen met dezelfde indeling en definities gepresenteerd (zie tabellen 4.2. en 4.3.). De tabellen met emissies per sector bezitten dezelfde sectorindeling en definities als de energiebalansen.

De energiebalansen geven een naar energiedrager en verbruikssector opgesplitst Totaal Verbruik Binnenland (TVB).

Bij de verbruikssector is onderscheid gemaakt tussen VRAAG-sectoren (Gezinshuishouding, Industrie, Transport en Overige) en ENERGIE-sectoren (Raffinaderijen, Centrales etc.).

Behalve als som van de deelverbruiken kan het TVB ook gevonden worden uit: $TVB = \text{Winning} + \text{Invoer} - \text{Uitvoer} - \text{Bunkers} (+ \text{een correctie voor voorraadmutaties})$. In principe is dus voor de bepaling van het TVB slechts het saldo van deze grootheden belangrijk, de grootte van uitvoer of winning moet echter wel bekend zijn in verband met eventuele effecten op het TVB (bijvoorbeeld mutatieverbruik van raffinaderijen ten gevolge van uitvoer van olieprodukten, winningsverliezen die afwezig zijn bij invoer, etc.).

Onder de kolom "Gas" vallen ook diverse soorten bijproductgas (hoogovengas, cokesovengas, raffinaderijgas, chemisch restgas) en produktiegassen (kolengas en biogas), het TVB-gas bestaat echter geheel uit aardgas in deze opstelling. Onder de kolom "Overig" vallen onder andere zonne-energie, energie uit afval, geothermische energie, windenergie, warmteproductie met behulp van kernsplijting en alle (terug)winning van restwarmte.

De sector Transport omvat alle personen- en alle vrachtvervoer, via rails, weg of water (binnenland) of door de lucht (binnenland). Onder "Overige mutatieverliezen (Ov. mut. verl.)" vallen onder andere de transport/distributieverliezen, eigen verbruik bij winning etc.

| | Kolen+ cokes | Olie- prod. | Gas | Elektr. (op net) | Warmte (aanvoer) | Overig (Winning) | Totaal |
|-----------------|-----------------|----------------|-------|---------------------|---------------------|---------------------|--------|
| Gezinshh. | 2 | 47 | 478 | 56,3 | x | x | 583 |
| Industrie | 75 | 372 | 394 | 80,0 | 12 | 38 | 970 |
| Transport | x | 320 | x | 3,5 | x | x | 324 |
| Overig | 2 | 80 | 185 | 47,2 | 12 | x | 325 |
| | — + | — + | — + | — + | — + | — + | — + |
| Totaal VRAAG | 78 | 818 | 1057 | 187,0 | 24 | 38 | 2202 |
| Kolenvergassing | x | x | x | x | x | x | x |
| Raffinaderijen | x | 157 | -3 | 2,7 | -4 | x | 153 |
| Biogas | x | x | x | x | x | x | x |
| Cokesfabrieken | 28 | 1 | -11 | 0,3 | x | x | 18 |
| wind | x | x | x | x | x | x | x |
| kern | x | x | x | -14,2 | | 46 | 32 |
| VV | x | x | x | -1,4 | 6 | x | 5 |
| W/K | x | } 212 | } 212 | } -186,7 | } -6 | } x | } 291 |
| rest | 60 | | | | | | |
| | — + | — + | — + | — + | — + | — + | — + |
| Centrales | 60 | 212 | 212 | -202,3 | 0 | 46 | 328 |
| Warmte sector | x | x | x | x | -20 | 20 | 0 |
| Ov. mut. verl. | x | x | 18 | 11,3 | x | x | 29 |
| | — + | — + | — + | — + | — + | — + | — + |
| Totaal ENERGIE | 88 | 370 | 217 | -188,0 | -24 | 66 | 529 |
| T.V.B. | 167 | 1188 | 1274 | -1,0 | 0 | 105 | 2732 |
| | === | ===== | ===== | ===== | ===== | ===== | ===== |
| w.o. winning | x | 67 | 2885 | x | x | 59 | 3011 |
| w.o. invoer | 219 | 2964 | 120 | 1,8 | x | 46 | 3351 |
| w.o. uitvoer | 60 | 1486 | 1731 | 2,9 | x | x | 3279 |
| | | +296* | | | | | +296* |
| (w.o. v.m.**) | (-8) | (62) | (x) | (x) | (x) | (x) | (54) |

* Bunkers

** Voorraadmutaties en meetverschillen

Tabel 4.1.: Energiebalans 1980 (PJ)

4.1.2. Energiebalansen 1990 en 2000

De resultaten van de berekeningen met SELPE voor 1990 en 2000 staan vermeld in tabel 4.2. resp. 4.3. (in PJ = 0,024 Mtoe). Deze energiebalansen sluiten aan op de energiebalans voor het basisjaar 1980, die in tabel 4.1. is gegeven. Wordt geen nieuw kernvermogen verondersteld dan volgen uit deze balansen de volgende ontwikkelingen:

- Het TVB daalt van 2732 PJ in 1980, via 2507 PJ in 1990 (-8%) naar 2602 PJ in 2000, een afname van 6% in de periode 1980-2000;
- Het aandeel van kolen loopt daarbij op van 6% in 1980 naar ca. 23% in 2000; in dat laatste jaar komt dit neer op ongeveer 20 mln ton steenkool (29,3 PJ/mln ton).
- Het aandeel van gas zakt van 47% via 44% in 1990 naar tenslotte 41% in 2000, waarvan dan een deel uit invoer afkomstig is.
- Het olie-aandeel in het TVB daalt voortdurend in de periode 1980-2000 (namelijk 43% in 1980, 39% in 1990 en 35% in 2000).
- De doorzet en bijgevolg het mutatieverbruik van raffinaderijen daalt ten opzichte van 1980 licht.
- Bij de VRAAG-sectoren vindt bij de aandelen in het TVB een verschuiving plaats van Gezinshuishoudingen en Overig naar Industrie als gevolg van absoluut dalend energieverbruik in eerstgenoemde sectoren tegenover een stijgend verbruik in laatstgenoemde sector samenhangend met de groei van de produktie in deze sector.

Tabel 4.2. Energiebalans 1990 van het voorlopige ESC-(basis)scenario berekend met SIFPE (PJ)

| | Kolent | olie- prod. | Gas | Elektr. | Warmte | Overig | Totaal |
|--------------------------|--------|----------------|--------|---------|--------|--------|--------|
| GEZINSHUISHOUDINGEN | 0.0 | 15.0 | 385.7 | 48.6 | 20.0 | .3 | 469.7 |
| WARMTE/KRACHT | 22.3 | 55.0 | 33.6 | -35.7 | -22.4 | 0.0 | 52.9 |
| FEEDSTOCK | .0 | 302.4 | 29.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 332.0 |
| REST INDUSTRIE | 74.0 | 32.0 | 352.1 | 118.4 | 27.3 | 8.0 | 611.8 |
| TOTAAL INDUSTRIE | 96.3 | 389.4 | 415.4 | 82.7 | 5.0 | 8.0 | 996.7 |
| TRANSPORT | 0.0 | 302.0 | 0.0 | 2.9 | 0.0 | 0.0 | 304.9 |
| OVERIGE GEBRUIKERS | 0.0 | 101.0 | 132.9 | 46.1 | 5.5 | 3.4 | 288.9 |
| TOTALE VRAAG | 96.3 | 807.4 | 934.0 | 180.3 | 30.5 | 11.7 | 2060.3 |
| OVERIGE NUTTIGVERBRUIK | .3 | 0.0 | 9.1 | 9.5 | 2.8 | 0.0 | 21.9 |
| VERGASSING | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| RAFFINADERIEN | 0.0 | 139.4 | .1 | 5.2 | -4.1 | 0.0 | 140.6 |
| BIOGAS | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| COKEFABRIEKEN | 29.7 | 2.2 | -12.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 19.1 |
| VUilverbr. Centrales | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -2.2 | 9.1 | 0.0 | 6.9 |
| WINDCENTRALES | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -1.5 | 0.0 | 3.9 | 2.4 |
| KERNCENTRALES | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -12.6 | 0.0 | 40.6 | 28.0 |
| CONVENTIONELE CENTRALES | 205.0 | 40.0 | 143.4 | -150.6 | -11.5 | 0.0 | 226.3 |
| WARMTE/KRACHT CENTRALES | 0.0 | 0.0 | 27.1 | -10.0 | -12.2 | 0.0 | 4.9 |
| TOTAAL ELEKTR. CENTRALES | 205.0 | 40.0 | 170.5 | -176.8 | -14.6 | 44.5 | 268.6 |
| WARMTE SECTOR | 0.0 | 0.0 | 3.3 | 0.0 | -8.7 | 8.7 | 3.3 |
| TOTALE ENERGIESECTOR | 235.0 | 181.6 | 170.3 | -162.1 | -24.6 | 53.2 | 453.4 |
| TOTAAL VERBR. BINNENLAND | 331.3 | 989.0 | 1104.3 | 18.2 | 0.0 | 64.9 | 2507.7 |

| | Kolent+ cokes | Olie- prod. | Gas | Elektr. | Warmte | Overig | Totaal |
|--------------------------|------------------|----------------|--------|---------|--------|--------|--------|
| GEZINSHUISHOUDINGEN | 0.0 | 0.0 | 365.4 | 39.4 | 38.0 | 1.0 | 452.7 |
| WARMTE/KRACHT | 54.0 | 21.0 | 89.2 | -46.4 | -53.2 | 0.0 | 65.5 |
| FEEDSTOCK | .0 | 303.0 | 43.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 346.0 |
| REST INDUSTRIE | 101.0 | 32.0 | 354.1 | 148.8 | 59.1 | 8.0 | 703.0 |
| TOTAAL INDUSTRIE | 155.0 | 356.0 | 486.3 | 102.4 | 5.9 | 8.0 | 1114.5 |
| TRANSPORT | 0.0 | 306.1 | 0.0 | 2.9 | 0.0 | 0.0 | 309.0 |
| OVERIGE GEBRUIKERS | 0.0 | 86.0 | 118.7 | 42.0 | 7.0 | 10.9 | 264.6 |
| TOTALE VRAAG | 155.9 | 757.1 | 970.4 | 186.7 | 50.9 | 19.8 | 2140.7 |
| OVERIG MUTATIEVERBRUIK | .6 | 0.0 | 4.7 | 9.2 | 5.0 | 0.0 | 19.0 |
| VERGASSING | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| RAFFINADERIJEN | 0.0 | 133.0 | -.1 | 5.6 | -4.2 | 0.0 | 134.2 |
| BIOGAS | 0.0 | 0.0 | -.0 | 0.0 | 0.0 | .0 | 0.0 |
| COKESFABRIEKEN | 37.1 | 2.8 | -16.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 23.9 |
| VUILVERBR. CENTRALES | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -2.2 | 9.1 | 0.0 | 6.9 |
| WINDCENTRALES | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -5.8 | 0.0 | 15.2 | 9.4 |
| KERNCENTRALES | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -.0 | 0.0 | .0 | .0 |
| CONVENTIONELE CENTRALES | 404.0 | .7 | 65.4 | -181.6 | -17.4 | 0.0 | 271.1 |
| WARMTE/KRACHT CENTRALES | 0.0 | 0.0 | 34.5 | -12.7 | -15.6 | 0.0 | 6.2 |
| TOTAAL ELEKTR. CENTRALES | 404.0 | .7 | 99.9 | -202.3 | -23.9 | 15.2 | 293.7 |
| WARMTE SECTOR | 0.0 | 0.0 | 12.1 | 0.0 | -5.9 | 5.9 | 12.1 |
| TOTALE ENERGIESECTOR | 441.7 | 136.5 | 100.7 | -187.5 | -29.1 | 21.2 | 483.5 |
| TOTAAL VERBR. BINNENLAND | 597.5 | 893.5 | 1071.0 | -.8 | 0.0 | 41.0 | 2602.3 |

Tabel 4.3. Energiebalans 2000 van het voorlopige ESC-(basis)scenario berekend met SELPE (PJ)

4.1.3. Elektriciteitsvoorziening

De elektriciteitsvoorziening is een belangrijke emissiebron, zodat het gewenst is de ontwikkelingen in deze sector nader toe te lichten.

Aan de hand van tabel 4.4., kan de berekende vermogensuitbouw en elektriciteits-productie worden toegelicht.

De belangrijkste resultaten zijn:

- De overcapaciteit is pas in 2000 volledig verdwenen. Dit is met name het gevolg van het VEW-contract (waardoor elektriciteit uit West-Duitsland wordt ingevoerd), de veronderstelde uitbreiding van industriële en openbare W/K, windturbines en bouw van kolencentrales rond 1990 waardoor in dit jaar overcapaciteit blijft bestaan.
- Het brandstoffenpakket van de openbare centrales toont een sterke verdringing van stookolie door kolen. Ongeveer 80% van de openbare elektriciteit wordt in 2000 geleverd door kolencentrales.
- De variant met de inzet van 3000 MWe nieuw kernvermogen ter vervanging van kolencentrales veroorzaakt een daling van de koleninzet van 168 PJ ofwel 5,7 mln ton kolen en een daling van het kolenvermogen met 3000 MWe.

| Jaar Type ↓ | 1980 MWe → PJe | 1990 MWe → PJe | 2000 MWe → PJe |
|---|------------------------|------------------------|------------------------|
| olie/gaseenh. | 13021→162,1 | 8833→ 59,3 | 3377→ 14,8 |
| kolen-"onbestr." | 1334→ 22,9 | 1556→ 39,0 | 810→ 17,8 |
| kolen-"SO ₂ -bestr." | 0→ 0 | 630→ 15,7 | 630→ 13,8 |
| kolen-"SO ₂ +NO ₂ - bestr." | | 1230→ 25,3 | 5678→124,9 |
| windturbines | 0→ 0 | 200→ 1,1 | 1000→ 5,4 |
| gasturbines*** | 373→ 0,3 | 373→ 0,3 | 310→ 0,3 |
| steg | 0→ 0 | 494→ 10,8 | 445→ 9,7 |
| kernenergie | 498→ 14,3 | 504→ 12,6 | 0→ 0 |
| VEW (invoer) | 0→ 0 | 600→ 15,0 | 0→ 0 |
| waterkracht | 0→ 0 | 20→ 0,4 | 20→ 0,4 |
| vuilverbr. | 145→ 1,4 | 155→ 2,2 | 145→ 0,4 |
| Tot. openb. opge- steld in centrales (w.o. gegarandeerd)* | 15371→201,0 ===== | 14575→181,7 ===== | 12425→202,3 ===== |
| | (15284) | (14336) | (11544) |
| TD-olie/gas | 49→ 0,7 | 64→ 0 | 50→ 0 |
| STEG | 98→ 0,7 | 555→ 10 | 707→ 12,7 |
| TD-kolen | 0→ 0 | 0→ 0 | 0→ 0 |
| Tot. openbare W/K | 147→ 1,5(4) | 619→ 10 | 757→ 12,7 |
| Totaal openbaar (w.o. gegarandeerd) | 15518→202,5 (15431) | 15194→191,7 (14955) | 13182→215,0 (12301) |
| bestand-olie/gas | 1250→ 21,0(0) | 1443→ 23,9 | 1443→ 23,9 |
| GT + AGK | 0→ 0 | 457→ 9,8 | 756→ 16,3 |
| TD - gas | 0→ 0 | 0→ 0 | 0→ 0 |
| TD - kolen | 0→ 0 | 100→ 2,2 | 300→ 6,5 |
| Tot. zelfopwekkers (w.o. t.b.v. open- bare net) | 1250→ 21,0(0) ===== | 2000→ 35,7 ===== | 2500→46,4 ===== |
| | 24 MWe | 212 MWe | 377 MWe |
| <u>Vermogen</u> | | | |
| Openb. beschikbaar | 15458 MWe | 15167 MWe | 126781 MWe |
| Minimaal vereist** | 12040 MWe | 12010 MWe | 12678 MWe |
| Overcapaciteit | 3418 MWe ===== | 3157 MWe ===== | 0 MWe ===== |

MWe → PJe = opgesteld vermogen → geproduceerde elektriciteit

* Volgens SEP-normen continu beschikbaar vermogen

** Reservefactor is 1,27

*** Eenheden speciaal geschikt voor pieklast/reserve-functie

Tabel 4.4. Overzicht elektriciteitsproductie ESC-basisscenario
berekend met SELPE

| Eenheden | 1980 | 1990 | 2000 |
|---|------|--------|--------|
| Onbestreden¹: | | | |
| Gelderland Z-13 | 296 | 296 | 296 |
| Amer 41 | 210 | - | - |
| Amer 51 | 223 | 223 | - |
| Amer 81 | 315 | 315 | 315 |
| Buggenum 4 | 123 | 123 | - |
| Buggenum 5 | 181 | 181 | - |
| Buggenum 6 ² | - | 224 | - |
| Borssele a ² | - + | 199 + | 199 + |
| | 1334 | 1561 | 810 |
| SO₂-bestreden³: | | | |
| Gelderland Z-13 | - | 300 | 300 |
| Amer 81 | - | 330 + | 330 + |
| | | 630 | 630 |
| SO₂ + NO_x-bestreden⁴: | | | |
| Borssele b | - | 198 | 198 |
| Maasvlakte | - | 1032 + | 1032 + |
| | | 1230 | 1230 |

¹ NO_x-emissiefactor 280 ton/PJ en SO₂-emissiefactor 680 ton/PJ

² NO_x-emissiefactor 180 ton/PJ en SO₂-emissiefactor 680 ton/PJ

³ NO_x-emissiefactor 280 ton/PJ en SO₂-emissiefactor 70 ton/PJ

⁴ NO_x-emissiefactor 180 ton/PJ en SO₂-emissiefactor 70 ton/PJ

Tabel 4.5. Definitie van het opgestelde kolenvermogen (MWe)

4.1.4 Raffinaderijen en w/k-industrie

In onderstaande tabel 4.6 is het brandstofverbruik van de raffinaderijen vermeld. Deze waarden zijn aangehouden bij het bepalen van de emissies. Opgemerkt dient te worden dat het verbruik voor zelfopwekking bij de raffinaderijen in de industriële W/K sector is verwerkt.

| Omschrijving proces | 1990 | 2000 |
|---|-------|-------|
| totaal mutatieverlies raffinaderij ¹ | 129 | 123 |
| totaal verbruik voor ondervuring | 121,1 | 114,0 |
| w.v. raffinaderijgas | 59,4 | 62,7 |
| residuele olie | 54,5 | 42,2 |
| petroleumcokes | 7,3 | 9,1 |
| totaal doorzet raffinaderijen | 2163 | 2236 |
| totaal produktstroom raffinaderijen | 2034 | 2113 |
| raffinaderijgas: | | |
| → ketels > 250 MWth | 1,6 | 4,3 |
| → ketels < 250 MWth | 16,7 | 15,2 |
| → fornuizen > 250 MWth | 2,5 | 3,9 |
| → fornuizen > 50 en < 250 MWth | 38,6 | 39,3 |
| residuele olie: | | |
| → ketels > 250 MWth | 33,0 | 23,4 |
| → fornuizen > 250 MWth | 21,5 | 18,8 |
| petrocokes: | | |
| → fornuizen > 250 MWth | 7,3 | 9,1 |

¹Dit mutatieverlies is niet hetzelfde als in de energiebalans, het hier vermelde getal moet dan worden verhoogd met:

- raffinaderijgas naar derden ;
- warmte naar derden .

Tabel 4.6 Brandstofinzet ESC-basisscenario voor 1990 en 2000 in de sector raffinaderijen (PJ).

Voorts is verondersteld, dat de residuele olie in de toekomst een hoger zwavelgehalte zal hebben. Dit effect zal worden gecompenseerd door de inzet van meer raffinaderijgas. Verondersteld is, dat de emissiecoëfficiënt van SO₂ van de residuele olie zal oplopen van 1250 t/PJ in 1980 via 1500 t/PJ in 1990 naar 1800 t/PJ in 2000.

Het door de raffinaderijen geproduceerde raffinaderijgas gaat deels naar de basisindustrie waarbij een deel wordt aangewend voor W/K-installaties. Een gedeelte van deze installaties staat echter bij de raffinaderijen. Dit geldt ook voor het verbruik van zware stookolie en middendestillaten bij w/k-eenheden. W/K-installaties kunnen bovendien worden gestookt met steenkool. Hoe het brandstofpakket voor de sector "Industriële W/K" voor 1980, 1990 en 2000 in het basisscenario is samengesteld staat vermeld in onderstaande tabel 4.7.

| energiedrager | 1980 | 1990 | 2000 |
|-------------------|------|------|------|
| warmte | 3,0 | 3,0 | 3,0 |
| middendestillaten | - | - | - |
| gas | 47,5 | 33,6 | 89,2 |
| zware destillaten | - | 55,0 | 21,0 |
| steenkool | 3,8 | 22,3 | 54,9 |

Tabel 4.7 Brandstofinzet ESC-basisscenario w/k-industrie
(PJ)

4.1.5. Transport

Hieronder volgt in tabel 4.8 een overzicht van het brandstofverbruik in de sector transport.

| Omschrijving proces | 1980 | 1990 | 2000 |
|-----------------------------|-------|-------|-------|
| <u>LPG</u> | | | |
| conventionele motoren | 20,5 | 45,0 | 53,0 |
| lean-burn motoren | - | - | - |
| <u>Benzine</u> | | | |
| conventionele motoren | 160,6 | 135,7 | 119,8 |
| lean-burn (emissie-afst.) | - | - | - |
| 3-weg katalysatoren | - | - | - |
| bijzonder gebruik benzine | 0,4 | 1,3 | 1,2 |
| methanol-benzine mengsel | - | - | - |
| <u>Diesel</u> | | | |
| zware motoren met dir. inj. | 52,0 | 73,0 | 80,0 |
| idem, aangepaste motoren | - | - | - |
| andere dieselmotoren | 34,5 | 44,0 | 49,0 |
| zeegaande vaart, etc. | - | - | - |

Tabel 4.8 Brandstofinzet ESC-basisscenario sector transport (PJ)

4.2. SO₂- en NO_x-emissies

4.2.1 Inleiding

In deze paragraaf worden de emissies behorende bij het basisscenario kort toegelicht per sector. Voor de indeling en definities van de sectoren raadplege men paragraaf 4.1.1.

4.2.1. SO₂-emissies

- Raffinaderijen

Het totale interne verbruik en de totale doorzet dalen iets in 1990, maar zijn in 2000 op een zelfde niveau als in 1980, zie appendix I. Bijgevolg zijn het vooral twee ontwikkelingen, die de SO₂-emissies in het basisscenario (zie tabel 4.9.) bepalen, te weten de verandering van de brandstofmix van het interne verbruik en de diepere conversie. Intern wordt meer raffinaderijgas en minder stookolie verbruikt, waardoor de emissies dalen. De emissiefactor van stookolie ten behoeve van verbrandingsdoeleinden stijgt echter als gevolg van een diepere conversie in 1990 en 2000. Voorts stijgen de procesemissies enigszins. Per saldo dalen de SO₂-emissies circa 10% in 2000 ten opzichte van 1980.

- Openbare elektriciteits- en W/K-opwekking

De emissies dalen in het basisscenario met circa 60% met name als gevolg van het afnemen in 1990 en verdwijnen in 2000 van stookolie als brandstof en de sterke uitbouw van het vermogenspark met kolen centrales waarin 90% rookgasreiniging is voorgeschreven. De SO₂-uitworp in 1990 is vooral het gevolg van de veronderstelde inzet van circa 40 PJ stookolie als gevolg van het aflopen van de extra aardgasinzet voor 1990. In de openbare W/K wordt aardgas ingezet zodat de SO₂-emissies hier verdwijnen.

- Industrie

De emissies in het basisscenario stijgen voor W/K fors door een sterke uitbreiding van het W/K-vermogen, voorzover olie en kolen als brandstof worden gebruikt. In de industrie zorgt de substitutie van stookolie door aardgas, bijna volledig in 2000, voor een sterke verlaging van SO₂-emissies. Bij de ondervuring in de basisindustrie is de koleninzet beperkt, namelijk circa 14 PJ en bijgevolg de daaruit resulterende emissies. In 2000 wordt circa 45% daarvan bestreden en wel tot een emissiefactor van 230 in plaats van 600 t/PJ.

Door de reeds aanwezige autonome ontwikkeling tot verlaging van procesemissies in sommige chemische sectoren stijgen deze niet veel.

- Overige sectoren

In de sector overige gebruikers blijft de brandstof-inzet vrijwel ongewijzigd waardoor in het basisscenario het emissieniveau niet veel verandert.

In de gezinshuishoudingen verdringt aardgas in snel tempo de overige energiedragers (olieprodukten) waardoor een lager emissieniveau resulteert dan in 1980. Over de emissies van de zeescheepvaart is weinig bekend en voor de bestrijding van deze emissies lijken voorlopig nog geen mogelijkheden aanwezig.

| | 1980 | 1990 | 2000 |
|---------------------------------|------|------|------|
| Raffinaderijen | 126 | 116 | 115 |
| (w.v. procesemissies) | (20) | (22) | (25) |
| Cokesfabrieken | 3 | 3 | 4 |
| Kolenvergassing | - | - | - |
| Openb. elektr. opw. | 189 | 109 | 63 |
| Stadsverw. (openb. W/K) | 3 | - | - |
| Wijkverwarming | 1 | 2 | 2 |
| W/K-industrie (incl. W/K-raff.) | 3 | 56 | 43 |
| Basisindustrie (excl. W/K) | 30 | 22 | 24 |
| Overige industrie (excl. W/K) | 18 | 2 | 2 |
| Overige gebruikers | 15 | 16 | 13 |
| Gezinshuish. | 8 | 2 | 1 |
| Transport | 20 | 19 | 20 |
| Zeescheepvaart | 26 | 26 | 26 |
| Procesemissies (excl. raff.) | 42 | 40 | 48 |
| TOTAAL | 484 | 413 | 361 |

Tabel 4.9.: SO₂-emissies ESC-basisscenario (mln. kg/jr)

- Totaal

Per saldo resulteert het basisscenario voor 2000 in een afname van de totale SO₂-emissies met 26% ten opzichte van 1980. Hiermee wordt bijna de 30%-eis voor verlaging van SO₂-emissies voor 1993 (350 mln kg/jr) in het jaar 2000 bereikt.

4.2.2. NO_x-emissies

- Openbare elektriciteits- en W/K-opwekking en wijkverwarming

De daling van NO_x-emissies rond 1990 in het basisscenario (zie tabel 4.10.) is vooral het gevolg van het afnemend gebruik van "onbestreden" stookolie-eenheden. In 2000 is echter het elektriciteitsverbruik enigszins toegenomen. Dit tezamen met de toenemende inzet van kolen-centrales leidt tot een stijgende NO_x-emissie. De emissies stijgen voorts als gevolg van de stijgende emissiefactor van gasturbines en steg-eenheden, hetgeen weer het gevolg is van het toenemende rendement (hogere verbrandingstemperaturen) van gasturbines in de toekomst.

Bij de openbare W/K-opwekking is de uitbreiding van het vermogen en de toenemende emissiefactor van steg-eenheden bijna geheel verantwoordelijk voor de emissietoename. De emissies bij wijkverwarming worden nagenoeg geheel veroorzaakt door de penetratie van warmtepompen.

- Industrie

De stijging ten opzichte van 1980 van de emissies in het basisscenario bij W/K-opwekking is deels het gevolg van stookoliegebruik (in 1990 circa 56 PJ en in 2000 circa 20 PJ) en deels het gevolg van de toepassing van kolen-W/K.

- Transport

De emissies in deze sector stijgen rond 1990 door een iets toenemend brandstofverbruik, maar na 1990 leidt de veronderstelling van een autonome penetratie van arme-mengsel (leanburn) motoren voor personenauto's op LPG en benzine tot een verlaging van de emissies in het jaar 2000.

- Overige sectoren

De emissie bij overige gebruikers stijgt in het basisscenario met name als gevolg van de introductie van warmtepompen. Bij gezinshuishoudingen stijgen de emissies in het basisscenario in geringe mate vooral als gevolg van een nagenoeg constant energieverbruik.

- Totaal

De totale NO_x-emissies stijgen in 2000 enigszins ten opzichte van het jaar 1980. Dit is vooral het gevolg van een toenemende inzet van kolencentrales, een vergroting van het w/k-vermogen en de penetratie van warmtepompen en gasturbines.

| | 1980 | 1990 | 2000 |
|---------------------------------|------|------|------|
| Raffinaderijen | 20 | 23 | 21 |
| Cokesfabrieken | 1 | 1 | 1 |
| Kolenvergassing | - | - | - |
| Openb. elektr. opw. | 89 | 75 | 91 |
| Stadsverw. (openb. W/K) | 1 | 6 | 10 |
| Wijkverwarming | 2 | 6 | 15 |
| W/K-industrie (incl. W/K-raff.) | 5 | 22 | 36 |
| Basisindustrie (excl. W/K) | 29 | 25 | 27 |
| Overige industrie (excl. W/K) | 12 | 8,7 | 9 |
| Overige gebruikers | 11 | 20 | 36 |
| Gezinshuish. | 22 | 24 | 22 |
| Transport | 287 | 296 | 255 |
| Zeescheepvaart | 9 | 10 | 12 |
| Procesemissies(excl. raff.) | 28 | 26 | 23 |
| TOTAAL | 516 | 543 | 558 |

Tabel 4.10.: NO_x-emissies ESC-basisscenario (mln. kg/jr)

5. EFFECTEN BESTRIJDINGSMAATREGELEN

5.1. Inleiding

De bij het basisscenario behorende emissieniveaus kunnen verlaagd worden door een aantal bestrijdingsmaatregelen toe te passen. Hieronder volgt een overzicht van maatregelen en technieken, die bij de bestrijding van de emissies in aanmerking worden genomen :

- SO₂-emissies
 - . ontzwaveling van stookolie door reductie zwavelgehalte tot 0,5% voor zware stookolie en 0,15% voor lichte stookolie;
 - . rookgasontzwaveling (installaties > 250 MW_t bij raffinaderijen en > 200 MW_t bij overige sectoren);
 - . wervelbedverbranding (uitsluitend bij kleine eenheden).

- NO_x-emissies
 - . lage brander zône-belasting (LBZB) en lage NO_x-branders (LNB);
 - . selectieve katalytische reductie (SKR);
 - . stoom- en waterinjectie;
 - . wervelbedverbranding (uitsluitend bij kleine eenheden);
 - . verbrandingsmodificaties dieselmotoren van personenauto's en lichte vrachtauto's;
 - . emissie-afstelling arme-mengsel(leanburn) motoren van personenauto's en lichte vrachtauto's op LPG en benzine;
 - . driewegkatalysatoren personenauto's en lichte vrachtauto's op benzine en LPG.

Proces-emissies

- . "tail gas units" in Clausfabrieken;
- . ontzwaveling olie-grondstof;
- . selectieve katalytische reductie.

Met behulp van SELPE zijn de kosten- en emissie-effecten van deze maatregelen gekwantificeerd. Voor de hierbij gehanteerde kosten- en emissiecoëfficiënten raadplege men appendix I.

Met behulp van de met het model berekende kosten en emissiereductie per maatregel zijn vervolgens eenvoudig de specifieke kosten per vermeden hoeveelheid SO₂, respectievelijk NO_x te bepalen. Met dit laatste kos-

tencijfer kan vervolgens een lijst van de te nemen maatregelen op volgorde van toenemende specifieke kosten worden samengesteld, waarmee eventuele bestrijdingsvarianten kunnen worden samengesteld (zie hoofdstuk 6). Een kostenoptimale afweging van NH_3 -, SO_2 -en NO_x -maatregelen kan tevens plaatsvinden op basis van de kosten (in gulden-80) per potentieel zuur (mol H^+) uitworpreductie, indien ook voor de potentieel verzurende werking van de verschillende stoffen wordt gecorrigeerd. Het hieruit volgende overzicht van kosten per potentieel zuur van de verschillende maatregelen maakt nl. een meer preciese onderlinge vergelijking van SO_2 -, NO_x -en NH_3 -bestrijdingsmaatregelen mogelijk. Voor een uitwerking hiervan raadplege men het samenvattend rapport [1]. Hieronder zullen per sector de kosten- en emissie-effecten van de maatregelen worden toegelicht.

5.2. SO_2 -emissies

Raffinaderijen

De bestrijding van SO_2 -verbrandingsemissies vindt plaats met behulp van de bouw van FGD-installaties voor alle bestaande olie en petrocokes verstokende ketels en fornuizen. Hiermee is een maximale technische bestrijding van SO_2 -emissies in de raffinaderijen beoogd. Meer in het bijzonder zullen alle in 1990 aanwezige fornuizen moeten zijn uitgerust met FGD-installaties ("retrofit").

Daarnaast wordt een maximale inspanning ten aanzien van de bestrijding van procesemissies verondersteld. Voor het jaar 1990 wordt hiervan echter nog nauwelijks enig effect verwacht. In tabel 5.1. wordt een overzicht van kosten- en emissie-effecten gegeven.

| Maatregel | Kosten (mln.gld-80/jr) | Emissiever- mindering (ton/jr) | Specifieke kosten (gld-80/ton) |
|-----------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| <u>1990</u> | | | |
| FGD bestaande fornuizen/ketels | 221 | 77.000 | 2.872,- |
| w.v. | | | |
| - stookolieketels | 109 | 44.550 | 2.450,- |
| - stookoliefornuizen | 88 | 29.025 | 3.030,- |
| - petrocokesfornuizen | 24 | 3.614 | 6.666,- |
| <u>2000</u> | | | |
| "Claus tail" procesemissies | 16,8 | 20.000 | 840,- |
| FGD bestaande fornuizen/ketels | 183 | 72.775 | 2.515,- |
| w.v. | | | |
| - stookolieketels | 76 | 37.260 | 2.037,- |
| - stookoliefornuizen | 77 | 30.456 | 2.520,- |
| - petrocokes | 30 | 4.505 | 6.666,- |

Tabel 5.1. Effecten maatregelen raffinaderijen

De kosten van bestrijding van de SO₂-verbrandingsemissies zijn in 2000 lager dan in 1990 omdat de capaciteit van oliegestookte ketels en -fornuizen in 2000 lager is dan in 1990. Dit is het gevolg van een iets toenemend gebruik van raffinaderijgas in plaats van stookolie. Het betreft dus een lichte daling van de FGD-capaciteit na 1995.

Openbare elektriciteits- en W/K-opwekking

De bestrijding van SO₂ vindt in 1990 met name plaats door middel van het gebruik van stookolie (circa 40 PJ) met een zwavelgehalte van 0,5 in plaats van 1,5 gewichtsprocenten. Voorts wordt voor 1990 rookgasreiniging (FGD) bij alle dan bestaande koleneenheden (1561 MW_e in 1990 zie ook tabel 4.5) aanwezig verondersteld. De hiermee in 1990 en 2000 te bereiken emissieniveaus kunnen nauwelijks nog zonder wijzigingen in de vermogensopbouw en brandstofinzet worden verlaagd. In tabel 5.2. wordt

een overzicht van bestrijdingsmaatregelen met bijbehorende effecten gegeven.

| Maatregel | Kosten (mln.gld-80/jr) | Emissiever- mindering (ton/jr) | Specifieke kosten (gld-80/ton) |
|--|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| <u>1990</u> | | | |
| FGD bestaande kolencentrales | 72,7 | 61.589 | 1.180,- |
| 0,5% zwavel in stookolie | 58,5 | 21.114 | 2.770,- |
| <u>2000</u> | | | |
| FGD bestaande kolencentrales ¹ | 35,3 | 30.633 | 1.153,- |

¹ Bijstook van stookolie met een zwavelgehalte van 0,5%

Tabel 5.2. Effecten maatregelen openbare elektriciteits- en W/K-opwekking

Industrie

De bestrijding van de SO₂-emissie van de stookolie-inzet in 1990 vindt plaats door middel van een verlaging van het zwavelgehalte naar 0,5% gewichtsprocenten en toepassing van FGD (retrofit en newfit) in alle kolengestookte ondervuringseenheden. Hierdoor wordt de emissie in de sector industrie fors verlaagd en worden in 2000 min of meer minimale emissieniveaus bereikt voor W/K, basis en overige industrie. In tabel 5.3. wordt een overzicht van kosten- en emissie-effecten van de veronderstelde maatregelen, inclusief de voor de bestrijding van procesemissies in de chemische industrie veronderstelde maatregelen gegeven. De toepassing van FGD bij bestaande kolenketels blijkt dan bijna tweemaal zo duur in de sector overige industrie dan in de basis industrie. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door de lagere bedrijfstijden in de eerstgenoemde sector.

| Maatregel | Kosten (mln.gld-80/jr) | Emissiever- mindering (ton/jr) | Specifieke kosten (gld-80/ton) |
|---|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| <u>1990</u> | | | |
| FGD bestaande kolen-W/K | 11,96 | 9.119 | 1.310,- |
| 0,5% zwavel stookolie-W/K | 82,5 | 29.700 | 2.778,- |
| 0,5% zwavel stookolie- ketels ¹ | 22,5 | 8.100 | 2.778,- |
| FGD bestaande kolen- ketels ¹ | 16,6 | 4.240 | 3.915,- |
| FGD bestaande kolen- ketels ² | 7,0 | 1.06 | 6.623,- |
| <u>2000</u> | | | |
| "Sweetening" bij Silicon carb. produktie | 14,7 | 11.700 | 1.254,- |
| FGD nieuwe kolen-W/K | 39,3 | 22.340 | 1.259,- |
| 0,5% zwavel stookolie-W/K | 31,5 | 11.340 | 2.778,- |
| Ontzwaveling Carb. Black | 10,6 | 3.90 | 2.727,- |
| 0,5% zwavel stookolie- ketels ¹ | 22,5 | 8.100 | 2.778,- |
| FGD (nieuwe en bestaande) kolenketels ¹ | 26,6 | 5.253 | 3.540,- |
| FGD (nieuwe en bestaande) kolenketels ² | 4,6 | 767 | 5.984,- |

¹ Basisindustrie

² Overige industrie

Tabel 5.3. Effecten maatregelen industrie

Overige sectoren

In de sector overige gebruikers vindt de bestrijding van SO₂ voornamelijk plaats door het zwavelgehalte van middendestillaten te verlagen van 0,27 naar 0,15% en door het zwavelgehalte van de stookolie te verlagen naar 0,5%. Voor de gezinshuishoudingen leidt het verlagen

van het zwavelgehalte van de HBO II tot enige SO₂-vermindering, maar in de sector transport heeft dit veel meer effect (verlaging emissie met circa 50%) als gevolg van het relatief omvangrijke dieseloliegebruik. Voor bestrijding van de SO₂-emissies bij de zeescheepvaart zijn vooralsnog geen maatregelen verondersteld.

In tabel 5.4. wordt een overzicht van de effecten van de resterende maatregelen gegeven.

| Maatregel | Kosten (mln.gld-80/jr) | Emissiever- mindering (ton/jr) | Specifieke kosten (gld-80/ton) |
|--|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| <u>1990</u> | | | |
| 0,15% zwavel HBO, diesel, etc. ¹ | 19,6 | 15.209 | 1.290,- |
| 0,5% zwavel stookolie- ketels ² | 13,5 | 4.860 | 2.778,- |
| <u>2000</u> | | | |
| 0,15% zwavel HBO, diesel, etc. ¹ | 18,1 | 14.008 | 1.290,- |
| 0,5% zwavel stookolie- ketels ² | 12,0 | 4.320 | 2.778,- |

¹ Voor alle sectoren, maar grotendeels in de sectoren overige gebruikers en transport

² Sector overige gebruikers

Tabel 5.4. Effecten maatregelen overige sectoren

5.3. NO_x-emissies

Raffinaderijen

Door het installeren van LNB + LBZB in bestaande ketels en fornuizen (niet van toepassing bij petrocokes) dalen de emissies met 50% (tot 15 mln.kg/jr in 1990 en 12 mln.kg/jr in 2000), zie tabel 5.5.

De toepassing van SKR wordt pas na 1990 mogelijk geacht en wordt zodoende pas in 2000 grotendeels toegepast verondersteld bij alle bestaande installaties. Dit kan leiden tot een forse daling van de NO_x emissies in het jaar 2000.

In tabel 5.5. wordt een overzicht van kosten- en emissie-effecten van deze maatregelen gegeven.

| Maatregel | Kosten (mln.gld-80/jr) | Emissiever- mindering (ton/jr) | Specifieke kosten (gld-80/ton) |
|---|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| <u>1990</u> | | | |
| LNB bestaande olie/gas- ketels en fornuizen | 7,4 | 7.874 | 937,- |
| <u>2000</u> | | | |
| LNB bestaande olie/gas- ketels en fornuizen ¹ | 14,1 | 9.315 | 1.515,- |
| LNB + SKR olie/gas- ketels en fornuizen | 55,2 | 18.556 | 2.974,- |

¹ Inclusief SKR ten aanzien van de NO_x-emissies van petrocokes

Tabel 5.5. Effecten maatregelen raffinaderijen

Openbare elektriciteits- en W/K-opwekking en wijkverwarming

De NO_x-emissies van gasturbines (pieklast) zouden kunnen worden bestreden door middel van waterinjectie (50% reductie). Van STEG-eenheden en gasturbines (openbare w/k) zouden de NO_x-emissies kunnen worden bestreden door stoominjectie (90% reductie). De kosten hiervan bestaan hoofdzakelijk uit brandstofkosten die het gevolg zijn van de rendementsverlaging als gevolg van deze bestrijdingsmethode. Voor deze studie is bij een 50% reductie uitgegaan van een rendementsverlaging van 3,7% en bij een reductie van 90% is van een rendementsverlaging van ca 9% uitgegaan.

| Maatregel | Kosten (mln.gld-80/jr) | Emissiever- mindering (ton/jr) | Specifieke kosten (gld-80/ton) |
|---|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| <u>1990</u> | | | |
| LNB bestaande kolen- centrales | 1,54 | 7.352 | 209,- |
| LNB ombouw kolen- centrales | 0,86 | 2.627 | 327,- |
| LNB bestaande olie/ gaseenheden | 14,4 | 8.136 | 1.736,- |
| <u>2000</u> | | | |
| LNB bestaande kolen- centrales | 0,83 | 3.756 | 221,- |
| LNB ombouw kolen- centrales | 0,86 | 3.540 | 242,- |
| LNB bestaande gas- eenheden | 2,7 | 1.117 | 2.417,- |
| Katalytische reductie warmtepompen ¹ | 18,0 | 10.686 | 1.686,- |
| Stoominjectie (90% bestr.) STEG ² -eenheden | 20,4 | 9.314 | 2.187,- |
| Waterinjectie gasturbi- nes en stoominjectie STEG-eenheden ³ | 15,9 | 6.194 | 2.565,- |
| LNB + SKR bestaande aardgaseenheden | 6,8 | 2.470 | 2.732,- |
| LNB + SKR ombouw kolen- centrales | 25,9 | 8.670 | 2.986,- |
| LNB + SKR bestaande kolencentrales | 33,0 | 10.969 | 3.011,- |
| SKR nieuwe kolencentra- les ⁴ | 219,9 | 45.892 | 4.779,- |

¹ Sector wijkverwarming

² Openbare W/K-opwekking

³ Openbare elektriciteitsopwekking

⁴ Bij deze centrales zijn reeds LNB aanwezig

Tabel 5.6 Effecten maatregelen openbare elektriciteits-, W/K- en wijkverwarming

Bij STEG-eenheden is bij 90% emissiereductie van een rendementsverlaging van 11% uitgegaan. De kosten van LNB en SKR tezamen worden vanzelfsprekend gunstig beïnvloed door de lage specifieke kosten van LNB. SKR bij nieuwe kolencentrales waar reeds LNB aanwezig is tonen in feite de laagst mogelijke specifieke kosten dienaangaande.

In tabel 5.6. wordt een overzicht van kosten- en emissie-effecten van bestrijdingsmaatregelen in deze sector gegeven.

Industrie

De stijging ten opzichte van 1980 van de emissies in het basisscenario bij W/K-opwekking is deels het gevolg van het stookoliegebruik (in 1990 circa 56 PJ en in 2000 circa 20 PJ) en deels het gevolg van de toepassing van kolen-W/K. De bestrijding vindt in eerste instantie plaats door middel van LNB. SKR wordt pas na 1990 geïnstalleerd. Ten aanzien van W/K-gasturbine-emissies kan een reductie van circa 90% worden bereikt door middel van stoominjectie. Deze verlagen de emissies met 14,7 mln kg/jr. In de industrie (basis en overige) dalen de emissies reeds in het basisscenario als gevolg van de verdringing van stookolie door aardgas. Bestrijding vindt allereerst plaats door middel van LNB en vervolgens in 2000 door de toepassing van LNB + SKR na 1990. SKR wordt overigens slechts bij de grotere ketelcapaciteiten een realistische optie geacht. De voor 1990 te bereiken emissieverlaging van circa 3,9 mln kg/jr voor W/K-industrie wordt bereikt door LNB ook te installeren op alle bestaande eenheden en wel voor 1990.

Met betrekking tot de procesemissies in de chemische industrie kan worden opgemerkt dat aangenomen wordt dat deze voor circa 80% bestreden worden door middel van SKR. Het effect hiervan op de emissies wordt pas na 1990 zichtbaar.

In tabel 5.7. wordt een overzicht van kosten- en emissie-effecten van de bestrijdingsmaatregelen in de industrie gegeven.

| Maatregel | Kosten (mln.gld-80/jr) | Emissiever- mindering (ton/jr) | Specifieke kosten (gld-80/ton) |
|---|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| <u>1990</u> | | | |
| LNB nieuwe W/K-eenheden | 0,87 | 1.108 | 785,- |
| LNB bestaande en nieuwe W/K-eenheden | 3,5 | 3.963 | 1.093,- |
| LNB bestaande kolen- ketels ¹ | 0,4 | 366 | 1.093,- |
| LNB stookolieketels ¹ | 1,0 | 900 | 1.133,- |
| LNB bestaande aard- gasketels ¹ | 17,3 | 7.538 | 2.300,- |
| LNB bestaande kolen/ olieketels ² | 4,9 | 1.265 | 3.873,- |
| <u>2000</u> | | | |
| LNB nieuwe W/K-eenheden | 2,5 | 2.941 | 833,- |
| Stoominjectie (90% re- ductie) gasturbines W/K | 21,3 | 14.716 | 1.445,- |
| LNB bestaande stook- olieketels ¹ | 1,0 | 900 | 1.133,- |
| LNB bestaande en nieuwe (aard)gasketels ¹ | 15,6 | 7.925 | 1.972,- |
| SKR bestaande kunst- mestindustrie | 1,1 | 560 | 2.007,- |
| LNB bestaande en nieuwe kolen/olieketels | 13,4 | 3.234 | 2.152,- |
| SKR petrochemie | 16,8 | 7.440 | 2.263,- |
| LNB + SKR nieuwe kolen-W/K | 18,87 | 9.967 | 1.893,- |
| LNB + SKR nieuwe en bestaande olie/gas-W/K | 33,3 | 6.059 | 5.487,- |
| LNB + SKR nieuwe en bestaande kolenketels ¹ | 9,87 | 3.080 | 4.029,- |
| LNB + SKR bestaande stookolieketels | 9,56 | 2.100 | 4.552,- |
| LNB + SKR nieuwe en bestaande aardgasketels | 75,0 | 14.586 | 5.140,- |
| SKR nieuwe kunstmestin- dustrie | 39,4 | 4.900 | 8.032,- |

¹ Basisindustrie

² Overige industrie

Tabel 5.7. Effecten maatregelen industrie

Transport

Met behulp van het voorschrijven van emissie-afstelling bij arme-mengsel (leanburn) motoren van personenauto's (benzine + LPG) en verbrandingsmodificaties aan dieselmotoren met directe inspuiting worden de emissies in 2000 met circa 25% verlaagd, en het brandstofverbruik slechts 1% verhoogd. Dit leidt tot extra brandstofkosten die ook in de kosten van de maatregel zijn opgenomen. Bij het voorschrijven van de zogenaamde driewegkatalysator bij personenauto's (benzine + LPG) in plaats van leanburnmotoren kunnen daarentegen de emissies verlaagd worden met circa 67% ten opzichte van het basisscenario. Het brandstofverbruik wordt dan echter met circa 35% verhoogd. In het basisscenario wordt nl. een "autonome" brandstofbesparing van ca 20% verondersteld ten opzichte van een "basisjaarauto". Bij toepassing van driewegkatalysatoren wordt echter een toename van het verbruik van ca 8% ten opzichte van een "basisjaarauto" aangenomen. Dit leidt per saldo tot een extra verbruik in 2000 van ca 35% ten opzichte van de (autonome) leanburnmotor. Als gevolg van deze door VROM (Direktie Lucht) veronderstelde toename van het brandstofverbruik

| Maatregel | Kosten (mln.gld-80/jr) | Emissiever- mindering (ton/jr) | Specifieke kosten (gld-80/ton) |
|---|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Verbetering 60% van de dieselmotoren | 19,2 | 31.361 | 612,- |
| Emissie-afst. LPG-auto's | 29,7 | 6.798 | 4.366,- |
| Emissie-afst. benzine- auto's | 104,4 | 21.132 | 4.940,- |
| Driewegkatalysator ¹ LPG-auto's | 341,9 | 13.981 | 24.460,- |
| Driewegkatalysator ¹ benzine-auto's | 1.413,2 | 43.430 | 32.540,- |

¹ In de plaats van de toepassing van leanburnmotoren

Tabel 5.8. Effecten maatregelen transport

stijgen echter de kosten van deze maatregel fors. De brandstofkosten zijn dan namelijk ca 10 maal zo hoog als de investeringskosten van deze bestrijdingstechniek. Overigens worden bij dit alles de kosten van het hiervoor noodzakelijke gebruik van ongelode benzine buiten beschouwing gelaten en wordt slechts de helft van de kosten toegerekend aan NO_x bestrijding, omdat ook CO en C_xH_y worden bestreden met deze maatregel. Ten aanzien van de zeescheepvaart worden geen maatregelen verondersteld. In tabel 5.8. wordt een overzicht van kosten- en emissie-effecten van bestrijdingsmaatregelen in de transport sector gegeven.

Overige sectoren

Bij de gezinshuishoudingen kunnen de emissies, die in het basisscenario niet stijgen (nagenoeg constant energieverbruik) gehalveerd worden, indien na 1990 de zogenaamde lage- NO_x CV-ketels worden toegepast (penetratie 100% in 2000). Voorts worden bij de sector overige gebruikers de emissies van de (gasmotor) warmtepompen bestreden. In tabel 5.9. wordt een overzicht van effecten van bestrijding in deze sectoren gegeven.

| Maatregel | Kosten (mln.gld-80/jr) | Emissiever- mindering (ton/jr) | Specifieke kosten (gld-80/ton) |
|--|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| <u>1990</u> | | | |
| LNB bestaande aard- gasketels ¹ | 6,05 | 1.243 | 4.947,- |
| LNB bestaande stook- olieketels ¹ | 2,2 | 5.404 | 5.404,- |
| <u>2000</u> | | | |
| Katalytische reductie 88% warmtepompen ¹ | 40,3 | 23.900 | 1.686,- |
| LN-CV's gezinshuish. | 49,7 | 10.960 | 4.534,- |
| LNB nieuwe aardgas- ketels ¹ | 13,6 | 2.747 | 4.950,- |

¹ Sector overige gebruikers

Tabel 5.9. Effecten maatregelen overige sectoren

5.4. Samenvatting specifieke kosten

Voor het evalueren en uitwerken van beleidsmaatregelen is het nuttig om de per sector weergegeven kosten en emissie-reducties van de bestrijdingsmaatregelen in een totaal overzicht weer te geven en wel op basis van de specifieke kosten per vermeden ton SO₂ en NO_x, zie appendix II. In figuur 5.1. zijn de specifieke kosten en emissiereductie per maatregel voor het jaar 2000 zoals vermeld in appendix II grafisch op volgorde van toenemende specifieke kosten weergegeven. Op basis van dit overzicht van specifieke kosten per maatregel kunnen een aantal bestrijdingsvarianten worden samengesteld waarmee de emissies van het basisscenario kostenoptimaal kunnen worden bestreden.

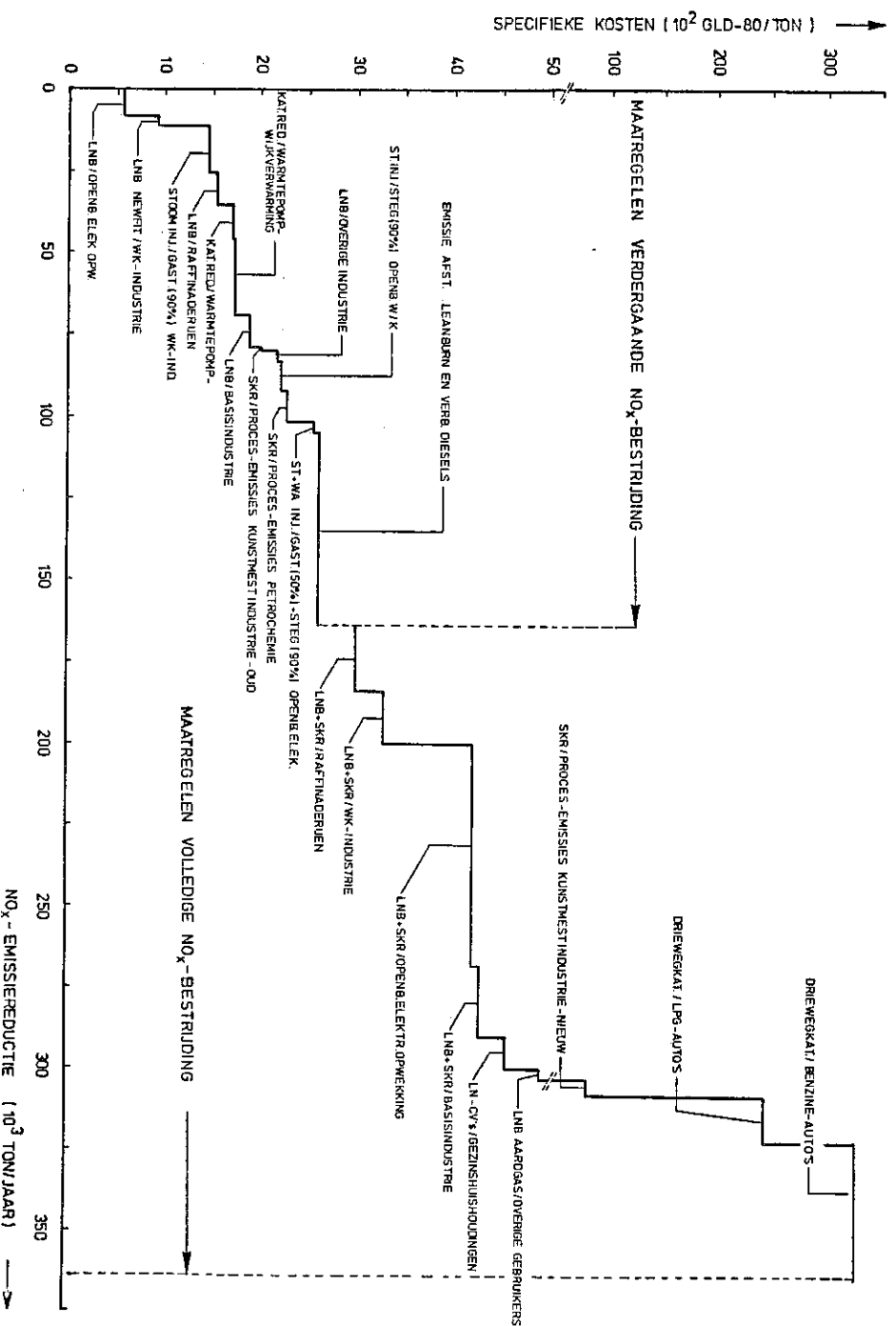
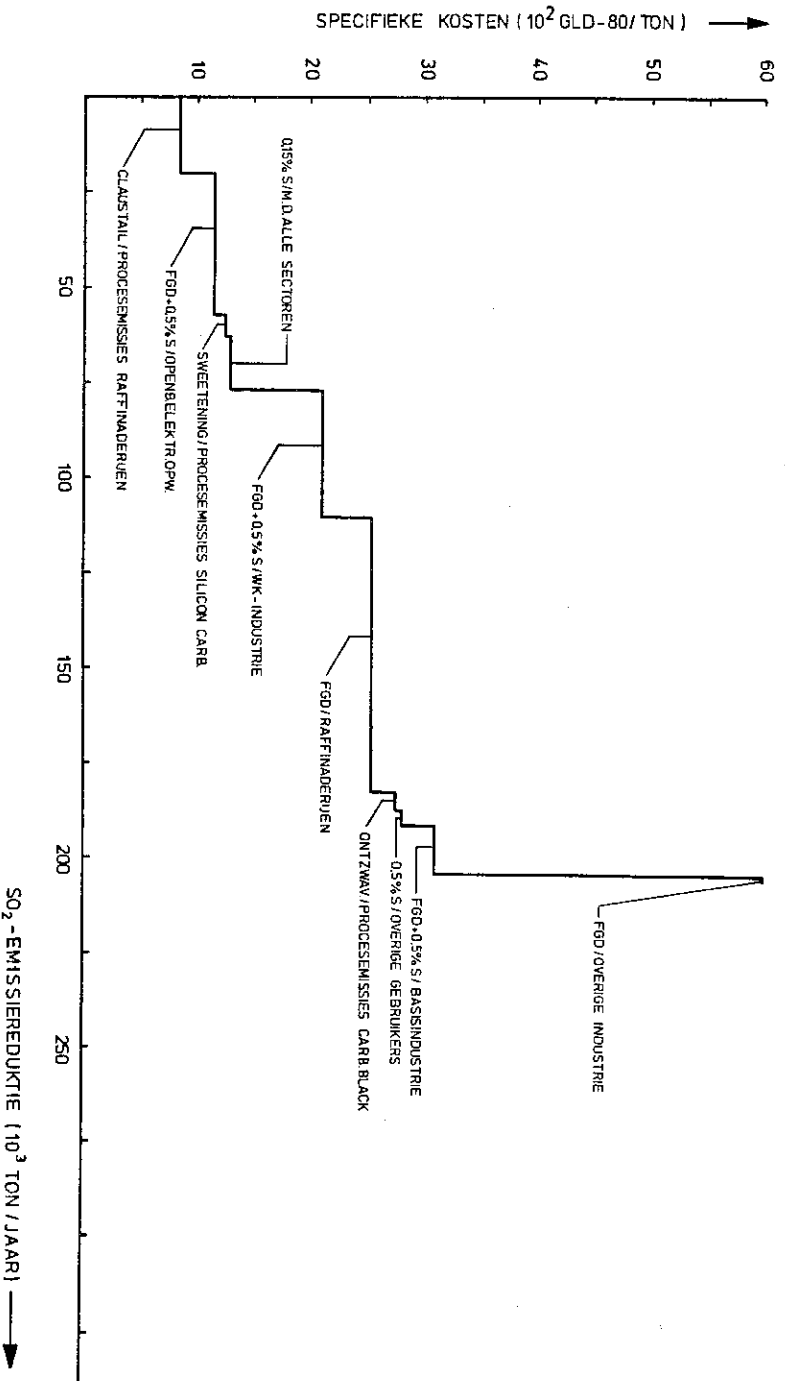
Hieronder volgen allereerst enige algemene opmerkingen met betrekking tot specifieke kosten per maatregel. In het algemeen zijn de specifieke kosten van een zelfde techniek (maatregel) per sector in 1990 hoger dan in het jaar 2000, omdat het in 1990 in de meeste gevallen om ombouw van bestaande installaties gaat en in het jaar 2000 in de meeste gevallen om (deels) nieuwbouw.

Voorts is het duidelijk dat de toepassing van LNB en/of SKR in sectoren waarin de eenheidsgrootte en de bedrijfstijd van de energie-installatie relatief laag is, bijvoorbeeld sectoren overige industrie en overige gebruikers, leidt tot een relatief forse toename van de specifieke milieukosten per maatregel.

Ook kan worden opgemerkt dat in het algemeen de toepassing van bestrijdingsmaatregelen in de sector openbare elektriciteitsopwekking het "goedkoopst" is en dat daarna de specifieke bestrijdingskosten in achtereenvolgens de sectoren raffinaderijen, W/K-industrie, basisindustrie enz. hoger worden. Dit is vooral het gevolg van de afnemende eenheids-grootte en bedrijfstijden van de installaties in deze sectoren.

Men moet echter wel bedenken dat alle kostencijfers gekenmerkt worden door een bepaalde mate van onzekerheid.

De voorgaande resultaten moeten daarom vooral worden beschouwd als een globale verkenning van de kosten- en emissie-effecten van bestrijdingsmogelijkheden op sectorniveau.



Figuur 5.1.: Specifieke kosten en emissiereductie per sector van bestrijdingsmaatregelen in het jaar 2000

6. RESULTATEN BESTRIJDINGSVARIANTEN

6.1. Bestrijdingsvarianten

Eerder is reeds opgemerkt dat uitgaande van emissies behorende bij het basisscenario een aantal maatregelen denkbaar zijn om de emissies gegeven de energie-inzet te bestrijden. Gegeven een zekere samenhang in de bestrijdingsmaatregelen en op basis van een ordening van maatregelen met als criteria de specifieke kosten (zie paragraaf 5.4) en/of de kosteneffectiviteit (gulden per mol H^+ uitworpreductie) zijn globaal drie groepen (varianten) van beleidsmaatregelen samengesteld.

Bij de SO_2 -bestrijding gaat het daarbij om maatregelen zoals rookgasontzwaveling en verlaging van het zwavelgehalte van stookolie (lichte en zware).

Bij de NO_x -bestrijding moet men vooral aan de toepassing van lage NO_x -branders (LNB) en aan selectieve katalytische reductie (SKR) denken.

Hieronder volgt een korte nadere omschrijving van maatregelen per variant.

6.2. Volledige SO_2 - en verdergaande NO_x -bestrijding (a) en (b)

Bij de verdergaande NO_x -bestrijding wordt onderscheid gemaakt tussen een a- en b-variant. De maatregelen waarvan de kosten en te behalen emissiereductie meer dan andere maatregelen worden gekenmerkt door onzekerheid vallen in de variant b. De kosteneffectiviteit van alle hier beschouwde SO_2 -bestrijdingsmaatregelen is lager dan f. 0,20/mol H^+ uitworpreductie. De maatregelen zijn daarom in één variant geplaatst.

Voor de NO_x -bestrijding is deze kosteneffectiviteit de grenswaarde voor plaatsing van de maatregelen in de verdergaande of volledige variant.

Het betreft de volgende maatregelen:

- Volledige SO_2 -bestrijding

- . Verlagen gewichtspercentage zwavel in stookolie van 1,6 naar 0,5 en in middendestillaten (HBO's en dieselolie) van 0,27 naar 0,15.

- . Het voor zover mogelijk en indien niet reeds aanwezig in het basis-scenario, toepassen van rookgasontzwaveling (emissiereductie 90%) in met kolen en stookolie gestookte installaties. Bij stookolie-eenheden kleiner dan 200 MW_t (raffinaderijen kleiner dan 250 MW_t) wordt geen rookgasontzwaveling, maar ontzwavelde (0,5%) stookolie toegepast.
 - . Bestrijding van SO_2 -procesemissies door middel van plaatsing van afgasbehandelingsinstallaties achter het Claus-proces en uitwassing van H_2S bij de siliciumcarbideproductie.
- Verdergaande NO_x -bestrijding (a)
- . Het toepassen voor zover mogelijk en indien nog niet in het basisscenario aanwezig, van lage NO_x -branders in combinatie met lage brander zône-belasting. Dit met uitzondering van de sector overige gebruikers.
 - . Ten aanzien van dieselmotoren met directe inspuiting wordt na 1990 een NO_x -reductie door middel van verbrandingsmodificaties verondersteld. Ten aanzien van de personenauto's op benzine en lpg wordt na 1990 de toepassing van de zogenaamde emissie-afstelling van de arme mengsel motor verondersteld. Voor het jaar 2000 wordt bij benzine en l.p.g. auto's 100% penetratie en voor diesels 60% penetratie verondersteld.
- Verdergaande NO_x -bestrijding (b)
- . Aan de maatregelen onder (a) worden de volgende maatregelen toegevoegd.

De toepassing van katalytische reductie van NO_x -emissies bij compressie-warmte-pompen met gasmotor, waterinjectie bij gasturbines voor het opwekken van pieklast en stoominjectie bij steg-eenheden en W/K-gasturbines met afgasketel.
 - . Bestrijding met selectieve katalytische reductie (SKR) van proces-emissies in de chemische industrie, met uitzondering van de kunst-mestindustrie-nieuw.

6.3. Volledige NO_x -bestrijding

Bij de variant "volledige" NO_x -bestrijding wordt verondersteld dat aan de variant verdergaande NO_x -bestrijding de volgende maatregelen worden toegevoegd:

- Lage NO_x -branders voor aardgas in de sector overige gebruikers.
- Selectieve katalytische reductie (SKR) waar en wanneer dit technisch mogelijk is. Dit gebeurt meestal in combinatie met lage NO_x -branders. In sommige gevallen, zoals bij de verbranding van petrocokes in fornuizen van de raffinaderijen, is dit technisch niet mogelijk.
- De toepassing van lage NO_x CV-ketels in de gezinshuishoudingen.
- Bestrijding van de NO_x -procesemissies door middel van selectieve katalytische reductie bij de produktie van salpeterzuur en (kunstmestindustrie-nieuw).
- De implementatie van driewegkatalysatoren bij personenauto's op benzine en l.p.g. na 1990 en in plaats van de arme mengselmotor met emissieafstelling in variant "verdergaande" NO_x -bestrijding.

Terzijde moet worden opgemerkt dat voor het bepalen van de effecten van bestrijdingsmaatregelen vooral de penetratiesnelheid van de bestrijdingstechniek van belang is en het moment van voorschrijven van een AMvB dienaangaande. Bij de hier genoemde maatregelen wordt aangenomen dat rond 1985 een AMvB wordt afgekondigd zodat tot 1990 ruim 4 jaar beschikbaar zijn voor de bouw van bestrijdingsinstallaties.

Voor een overzicht van de gehanteerde emissie-en kostencoëfficiënten zie appendix I.

6.4. Emissiereducties

De door de bestrijdingsvarianten veroorzaakte kosten en emissiereducties kunnen worden samengevat en vergeleken met uitkomsten van het basisscenario.

Daartoe is in tabel 6.1. een overzicht van SO_2 -emissies en in tabel 6.2. van NO_x -emissies per bestrijdingsvariant gegeven. Hierin wordt getoond hoe en in welke mate de streefwaarden voor SO_2 en NO_x bereikbaar zijn. In tabel 6.3. wordt tenslotte een overzicht van de milieukosten per bestrijdingsvariant gegeven, waaruit duidelijk wordt in welke sectoren de milieukosten dan zullen stijgen. Hieronder volgt een korte toelichting op de resultaten.

| | 1980 | 1990 | | 2000 | |
|------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | (1) | (2) | (1) | (2) |
| Raffinaderijen | 126 | 116 | 39 | 115 | 22 |
| (w.v. procesemissies) | (20) | (22) | | (5) | |
| Cokesfabrieken | 3 | 3 | | 4 | |
| Kolenvergassing | - | - | | - | |
| Openb. elektr. opw. | 189 | 109 | 27 | 63 | 32 |
| Stadsverw. (openb. W/K) | 3 | - | | - | |
| Wijkverwarming | 1 | 2 | | 2 | |
| W/K-industrie (incl. W/K-raff.) | 3 | 56 | 17 | 43 | 9 |
| Basisindustrie (excl. W/K) | 30 | 22 | 9 | 24 | 10 |
| Overige industrie (excl. W/K) | 18 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| Overige gebruikers | 15 | 16 | 6 | 13 | 5 |
| Gezinshuish. | 8 | 2 | 1 | 1 | 0 |
| Transport | 20 | 19 | 10 | 20 | 12,4 |
| Zeescheepvaart | 26 | 26 | | 26 | |
| Procesemissies(excl raff.) | 42 | 40 | | 48 | 32 |
| TOTAAL | 484 | 413 | 181 | 361 | 156 |
| STREEFWAARDEN | - | 350 | | 150 | |

(1) Basisscenario

(2) Volledige SO₂-bestrijding

Tabel 6.1.: SO₂-emissies ESC-basisscenario voor en na bestrijding
(mln. kg/jr)

SO₂-emissies

Met betrekking tot de SO₂-emissies, zie tabel 6.1., kan worden opgemerkt dat de SO₂-emissies als gevolg van de veronderstelde maatregelen in 1990 kunnen dalen van 413 naar 181 mln kg/jr, dat wil zeggen ver beneden het voor 1990 na te streven emissieplafond van 350 mln kg/jr.. Voor het jaar 2000 geldt dat de emissies kunnen dalen van 361 naar 156 mln kg/jr en daarmee de streefwaarde voor 2000 benaderen.

Vooraf de daling van SO₂-emissies in de sectoren raffinaderijen, W/K-industrie, basisindustrie en openbare elektriciteitsopwekking valt op. Bij gegeven en ongewijzigde brandstoffeninzet volgens het basisscenario kan van een technisch-economisch maximale bestrijdingsinspanning worden gesproken.

NO_x-emissies

Met betrekking tot de NO_x-emissies, zie tabel 6.2., kan worden gezegd dat deze minder fors afnemen ten opzichte van 1980 dan de SO₂-emissies. De NO_x-emissies kunnen als gevolg van de bestrijdingsmaatregelen van 543 naar 501 mln kg/jr in 1990 en van 558 naar 250 mln kg/jr in 2000 dalen. Het bereiken van de streefwaarden voor NO_x is moeilijker dan bij de SO₂-emissies. Voorts gaat de NO_x-bestrijding in de sector transport gepaard met relatief zeer hoge kosten, indien de driewegkatalysator wordt toegepast.

De verdergaande NO_x-bestrijdingsvariant bevat weliswaar relatief "goedkope" maatregelen. In variant (b) zitten echter opties waarvan de kostenaannames zeer onzeker zijn.

| | 1980 | 1990 | | 2000 | | | |
|------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------------|------------|
| | | (1) | (3) | (1) | (3) | (4) | (5) |
| Raffinaderijen | 20 | 23 | 15 | 21 | 12 | 12 | 3 |
| Cokesfabrieken | 1 | 1 | | | 1 | | |
| Kolenvergassing | - | - | | | - | | |
| Openb. elektr. opw. | 89 | 75 | 56 | 91 | 82 | 76 ¹ | 17 |
| Stadsverw. (openb. W/K) | 1 | 6 | | 10 | 10 | 1 ² | 1 |
| Wijkverwarming | 2 | 6 | | 15 | 15 | 4 ³ | 4 |
| W/K-industrie (incl. W/K-raff.) | 5 | 22 | 19 | 36 | 33 | 18 ⁴ | 5 |
| Basisindustrie (excl. W/K) | 29 | 25 | 16 | 27 | 18 | 5 | 5 |
| Overige industrie (excl. W/K) | 12 | 8,7 | 7,5 | 9 | 5 | 5 | 5 |
| Overige gebruikers | 11 | 20 | 19 | 36 | 36 | 12 ³ | 9 |
| Gezinshuish. | 22 | 24 | | 22 | 22 | 22 | 11 |
| Transport | 287 | 296 | | 255 | 196 | 196 | 167 |
| Zeescheepvaart | 9 | 10 | | | 12 | | |
| Procesemissies(excl. raff.) | 28 | 26 | | 23 | 23 | 15 | 10 |
| TOTAAL | 516 | 543 | 501 | 558 | 465 | 379 | 250 |
| STREEFWAARDE | - | - | | | 350 | | |

(1) Basisscenario; (3) Verdergaande NO_x-bestrijding(a); (4) Verdergaande NO_x-bestrijding(b) en (5) Volledige NO_x-bestrijding.

¹) Bestrijding van NO_x-emissie in gasturbines (50%) en STEG-eenheden (90%)

²) Bestrijding STEG-eenheden (90%)

³) Verlaging emissies warmtepompen met ca. 88%

⁴) Bestrijding W/K-gasturbines (90%)

Tabel 6.2.: NO_x-emissies ESC-scenario voor en na bestrijding
(mln. kg/jr)

| | 1990 | | | | 2000 | | | | | |
|----------------------|-----------------|------------|-----------------|-------------|-----------------|------------|-----------------|--------------|--------------|-------------|
| | SO ₂ | | NO _x | | SO ₂ | | NO _x | | | |
| | (1) | (2) | (1) | (3) | (1) | (2) | (1) | (3) | (4) | (5) |
| OPENBARE ELEKTR.OPW. | 70,8 | 202 | 1,4 | 18 | 239,7 | 275 | 4,2 | 8,6 | 24,5 | 305,7 |
| OPENBARE W/K | - | - | - | 0,2 | - | - | - | 0,1 | 20,4 | 20,8 |
| WIJKVERWARMING | - | - | - | - | - | - | - | - | 18,0 | 18,0 |
| W/K INDUSTRIE | - | 94,4 | 0,2 | 4,3 | 12,4 | 78,4 | 0,5 | 3,0 | 24,2 | 73,8 |
| BASISINDUSTRIE | - | 39,8 | 0,1 | 19 | 7,9 | 49,8 | 0,9 | 17,6 | 95,6 | 95,6 |
| RAFFINADERIJEN: | | | | | | | | | | |
| - VERBR. | - | 207,9 | - | 7,4 | - | 171,6 | - | 14,1 | 14,1 | 55,2 |
| - PROCES | - | - | - | - | - | 16,8 | - | - | - | - |
| OVERIGE INDUSTRIE | - | 7,8 | - | 4,9 | 1,9 | 7,3 | - | 13,4 | 13,4 | 13,4 |
| TRANSPORT | - | 10,5 | - | - | - | 11,7 | - | 153,1 | 153,1 | 1755 |
| OVERIGE GEBRUIKERS | - | 19,0 | - | 8,3 | - | 16,3 | - | 40,3 | 40,3 | 53,9 |
| GEZINSHUISH. | - | 1,1 | - | - | - | 0,54 | - | - | - | 49,7 |
| PROCESEMISSIES | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| (EXCL RAFF.) | - | - | - | - | - | 25,3 | - | - | 17,3 | 57,3 |
| TOTAAL | 70,8 | 583 | 1,7 | 62,1 | 262 | 653 | 5,7 | 250,2 | 420,9 | 2498 |

(1) Basisscenario; (2) Volledige SO₂-bestrijding; (3) Verdergaande NO_x-bestrijding(a); (4) Verdergaande NO_x-bestrijding(b) en (5) Volledige NO_x-bestrijding.

Tabel 6.3.: Milieukosten ESC-scenario voor en na bestrijding (mln. gld-80/jr)

6.5. Milieukosten

De kosten van de verschillende bestrijdingsvarianten zijn in tabel 6.3. weergegeven.

He is duidelijk dat in de sectoren electriciteitsopwekking, raffinaderijen, transport en industrie(incl. W/K) de milieukosten het hoogst zijn omdat men in deze sectoren de meeste emissiereductie tracht te bereiken.

Voor 1990 leidt de SO₂-bestrijding tot stijgende kosten in de electriciteitssector. Het betreft hier de toepassing van FGD bij bestaande koleneenheden en het verplichte gebruik van stookolie met een lager (0,5% gewichtsprocenten) zwavel-gehalte. De kosten hiervan bedragen in totaal ca. 130 mln gld-80/jr en tesamen met de reeds voorziene kosten van het huidige beleid (ca. 71 mln gld-80/jr) komt dit op een totale kosten van 202 mln gld-80/jr in 1990.

Voor de periode 1990-2000 zijn minder extra maatregelen ten aanzien van SO₂ nodig in deze sector. De kosten stijgen daarom minder opvallend in deze periode.

De kosten van NO_x-bestrijding bedragen in het algemeen een veelvoud van de SO₂-bestrijding en leiden bovendien tot minder emissiereductie. Met name de toepassing van driewegkatalysatoren leidt tot een forse stijging van de milieukosten.

6.6. Effect inzet kernenergie

Tenslotte enige opmerkingen over het emissie- en kosteneffect van de vervanging van 3000 MWe kolenvermogen door kerncentrales.

Hieronder volgt een overzicht van de effecten waarbij wordt afgezien van mogelijke andere kosten- en milieu-effecten.

| Emissiefactor kolencentrales | Vermeden emissie (mln kg/jr) | | Vermeden bestrijdingskosten (mln gld-80/jr) | | |
|---|---------------------------------|-----------------|--|-----------------|--------|
| | NO _x | SO ₂ | NO _x | SO ₂ | Totaal |
| <u>Onbestreden:</u> 280 ton NO _x /PJ 680 ton SO ₂ /PJ | 47,0 | 114 | - | - | - |
| <u>Bestreden ¹</u> LNB 180 ton NO _x /PJ FGD 70 ton SO ₂ /PJ | 30,2 | 11 | 2 | 112 | 114 |
| <u>Bestreden ²</u> LNB+SKR 36 ton NO _x /PJ FGD 70 ton SO ₂ /PJ | 6,0 | 11 | 114 | 112 | 226 |

¹ Varianten volledige SO₂- en verdergaande NO_x-bestrijding.

² Varianten volledige SO₂- en NO_x-bestrijding.

Tabel 6.4.: Effecten inzet van 3000 MWe kernenergiecentrales

Zoals ook uit tabel 4.5. blijkt zijn de in tabel 6.4. aangegeven "onbestreden" kolencentrales vergelijkbaar met de tot nu toe gebouwde eenheden.

De "bestreden" (LNB en FGD) kolencentrales zijn voorts vergelijkbaar met de in komende jaren geplande nieuw te bouwen koleneenheden (bijv. Maasvlakte). De "bestreden" (LNB+SKR en FGD) kolencentrales zijn uitsluitend voorzien in de bestrijdingsvarianten, genaamd volledige SO₂- en NO_x-bestrijding, ter vermindering van de verzuring, zoals in deze studie beschouwd.

7. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

7.1 Conclusies

Ten aanzien van de SO_2 -emissies kan worden opgemerkt dat met behulp van rookgasreiniging in centrales, W/K-eenheden, bij de industrieketels en het gebruik van ontzwavelde lichte en zware stookolie en verregaande bestrijding van procesemissies de voor de zichtjaren genoemde streefwaarden voor de SO_2 -emissies (in 1990 ca 350 mln kg/jr en in 2000 ca 150 mln kg/jr) gehaald kunnen worden. Voor 1990 wordt de streefwaarde zelfs ruim onderschreden. De jaarlijkse milieukosten lopen hierdoor echter op van ca 70 mln gulden tot ca 583 mln gulden in 1990 en van 262 tot ca 653 mln gulden in 2000.

De gemiddelde kosten van bestrijding bedragen hierbij ca f. 2.515,-- per bestreden ton SO_2 . De grootste toename van de kosten en SO_2 -emissiereductie vindt plaats in de sectoren openbare electriciteitsvoorziening, industrie en raffinaderijen. Bij kleine ketels kan het gebruik van wervelbedketels in plaats van de toepassing van FGD-installaties gunstig zijn.

Met betrekking tot de NO_x -emissies kan worden opgemerkt, dat de streefwaarde voor 2000 (t.w. 350 mln kg/jr) slechts kan worden bereikt met een relatief dure bestrijdingsvariant genaamd volledige NO_x -bestrijding. De maatregelen in deze variant, t.w. selectieve katalytische reductie in bijna alle sectoren en de toepassing van lage NO_x CV-ketels, driewegkatalysatoren bij personenauto's veroorzaken echter een kostentoename van ca 2070 miljoen gulden per jaar. Wordt echter afgezien van de toepassing van driewegkatalysatoren dan kan een emissieniveau van ca. 280 mln kg/jr worden bereikt bij milieukosten van ca 900 mln gld-80 per jaar. De gemiddelde specifieke milieukosten bij verdergaande bestrijding bedragen ca f. 2.320,-- per vermeden ton NO_x en bij volledige bestrijding ca f. 16.100,-- per bestreden ton NO_x in het jaar 2000.

Overigens kunnen voor 1990 de NO_x -emissies voornamelijk door toepassing van LNB worden bestreden hetgeen tot een beperkte daling van emissies aanleiding geeft. Het zal duidelijk zijn dat de NO_x -bestrijding in het algemeen technisch moeilijker is en met veel hogere kosten gepaard gaat dan de SO_2 -bestrijding. De in deze studie gewenste reductie van verzurende emissies en bijgevolg genoemde streefwaarden voor SO_2 en NO_x zijn vanuit bepaalde veronderstellingen over de "landelijk gemiddeld toelaatbaar geachte depositie" van SO_2 , NO_x en NH_3 vastgesteld [1].

De hierbij veronderstelde verzuringseffecten en -relaties zijn echter onzeker. Het is van belang dit bij een beschouwing van de hier gepresenteerde milieukosten en te behalen emissiereducties van de verschillende bestrijdingsvarianten te bedenken.

Kijkt men naar de specifieke kosten van de bestrijdingsmaatregelen per techniek dan valt op dat de aantrekkelijkheid van bepaalde energieconversie-installaties, bijv. W/K-eenheden en electriciteitscentrales sterk beïnvloed kan worden door het al of niet voorschrijven van een bepaalde uitworp-norm en/of bestrijdingsmaatregel. De aantrekkelijkheid van de warmtekracht optie, die als gevolg van diverse andere oorzaken (verwachtingen van een lagere energieprijzontwikkeling en groei van de industriële productie) toch al afgenomen is, kan hiermee nog meer worden verminderd.

Voorts blijkt de toepassing van drieweg-katalysatoren met al zijn verdere consequenties, zoals de noodzaak om over ongelode benzine te kunnen beschikken, geen aantrekkelijke optie voor NO_x -bestrijding.

Gezien de grote repercussies van het eventueel verlaten van een eenmaal ingeslagen weg bij de bestrijding van de verkeersemisies lijkt een herevaluatie van de verschillende bestrijdingsopties dienaangaande zeer gewenst. Uiteraard dienen hierbij alle in aanmerking komende kosten en emissie-effecten te worden betrokken.

Naar aanleiding van bovengenoemde opmerkingen moet nogmaals de aandacht worden gevestigd op het feit dat energieinzet en -beleid in deze studie als een overanderbaar gegeven zijn beschouwd. In afwijking daarvan zijn

in hoofdstuk 6 de effecten van de inzet in 3000 MWe kernvermogen (in plaats van kolencentrales) vermeld. Het blijkt dat er sprake kan zijn van belangrijke emissiereducties en/of vermindering van milieukosten. Voorts moet gewezen worden op de beperkingen die vanuit de strikt "landelijke" benadering van het verzuringsvraagstuk voortvloeien. NH_3 -emissies bezitten bijv. een sterk regionaal effect, terwijl SO_2 -en NO_x -deposities in Nederland voor een belangrijk deel ook afkomstig zijn uit het buitenland, bijv. West Duitsland. Een en ander zou bijv. aanleiding kunnen geven tot het in de toekomst formuleren van andere streefwaarden voor landelijke emissies waarbij toch een zelfde depositiereductie in Nederland wordt verkregen.

Meer in het algemeen moeten bij het opstellen van streefwaarden en beoordelen van de aanvaardbaarheid van de hierdoor te maken milieukosten ook de baten van dergelijke maatregelen worden betrokken.

7.2. Discussies

De hier voorliggende studie bevat verschillende aanknopingspunten voor het formuleren van bestrijdingsstrategieën om de verzurende emissies te verminderen. De studie is echter uitgevoerd binnen een aantal van te voren opgelegde randvoorwaarden waarbinnen naar kostenoptimale beleidsvarianten is gezocht. De met de berekeningen gevonden waarden kunnen dus mede afhankelijk zijn van de gestelde streefwaarden, de in de beschouwing genomen maatregelen en de veronderstelde ontwikkeling van de energievoorziening (basisscenario). Het is daarom van groot belang de hiergevonden resultaten te onderwerpen aan een gevoeligheidsanalyse ten aanzien van deze randvoorwaarden.

Ter toelichting kan nog het volgende worden opgemerkt ten aanzien van de randvoorwaarden van deze studie:

1. De streefwaarden zoals nu geformuleerd zijn gebaseerd op een groot aantal veronderstellingen over de samenhang tussen emissies, de verspreiding van emissies, deposities en schadelijke effecten. Andere veronderstellingen dienaangaande kunnen wellicht aanleiding geven tot andere of meerdere streefwaarden.

2. Ten aanzien van de in deze studie beschouwde maatregelen, zijnde hoofdzakelijk uitworpnormen ten aanzien van installaties (technieken) en voorschriften ten aanzien van brandstofsamenstelling (zwaartelgehalte) kan worden overwogen ook andere beleidsinstrumenten toe te passen. Te denken valt hierbij aan milieuheffingen, gewijzigde energieinzet en/of uitvaardigen van uitworpnormen op sectorniveau. Het kan wellicht ook mogelijk zijn om met behulp van uitworpnormen per industriesector, per provincie en/of regio, per bedrijfspgroep (bijv. raffinaderijen) dezelfde verlaging van de depositie te bereiken als met eerdergenoemde "landelijke" streefwaarden wordt nagestreefd. Op theoretische en praktische gronden mag men dan lagere milieukosten verwachten. Anderzijds kunnen hierdoor echter ook ongewenste gevolgen voor de energiebeleidsdoelstellingen ontstaan.
3. De toekomstige ontwikkelingen op de lange termijn worden zeker met betrekking tot de energievoorziening gekenmerkt door een grote onzekerheid. Het zal duidelijk zijn dat wijzigingen in energiebehoefte, vervoersintensiteiten, beschikbaarheid van kolen, aardgas etc. grote invloed kunnen hebben op de energieinzet en bijgevolg de emissies. Dit kan weer leiden tot andere kostenoptimale bestrijdingsstrategieën. In aansluiting hierop dient te worden gewezen op invloed van milieukosten op de aantrekkelijkheid van energieinstallaties, het energieverbruik, de energieprijzen en -investeringen. Het lijkt gewenst deze effecten door te rekenen op hun gevolgen voor de energievoorziening en economie om onder andere te onderzoeken of de uitgangspunten van het veronderstelde energiescenario aanpassing behoeven. Voor het ontwikkelen van een kostenoptimaal lange termijn milieubeleid moeten daarom meerdere energiescenario's in beschouwing worden genomen om de gevoeligheid hiervan voor de uitkomsten te kunnen toetsen.
De milieumaatregelen moeten tevens mede getoetst worden op hun gevolgen voor de economische en energetische beleidsdoelstellingen, gezien de grote onderlinge verwevenheid.

Samenvattend moet worden gesteld dat een "gevoeligheidsanalyse" op de in deze studie in acht genomen randvoorwaarden (streefwaarden, energie-scenario en maatregelen) gewenst lijkt. Hiervoor zal dan een meer uitgebreide systeemstudie nodig zijn dan hier uitgevoerd. Daarnaast dient ook een meer gedetailleerd inzicht te worden verkregen in emissies en bestrijdingsmogelijkheden in sectoren transport, industrie en raffinaderijen. Ten aanzien van introductiesnelheden van maatregelen is ook meer kennis gewenst.

8. LITERATUUR

- [1] B.M. Tangena
Optimalisatie bestrijding verzurende emissies.
Rapport van een onderzoek uitgevoerd door : Energie Studie Centrum
, Technica en het Rijksinstituut voor de Volksgezondheid en
Milieuhygiëne, Leidschendam, september 1984.
- [2] Technica Consulting Scientist and Engineers
Optimisation of abatement of acidifying emissions
Londen, april 1984
- [3] Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieube-
heer en het Ministerie van Landbouw en Visserij.
De problematiek van de verzuring, Tweede Kamer, vergaderjaar 1983-
1984, 18225, nrs. 1-2.
Den Haag, Staatsuitgeverij, 1984
- [4] W.G. van Arkel en F. van Oostvoorn
Ontwikkeling van een Milieusector in het energiemodel SELPE:
modeldefinitie, enige proefberekeningen van emissies en een over-
zicht van bestrijdingstechnieken. Project afgesloten oktober
1983.
ESC-WR-84-14, Petten, augustus 1984
- [5] P.G.M. Boonekamp
Beschrijving van SELPE, een model van de Nederlandse energievoor-
ziening.
ESC-17, Petten, april 1982
- [6] Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieube-
heer
Tweede circulaire inzake eisen met betrekking tot de uitworp van
luchtverontreinigende stoffen door kolengestookte installaties,
Leidschendam, september 1982

- [7] Ministerie van Economische Zaken,
Een ongewijzigd beleidsscenario voor de energievoorziening van
Nederland tot het jaar 2000,
Den Haag, 22 december 1981
- [8] P.G.M. Boonekamp, N.J. Koenders en F. van Oostvoorn
De energievoorziening in de vier MDE-scenario's gebaseerd op
berekeningen met het energiemodel SELPE
ESC-23, Petten, juli 1983
- [9] TNO R 83/37 Ing. A. Bakkum e.a.
Emissieregistratie van vuurhaarden
Aanvulling op de handleiding ER deel I, april 1982

APPENDIX I. Kosten en emissiefactoren

Hieronder volgt een aantal tabellen waarin de voor de berekeningen gehanteerde kosten en emissiefactoren zijn vermeld.

Tabel I.1.: Emissiefactoren voor onbestreden emissies bij stationaire verbrandingsinstallaties, gebaseerd op de situatie in 1980.

Bron : ESC [4]

| Proces | Brandstof | Emissiefactor (ton/PJ) | | Opmerking |
|---|--------------------|------------------------|-----------------|-----------|
| | | SO ₂ | NO _x | |
| Sector I : Openbare electriciteitsvoorziening | | | | |
| 1. oliegestookte conventionele eenheden | o zware stookolie | 770 | 180 | |
| 2. gasgestookte conventionele eenheden | o aardgas | 0 | 140 | |
| | o cokesovengas | 250 | 15 | |
| | o hoogovengas | 0 | 15 | |
| 3. conventionele kolencentrales | o steenkool | 680 | 270 | |
| 4. pieklasteenheden (gasturbines) | o aardgas | 0 | 140 | |
| | o lichte stookolie | 125 | 250 | |
| | o LPG | 0 | 40 | |
| 5. vuilverbrandingseenheden | o vuil | 160 | 150 | |
| Sector II : Openbare warmte/kracht - koppeling (Stadsverwarming) | | | | |
| 1. conventionele olie/gasgestookte ketels | o aardgas | 0 | 90 | |
| | o zware stookolie | 770 | 180 | |
| 2. STEG-eenheden | o aardgas | 0 | 140 | |
| 3. poederkoolketels | o steenkool | 680 | 220 | nieuw |

Sector III : Industriële warmte/kracht - opwekking

| | | | | |
|--|--------------------|-----|-----|-------|
| 1. olie/gasgestookte w/k-eenheden (tegendruk-, condensatieturbine) | o aardgas | 0 | 100 | |
| | o lichte stookolie | 125 | 60 | |
| | o zware stookolie | 770 | 120 | |
| 2. gasturbine + afgasketel | o aardgas | 0 | 140 | |
| | o lichte stookolie | 125 | 250 | |
| 3. olie/gasgestookte ketel + tegen drukturbine | o aardgas | 0 | 70 | |
| | o zware stookolie | 770 | 150 | |
| 4. poederkoolketel + tegendrukturbine | o steenkool | 680 | 220 | nieuw |

Sector IV : Wijk- en stadsverwarming (warmtesector)

| | | | | |
|--------------------------------------|--------------------|-----|-----|-------|
| 1. conventionele ketels | o aardgas | 0 | 50 | |
| | o lichte stookolie | 125 | 45 | |
| 2. compressiewarmte- pomp + gasmotor | o aardgas | 0 | 900 | nieuw |
| 3. vuilverbranding | o vuil | 160 | 150 | |

Sector V : Gas en Kolen (kolenvergassing)

Emissiefactoren zijn gebaseerd op de totale doorzet

| | | | | |
|------------------------------------|-------------|-----|----|-------|
| 1. kolenvergassing Lurgi | o steenkool | 130 | 60 | nieuw |
| 2. kolenvergassing SNG (Esso) | o steenkool | 165 | 75 | nieuw |
| 3. kolenvergassing IGI-U (VEGIN) | o steenkool | 0 | 7 | nieuw |
| 4. kolenvergassing SHELL | o steenkool | 120 | 60 | nieuw |
| 5. methanolbereiding uit steenkool | o steenkool | 165 | 75 | nieuw |

Sector VI : Raffinaderijen

| | | | |
|---------------------|-------------------|--------|-----|
| 1. stoomketels | o zware stookolie | 1250 * | 170 |
| 250 MW _t | o raffinaderijgas | 140 | 80 |
| 2. stoomketels | o zware stookolie | 1250 * | 170 |
| 250 MW _t | o raffinaderijgas | 140 | 80 |
| 3. Fornuizen | o zware stookolie | 1250 * | 275 |
| 250 MW _t | o raffinaderijgas | 140 | 185 |
| | o petrocokes | 550 | 300 |
| 4. Fornuizen | o zware stookolie | 1250 * | 275 |
| 250 MW _t | o raffinaderijgas | 140 | 185 |

Sector VII : Basisindustrie (chemie, basismetaal, bouwmaterialen)

| | | |
|--------------------|-----|-----|
| o aardgas | 0 | 100 |
| o raffinaderijgas | 180 | 200 |
| o chem. afvalgas | 30 | 70 |
| o hoogovengas | 0 | 15 |
| o lichte stookolie | 140 | 60 |
| o zware stookolie | 770 | 160 |
| o steenkool | 680 | 220 |

* waarden voor 1980; voor 1990 : 1500 ton/PJ; voor 2000 : 1800 ton/PJ.
tengevolge van een diepere conversie in de toekomst.

Sector VIII : Overige industrie

| | | |
|--------------------|-----|-----|
| o aardgas | 0 | 50 |
| o LPG | 0 | 40 |
| o steenkool | 680 | 220 |
| o cokes | 500 | 280 |
| o zware stookolie | 770 | 120 |
| o lichte stookolie | 125 | 45 |

Sector IX : Overige gebruikers

| | | |
|--------------------|-----|-----|
| o aardgas | 0 | 60 |
| o LPG | 0 | 40 |
| o steenkool | 680 | 220 |
| o zware stookolie | 770 | 120 |
| o lichte stookolie | 125 | 45 |
| o biogas | 0 | 60 |

Sector X : Transport(bij autonome ontwikkeling)

| Voertuigtype | brandstof | Emissiefactor (ton/PJ) | | | |
|--|--------------|------------------------|-----------------|------|-----------|
| | | SO ₂ | NO _x | | |
| | | | 1980 | 1990 | 2000 |
| 1. personenauto's en lichte vrachtauto's | o benzine | 13 | 931 | 1052 | 854/732 * |
| | o LPG | 0 | 649 | 724 | 611/528 |
| 2. vrachtauto's en bussen met directe inspuiting | o dieselolie | 125 | 1246 | 1246 | 1324 |
| 3. overige voertuigen ** | o benzine | 13 | 1000 | 1000 | 1000 |
| | o dieselolie | 125 | 740 | 650 | 650 |

* ERGA-gegevens/gegevens: VROM, Directie Lucht; d.w.z. de autonome introductie van leanburnmotoren, die tevens de emissies verlagen.

** uitgezonderd zeeschepen en luchthvaart; hiervoor wordt uitgegaan van een constante totale emissie van 26 mln kg SO₂/jaar en 13 mln kg NO_x/jaar.

Tabel 1.2.: Overzicht van emissiefactoren (ton/PJ) van de bestrijdingsvarianten voor SO₂ en NO_x

Bron : ESC [4] Technica [2] en VROM (Direktie Lucht)

RGD = rookgasontzwaveling

0+0.5 = olie-ontzwaveling tot 0.5 gew. % S

LNB = lage NO_x-branders in combinatie met lage
branderzone-belasting

(S)KR = (selectieve) katalytische reductie

WBV = wervelbedverbranding

LNCV = lage NO_x- CV-ketel

VN = verbrandingsmodificatie

| Bestrijdingsvariant | 1. SO ₂ -bestrijding | | 2 NO _x -bestrijding | | |
|---|---------------------------------|---|--------------------------------|---|---|
| | 1.1. ongewijzigd beleid | 1.2. volledige SO ₂ - bestrijding | 2.1. ongewijzigd beleid | 2.2. verdergaande NO _x -bestrijding | 2.3. volledige NO _x bestrijding |
| Sector/proces | techniek em.factor | techniek em.factor | techniek em.factor | techniek em.factor | techniek em.factor |
| <u>I. Openbare elektr.voorziening</u> | | | | | |
| 1. oliegestookte conv.eenheid | | 0+0.5 230 | | LNB 115 | LNB+SKR 22 |
| 2. gasgestookte conv.eenheid - aardgas | | | | LNB 85 | LNB+SKR 17 |
| 3. bestaande kolencentrale | | | | | |
| - Gelderland Z-13 | RGD 305* | | | | |
| - Amer 81 | RGD 305* | | | | |
| - Buggenum 6 | | RGD 70 | LNB 180 | LNB 180 | LNB+SKR 36 |
| - Maasvlakte | RGD 70 | | LNB 180 | | |
| - Borssele | RGD 305* | | LNB 180 | | |
| 4. nieuwe kolencentrale | RGD 70 | RGD 70 | LNB 180 | LNB 180 | LNB+SKR 36 |
| 5. pieklasteenheid | | | | | |
| - aardgas | | | | | waterinj. 150 |
| - lichte stookolie | | 0+0.15 70 | | | |
| 6. STEG- eenheid | | | | | stoominj. 30 |

* 50% van de output wordt ontzwaveld

Tabel I.2.: Overzicht van emissiefactoren (ton/PJ) van bestrijdingsvarianten voor SO₂ en NO_x (vervolg)

| Bestrijdingsvariant | 1. SO ₂ -bestrijding | | 2 NO _x -bestrijding | | |
|---|---------------------------------|---|--------------------------------|--|---|
| | 1.1. ongewijzigd beleid | 1.2. volledige SO ₂ -bestrijding | 2.1. ongewijzigd beleid | 2.2. verdergaande NO _x -bestrijding | 2.3. volledige NO _x -bestrijding |
| Sector/proces | techniek em.factor | techniek em.factor | techniek em.factor | techniek em.factor | techniek em.factor |
| II. <u>Openbare w.k.k.</u> (stadsverwarming) | | | | | |
| 1. conventionele ketels op aardgas | | | | | |
| • 1990 | | | | LNB 55 | LNB 55 |
| • 2000 | | | | LNB 55 | LNB+SKR 11 |
| 2. STEG-eenheden - aardgas | | | | | stoominj. 30 |
| III. Industriële w.k.k. | | | | | |
| 1. olie/gasgestookte w/k-eenheden - aardgas | | | | | |
| • 1990 | | | | LNB 55 | LNB 55 |
| • 2000 | | | | LNB 55 | LNB+SKR 11 |
| - lichte stookolie | | 0+0.15 70 | | | |
| - zware stookolie | | | | | |
| • 1990 | | 0+0.5 230 | | LNB 115 | LNB 115 |
| • 2000 | | 0+0.5 230 | | LNB 115 | LNB+SKR 22 |
| 2. gasturbine+afgasketel - aardgas | | | | | stoominj. 30 |
| - lichte stookolie | | 0+0.15 70 | | | |
| 3. poederkoolketel + tegendrukturbine | | | | | |
| • 1990 | 600 | RGO 70 | LNB 220* | LNB 220* | LNB 220* |
| • 2000 | RGO 230 | RGO 70 | LNB 220* | LNB 220* | LNB+SKR 45 |

* minder dan 35% reductie bij onbestreden uitworp van 280 ton/PJ

Tabel I.2.: Overzicht van emissiefactoren (ton/PJ) van de bestrijdingsvarianten voor SO₂ en NO_x (vervolg)

| Bestrijdingsvariant | 1. SO ₂ -bestrijding | | 2 NO _x -bestrijding | | |
|---------------------------------------|---------------------------------|---|--------------------------------|--|---|
| | 1.1. ongewijzigd beleid | 1.2. volledige SO ₂ -bestrijding | 2.1. ongewijzigd beleid | 2.2. verdergaande NO _x -bestrijding | 2.3. volledige NO _x -bestrijding |
| Sector/proces | techniek em.factor | techniek em.factor | techniek em.factor | techniek em.factor | techniek em.factor |
| IV. <u>Wijk- en stadsverwarming</u> | | | | | |
| 1. conventionele ketels | | | | | |
| - lichte stookolie | | 0+0.15 70 | | | |
| 2. compressiewarmtepomp + gasmotor | | | | KR 120* | KR 120* |
| VI. <u>Raffinaderijen</u> | | | | | |
| 1. stoomketels | | | | | |
| - zware stookolie | | | | | |
| • 1990 | | RGO 150 | | LNB 107 | LNB 107 |
| • 2000 | | RGO 180 | | LNB 107 | LNB+SKR 21 |
| - raffinaderijgas | | | | | |
| • 1990 | | | | LNB 50 | LNB 50 |
| • 2000 | | | | LNB 50 | LNB+SKR 10 |
| 2. fornuizen | | | | | |
| - zware stookolie | | | | | |
| • 1990 | | RGO 150 | | LNB 175 | LNB 175 |
| • 2000 | | RGO 180 | | LNB 175 | LNB+SKR 35 |
| - raffinaderijgas | | | | | |
| • 1990 | | | | LNB 112 | LNB 112 |
| • 2000 | | | | LNB 112 | LNB+SKR 23 |
| - petrocokes | | | | | |
| • 1990 | | RGO 55 | | | |
| • 2000 | | RGO 55 | | SKR 60 | SKR 60 |

* gewogen gemiddelde

Tabel I.2.: Overzicht van emissiefactoren (ton/PJ) van de bestrijdingsvarianten voor SO₂ en NO_x (vervolg)

| Bestrijdingsvariant | 1. SO ₂ -bestrijding | | 2 NO _x -bestrijding | | |
|----------------------------|---------------------------------|---|--------------------------------|--|---|
| | 1.1. ongewijzigd beleid | 1.2. volledige SO ₂ -bestrijding | 2.1. ongewijzigd beleid | 2.2. verdergaande NO _x -bestrijding | 2.3. volledige NO _x -bestrijding |
| Sector/proces | techniek em.factor | techniek em.factor | techniek em.factor | techniek em.factor | techniek em.factor |
| VII. Basisindustrie | | | | | |
| ketels op: | | | | | |
| - aardgas | | | | | |
| • 1990 | | | | LNB 60 | LNB 60 |
| • 2000 | | | | LNB 60 | LNB+SKR 12 |
| - raffinaderijgas | | | | | |
| • 1990 | | | | LNB 120 | LNB 120 |
| • 2000 | | | | LNB 120 | LNB+SKR 24 |
| - chem. afvalgas | | | | | |
| • 1990 | | | | LNB 45 | LNB 45 |
| • 2000 | | | | LNB 45 | LNB+SKR 8 |
| - lichte stookolie | | 0+0.15 70 | | | |
| - zware stookolie | | | | | |
| • 1990 | | 0+0.5 230 | | LNB 100 | LNB 100 |
| • 2000 | | 0+0.5 230 | | LNB 100 | LNB+SKR 20 |
| - steenkool | | | | | |
| • 1990 | 600 | RGO 70 | LNB 220 | LNB 220 | LNB 220 |
| • 2000 | RGO 230 | RGO 70 | LNB 220 | LNB 220 | LNB+SKR 45 |

Tabel I.2.: Overzicht van emissiefactoren (ton/PJ) van de bestrijdingsvarianten voor SO₂ en NO_x (vervolg)

| Bestrijdingsvariant | 1. SO ₂ -bestrijding | | 2. NO _x -bestrijding | | |
|-----------------------------------|---------------------------------|---|---------------------------------|--|---|
| | 1.1. ongewijzigd beleid | 1.2. volledige SO ₂ -bestrijding | 2.1. ongewijzigd beleid | 2.2. verdergaande NO _x -bestrijding | 2.3. volledige NO _x -bestrijding |
| Sector/proces | techniek em.factor | techniek em.factor | techniek em.factor | techniek em.factor | techniek em.factor |
| VIII. <u>Overige industriële</u> | | | | | |
| IX. <u>Overige gebruikers</u> | | | | | |
| ketels op: | | | | | |
| - aardgas | | | | | LNB 30 |
| - lichte stookolie | | 0+0.15 70 | | | |
| - zware stookolie | | 0+0.5 230 | LNB 110 | | LNB 76 |
| - steenkool | | | | | |
| • 1990 | 600 | RGO 70 | LNB 220 | LNB 143* | LNB 143* |
| • 2000 | RGO 230 | RGO 70 | LNB 220 | LNB 143* | WBV+SKR 30 |
| IX a. <u>Gezinshuishoudingen</u> | | | | | |
| - aardgas | | | | | LNCV 30 |
| - licht stookolie (huisbrandolie) | | 0+0.15 70 | | | |

* 35% reductie t.o.v. uitworp van 220 ton/PJ

Tabel I.2.: Overzicht van emissiefactoren (ton/PJ) van bestrijdingsvarianten voor SO₂ en NO_x (vervolg)

| Bestrijdingsvariant | 1. SO ₂ -bestrijding | | 2. NO _x -bestrijding | | |
|---|---------------------------------|---|---------------------------------|--|---|
| | 1.1. ongewijzigd beleid | 1.2. volledige SO ₂ -bestrijding | 2.1. ongewijzigd beleid | 2.2. verdergaande NO _x -bestrijding | 2.3. volledige NO _x -bestrijding |
| Sector/proces | techniek em.factor | techniek em.factor | techniek em.factor | techniek em.factor | techniek em.factor |
| X. Verkeer | | | | | |
| 1. Personenauto's | | | | | |
| - benzine | | | | | |
| • 2000 | | | | VM 552* | 3 WK 242* |
| - LPG | | | | | |
| • 2000 | | | | VM 396* | 3 WK 174* |
| 2. Vrachtauto's en bussen met directe insputing | | | | | |
| - dieselolie | | | | | |
| • 1990 | | 0+0.15 70 | | | |
| • 2000 (60% penetratie) | | 0+0.15 70 | | VM 662 | VM 662 |
| 3. Overige voertuigen | | | | | |
| - dieselolie | | 0+0.15 70 | | | |

* variant Directie Lucht

Tabel I.2.: Overzicht van emissiefactoren (ton/PJ) van bestrijdingsvarianten voor SO₂ en NO_x (vervolg)

| Bestrijdingsvariant | 1. SO ₂ -bestrijding | | 2. NO _x -bestrijding | | |
|-------------------------------|---------------------------------|---|---------------------------------|--|--|
| | 1.1. ongewijzigd beleid. | 1.2. volledige SO ₂ -bestrijding | 2.1. ongewijzigd beleid | 2.2. verdergaande NO _x -bestrijding | 2.3. volledige NO _x bestrijding |
| Sector/proces | techniek red.perc. | techniek red.perc. | techniek red.perc. | techniek red.perc. | techniek red.perc. |
| <u>Procesemissies</u> | | | | | |
| 1. Claus-fabrieken | | tailgas 80 units | | | |
| 2. Chemische industrie | | uitwassen 90 H ₂ S | | | |
| 3. Produktie van roet | | 0+0.5 66 | | | |
| 4. Produktie van salpeterzuur | | | | | SKR 80 |
| 5. Chemische industrie | | | | | SKR 80 |

Tabel I.3.: Investerings- en bedrijfskosten van NO_x-bestrijding bij stationaire verbrandingsinstallaties.

| Sector | Proces (tussen haakjes gem. installatie- grootte) | Brandstof | LBZ + LKB | | LBZB + LNB + SCR | | |
|---|--|-----------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--|
| | | | Specifieke investering | | Specifieke investering | | Bedrijfskosten (f/GJ ₁) |
| | | | nieuw | bestaand | nieuw | bestaand | |
| I. Openbare elektrici- teitsvoorziening | oliegestookte eenheid (300 MW _e) | zware stookolie | 9.4 f/kW _e | 19.5 f/kW _e | 43.6 f/kW _e | 56.7 f/kW _e | 0.40 |
| | gasgestookte eenheid (300 MW _e) | aardgas | 9.4 " | 19.5 " | 23.1 " | 30.0 " | 0.18 |
| | gasgestookte eenheid (400 MW _e) | hoogovengas | 9.0 " | 18.4 " | 21.8 " | 28.3 " | 0.18 |
| | kolencentrale (600 MW _e) | steenkool | 8.5 " | 17.0 " | 41.8 " | 54.3 " | 0.61 |
| II/III. Openbare/ industriële warmte/ krachtkoppeling | oliegestookte ketel (250 MW _t) | zware stookolie | 4.3 f/kW _t | 9.5 f/kW _t | 21.3 f/kW _t | 27.7 f/kW _t | 0.40 |
| | gasgestookte ketel | aardgas | 4.3 " | 9.5 " | 11.2 " | 14.6 " | 0.18 |
| | poederkoolketel (250 MW _t) | steenkool | 4.3 " | 9.5 " | 23.4 " | 30.4 " | 0.61 |
| V. Kolenvergassing | wervelbedverbran- ding | steenkool | n.v.t. | n.v.t. | 19.1 " | n.v.t. | 0.61 |
| | diverse | steenkool | 4.3 " | 9.5 " | 23.4 " | 30.4 " | 0.61 |
| VI. Raffinaderijen | stoomketels < 250 MW _t | zware stookolie | 3.5 " | 7.2 " | 16.1 " | 20.9 " | 0.40 |
| | | raffinaderijgas | 3.5 " | 7.2 " | 8.5 " | 11.1 " | 0.18 |
| | stoomketels > 250 MW _t | raffinaderijgas | 5.0 " | 11.4 " | 14.7 " | 19.1 " | 0.18 |

Bron: Technica [2]

Tabel I.3. Investerings- en bedrijfskosten van NO_x-bestrijding bij stationaire verbrandingsinstallaties. (vervolg)

| Sector | Proces (tussen haakjes gem. installatie- grootte) | Brandstof | LBZ + LNB | | LBZB + LNB + SKR | | Bedrijfskosten (f/GJ) | |
|---|--|------------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|------|
| | | | Specifieke investering | | Specifieke investering | | | |
| | | | nieuw | bestaand | nieuw | bestaand | | |
| VII/VIII. Basisindus- trie/overige industrie | fornuizen >250 MW _t | zware stookolie | 4.1 f/kW _t | 8.9 f/kW _t | 19.9 f/kW _t | 25.9 f/kW _t | 0.40 | |
| | | raffinaderijgas | 4.1 " | 8.9 " | 10.5 " | 13.7 " | 0.18 | |
| | | petrocokes | 4.1 " | 8.9 " | 21.9 " | 28.5 " | 0.61 | |
| | fornuizen 50-250 MW _t | raffinaderijgas | 4.8 " | 10.9 " | 12.9 " | 16.8 " | 0.18 | |
| | | ketels > 250 MW _t | zware stookolie | 4.2 " | 9.0 " | 20.0 " | 26.0 " | 0.40 |
| | | | gas | 4.2 " | 9.0 " | 10.5 " | 13.7 " | 0.18 |
| | steenkool | | 4.2 " | 9.0 " | 22.0 " | 28.6 " | 0.61 | |
| | ketels 50-200 MW _t | zware stookolie | 4.8 " | 10.9 " | 24.3 " | 31.6 " | 0.40 | |
| | | gas | 4.8 " | 10.9 " | 12.8 " | 16.7 " | 0.18 | |
| | | steenkool | 4.8 " | 10.9 " | 26.7 " | 34.7 " | 0.61 | |

Toelichting

Verondersteld is dat een investering in bestaande installaties ca. 30% hoger is dan die in nieuwe installaties.

De jaarlijkse kapitaallasten worden bepaald op basis van een reële rentevoet van 5% en met een economische levensduur van 20 jaar voor openbare elektriciteitsvoorziening, 15 jaar voor openbare wijk- en stadsverwarming (openbare W/K) en 10 jaar voor alle overige sectoren van de energievoorziening.

De opmerkingen gelden ook voor tabel I.5. .

Tabel I.4. Procesemissies en bestrijdingsmaatregelen

Bron: Technica [2]

| Economische sector | Proces | "Onbestreden" emissie (10 ³ ton) | | | | | | | | | | Bestrijdingsmaatregelen | Emissie-reduc-tie (%) | Kapitaals-kosten (f/ton be-handelde verontrei-niging) | Bedrijfs-kosten (f/ton be-handelde verontrei-niging) |
|--------------------------|----------------------------|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--|-----------------------|---|--|
| | | 1980 | | 1985 | | 1990 | | 1995 | | 2000 | | | | | |
| | | SO ₂ | NO _x | SO ₂ | NO _x | SO ₂ | NO _x | SO ₂ | NO _x | SO ₂ | NO _x | | | | |
| Raffinaderijen | Clausfabrieken | 18.0 | | 20.0 | | 22.0 | | 24.0 | | 25.0 | | "tail gas units" | 80 | 2100 | 400 |
| Overige chemische ind. | | 4.3 | | 5.4 | | 7.5 | | 9.9 | | 13.0 | | Uitwassen H ₂ S- ("gas sweetening") | 90 | 1000 | 1000 |
| Petrochemische industrie | Productie van roet | 4.4 | | 4.1 | | 5.4 | | 5.6 | | 5.8 | | ontzwaveling grondstof-olie | 66 | - | 1800 |
| Kunstmest-industrie | productie van salpeterzuur | | | | | | | | | | | | | | |
| | - install. voor 1980 | | 14.5 | | 13.8 | | 9.5 | | 4.4 | | 0.7 | sel.kat.reductie | 80 | 700 | 700 |
| | - install. na 1980 | | - | | 0.5 | | 2.2 | | 4.3 | | 6.1 | idem | 80 | 2800 | 2800 |
| Petrochem. industrie | | | 7.0 | | 6.7 | | 8.6 | | 9.0 | | 9.3 | idem | 80 | 850 | 700 |
| Diverse | Restgroep | 33.1 | 6.2 | 23.4 | 5.9 | 26.6 | 5.9 | 27.7 | 6.4 | 28.9 | 7.0 | - | - | - | - |
| Totaal | | 59.8 | 27.7 | 52.9 | 26.9 | 61.5 | 26.2 | 67.2 | 24.1 | 72.7 | 23.1 | | | | |

Tabel 1.5. Investerings- en bedrijfskosten rookgasontzwaveling

Bron: Technica [2] en ESC [4]

| Sector | Proces (tussen haakjes: gem.installatie- grootte) | Brandstof | Specifieke investering | | Bedrijfs- kosten (f/GJ ₁) |
|---|--|----------------------|---------------------------|-----------------------|---|
| | | | nieuw | bestaand | |
| I. Openbare elektr. voorzie- ning | o oliegestookte eenheid (300 MW _e) | zware stook- olie | 256 f/kW _e | 333 f/kW _e | 0.46 |
| | o conventionele kolencentrale (600 MW _e) | steenkool | 206 " | 268 " | 0.39 |
| II/III. Open- bare/indus- triële Wkk | o oliegestookte ketel (250 MW _t) | zware stook- olie | 205 f/kW _t | 267 f/kW _t | 0.76 |
| | o poederkoolketel (250 MW _t) | steenkool | 197 " | 256 " | 0.73 |
| V. Kolenver- gassing | o diverse | steenkool | 197 " | 256 " | 0.73 |
| VI. Raffina- derijen | o stoomketels >250 MW _t | zware stook- olie | 157/178 " * | 204/231 " * | 2.04/2.21* |
| | o fornuizen > 250 MW _t | zware stook- olie | 228 " | 296 " | 2.05 |
| VI/VIII. Basis/ove- rige indus- trie | ketels > 200 MW _t | petrocokes | 208 " | 270 " | 1.45 |
| | | zware stook- olie | 169 | 220 | 0.66 |
| | | steenkool | 162 " | 211 " | 0.63 |

* waarden voor 1990/2000

Tabel I.6.: Emissiereductie en kosten van bestrijding NO_x-emissies in de verkeerssector.

Bron : Directie Lucht (VROM)

| techniek | toepassingsgebied | emissiereductie t.o.v. autonome ontwikkeling (%) | extra produktiekosten (f/voertuig) | toename brandstofverbruik t.o.v. autonome ontwikkeling(%) |
|--------------------------------------|---|--|------------------------------------|---|
| emissie-afst. van arme-mengsel motor | personenauto's en lichte vrachtauto's op benzine en LPG | 33/25* | 110 | 10/1* |
| drieweg** katalysator | personenauto's en lichte vrachtauto's op benzine | 72/67* | 370 | 35/35* |
| verbrandings-modificaties | vrachtauto's en bussen op dieselolie | 50*** | - | 1.5*** |

* gegevensbronnen: ERGA/Directie Lucht (VROM);

** 50% van de kosten worden toegerekend aan vermindering van de NO_x-emissies;

*** gegevensbron : Directie Lucht.

Opmerkingen:

Bij de bepaling van de toename van het brandstofverbruik ten opzichte van de autonome ontwikkeling is voor bijvoorbeeld de driewegkatalysator de volgende procedure gevolgd:

Stel brandstofverbruik huidige conventionele motor in 2000 op 100. Bij de introductie van leanburn wordt het verbruik verlaagd tot 80, maar de driewegkatalysator verhoogt daarentegen het verbruik tot 108. Dit betekent een verhoging van ca. 35% ten opzichte van 80.

APPENDIX II. Kosten- en emissie-effecten van SO_2 - en NO_x -
bestrijdingsmaatregelen per sector

Hieronder volgt een tweetal tabellen waarin voor de jaren 1990 en 2000
een overzicht van bestrijdingsmaatregelen wordt gegeven op volgorde van
specifieke kosten per vermeden hoeveelheid SO_2 respectievelijk NO_x .

Tabel II.1.: Kosten en emissie-effecten van SO₂ en NO_x-bestrijdingsmaatregelen per sector in 1990

| MAATREGEL/SECTOR | SPECIFIEKE KOSTEN (GLD-80/TON) | EMISSIEBEPERKING (TON/JAAR) | MILIEUKOSTEN (MLN GLD-80/JR) |
|--|-----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| <u>NO_x</u> | | | |
| (1) LNB/OPENB. ELEKTR. OPW. | 912,- | 18.111 | 16,5 |
| (a) LNB retrofit/bestaande kolencentr. | 209,- | 7.352 | 1,54 |
| (b) LNB retrofit/omb. kolencentr. | 327,- | 2.627 | 0,86 |
| (c) LNB retrofit/olie-gaseenheden | 1.736,- | 8.136 | 14,4 |
| (2) LNB/RAFFINADERIJEN | 937,- | 7.874 | 7,4 |
| (3) LNB NEW- EN RETROFIT/WK-INDUSTRIE | 1.093,- | 3.963 | 3,5 |
| (w.v.LNB NEWFIT/WK-INDUSTRIE) | (785,-) | (1.108) | (0,87) |
| (4) LNB/BASISINDUSTRIE | 2.130,- | 8.804 | 18,8 |
| (a) LNB retrofit/kolenketels | 1.093,- | 366 | 0,4 |
| (b) LNB/stookolieketels | 1.133,- | 900 | 1,0 |
| (c) LNB retrofit/(aard)gasketels | 2.300,- | 7.538 | 17,3 |
| (5) LNB/OVERIGE INDUSTRIE | 3.873,- | 1.265 | 4,9 |
| (6) LNB/OVERIGE GEBRUIKERS | 5.064,- | 1.639 | 8,3 |
| (a) LNB retrofit/aardgasketels | 4.947,- | 1.243 | 6,15 |
| (b) LNB retrofit/stookolieketels | 5.404,- | 396 | 2,15 |

Tabel II.1.: Kosten en emissie-effecten van SO₂ en NO_x-bestrijdingsmaatregelen per sector in 1990
(vervolg)

| MAATREGEL/SECTOR | | SPECIFIEKE KOSTEN (GLD-80/TON) | EMISSIEBEPERKING (TON/JAAR) | MILIEUKOSTEN (MLN GLD-80/JR) |
|-----------------------|---|-----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| <u>SO₂</u> | | | | |
| (1) | 0,15% S/M.D. ALLE SECTOREN | 1.290,- | 15.209 | 19,6 |
| (2) | FGD+0,5% S/Openb. Elektr. Opw. | 1.587,- | 82.685 | 131,2 |
| | (a) FGD retrofit/bestaande kolencentrales | 1.180,- | 61.589 | 72,7 |
| | (b) 0,5% S/stookoliecentrales | 2.770,- | 21.114 | 58,5 |
| (3) | FGD+0,5% S/WK-INDUSTRIE | 2.434,- | 38.819 | 94,4 |
| | (a) FGD newfit/kolen W/K-eenheden | 1.310,- | 9.119 | 11,96 |
| | (b) 0,5%S/stookolie W/K-eenheden | 2.778,- | 29.700 | 82,5 |
| (4) | FGD/RAFFINADERIJEN | 2.872,- | 77.000 | 221,2 |
| (5) | 0,5% S/OVERIGE GEBRUIKERS | 2.778,- | 4.860 | 13,5 |
| (6) | FGD+0,5% S/BASISINDUSTRIE | 3.169,- | 12.340 | 39,1 |
| | (a) 0,5%S/stookolieketels | 2.778,- | 8.100 | 22,5 |
| | (b) FGD retrofit/kolenketels | 3.915,- | 4.240 | 16,6 |
| (7) | FGD/OVERIGE INDUSTRIE | 6.623,- | 1.060 | 7,0 |

Tabel II.2.: Kosten en emissie-effecten van SO₂ en NO_x-bestrijdingsmaatregelen per sector in 2000

| MAATREGEL/SECTOR | SPECIFIEKE KOSTEN (GLD-80/TON) | EMISSIEBEPERKING (TON/JAAR) | MILIEUKOSTEN (MLN GLD-80/JR) |
|---|-----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| <u>NO_x</u> | | | |
| (1) LNB/OPENB. ELEKTR. OPW. | 522,- | 8.416 | 4,4 |
| (a) LNB retrofit/bestaande kolencentrales | 221,- | 3.756 | 0,83 |
| (b) LNB retrofit/omb. kolencentrales | 242,- | 3.540 | 0,86 |
| (c) LNB retrofit/best. aardgaseenheden | 2.417,- | 1.117 | 2,7 |
| (2) LNB NEWFIT/WK-INDUSTRIE | 883,- | 2.941 | 2,45 |
| (3) ST.INJ/GAST.(90%) WK-IND. | 1.445,- | 14.716 | 21,3 |
| (4) LNB/RAFFINADERIJEN ¹ | 1.515,- | 9.315 | 14,1 |
| (5) Kat.red./WARMTEPOMP WIJKVERW. | 1.686,- | 10.686 | 18,0 |
| (6) Kat.red./WARMTEPOMP OVERIGE GEBR. | 1.686,- | 23.900 | 40,3 |
| (7) LNB/BASISINDUSTRIE | 1.886,- | 8.825 | 16,7 |
| (a) LNB retrofit/stookolieketels | 1.133,- | 900 | 1,0 |
| (b) LNB retrofit- en newfit/(aard)gasketels | 1.972,- | 7.925 | 15,6 |
| (8) SKR/PROCES-EMISSIES KUNSTMESTIND.OUD | 2.007,- | 560 | 1,1 |
| (9) LNB/OVERIGE INDUSTRIE | 2.152,- | 3.234 | 13,4 |
| (10) ST.INJ/STEG(90%) OPENB. W/K | 2.187,- | 9.314 | 20,4 |
| (11) SKR/PROCES-EMISSIES PETROCHEMIE | 2.263,- | 7.440 | 16,8 |
| (12) ST+WA INJ/GAST.(50%)+STEG(90%) OPENB.EL | 2.565,- | 6.194 | 15,9 |
| (13) EMISSIEAFST; LEANBURN (LPG+BENZINE) EN VERBETERDE DIESELS/TRANSPORT | 2.578,- ^{2/3} | 59.392 | 153,1 |
| (a) Verbetering dieselmotor (60%) | 612,- | 31.361 | 19,2 |
| (b) Leanburn/LPG-auto's | 4.366,- | 6.798 | 29,7 |
| (c) Leanburn/benzine-auto's | 4.940,- | 21.132 | 104,4 |

1) Inclusief SKR ten aanzien van NO_x-emissies van petrocokes.

2) Sector gemiddelde.

3) Inclusief brandstofkosten als gevolg van toename verbruik per motor door emissiebestrijding.

Tabel II.2.: Kosten en emissie-effecten van SO₂ en NO_x-bestrijdingsmaatregelen per sector in 2000
(vervolg)

| MAATREGEL/SECTOR | SPECIFIEKE KOSTEN (GLD-80/TON) | EMISSIEBEPERKING (TON/JAAR) | MILIEUKOSTEN (MLN GLD-80/JR) |
|---|-----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| <u>NO_x</u> | | | |
| (14) LNB+SKR/RAFFINADERIJEN | 2.974,- | 18.556 | 55,2 |
| (15) LNB+SKR/WK-INDUSTRIE | 3.252,- | 16.006 | 52,1 |
| (a) LNB+SKR newfit/kolen W/K-eenheden | 1.893,- | 9.967 | 18,87 |
| (b) LNB+SKR (w.v. 66% retrofit en 33% newfit)/olie-gas W/K-eenheden | 5.487,- | 6.059 | 33,3 |
| (16) LNB+SKR/OPENB. ELEKTR. OPWEKKING | 4.192,- | 68.120 | 285,5 |
| (a) LNB+SKR retrofit/best.aardgaseenh. | 2.732,- | 2.470 | 6,8 |
| (b) LNB+SKR retrofit/omb.kolencentr. | 2.986,- | 8.670 | 25,9 |
| (c) LNB+SKR retrofit/best.kolencentr. | 3.011,- | 10.969 | 33,0 |
| (d) SKR newfit/nieuwe kolencentrales | 4.779,- | 45.892 | 219,9 |
| (17) LNB+SKR/BASISINDUSTRIE | 4.261,- | 22.208 | 94,6 |
| (a) LNB+SKR retro- en newfit/kolenketels | 4.029,- | 3.080 | 9,87 |
| (b) LNB+SKR retrofit/stookolieketels | 4.552,- | 2.100 | 9,56 |
| (c) LNB+SKR retro- en newfit/(aard)gas-ketels | 5.140,- | 14.586 | 75,0 |
| (18) LN-CV's/GEZINSHUISHOUDINGEN | 4.534,- | 10.960 | 49,7 |
| (19) LNB AARDGAS/OVERIGE GEBRUIKERS | 4.950,- | 2.747 | 13,6 |
| (20) SKR/PROCESEMISSIES KUNSTMEST-INDUSTRIE-NIEUW | 8.032,- | 4.900 | 39,4 |
| (21) DRIEWEGKAT./LPG-AUTO'S | 24.460,- ^{4/5} | 13.980 | 341,9 |
| (22) DRIEWEGKAT./BENZINE-AUTO'S | 32.540,- ^{4/5} | 43.430 | 1.413,2 |

⁴ Inclusief brandstofkosten als gevolg van toename verbruik motor door emissiebestrijding.

⁵ De kosten van deze maatregel zijn voor 50% toegedeeld aan NO_x-bestrijding aangezien ook CO wordt bestreden met deze maatregel.

Tabel II.2.: Kosten en emissie-effecten van SO₂ en NO_x-bestrijdingsmaatregelen per sector in 2000
(vervolg)

| MAATREGEL/SECTOR | SPECIFIEKE KOSTEN (GLD-80/TON) | EMISSIEBEPERKING (TON/JAAR) | MILIEUKOSTEN (MLN GLD-80/JR) |
|---|-----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| <u>SO₂</u> | | | |
| (1) "CLAUS TAIL"/PROCESEMISSIES RAFFINADERIJEN | 840,- | 20.000 | 16,8 |
| (2) FGD+0,5% S/OPENB.ELEKTR.OPW. | 1.153,- | 30.633 | 35,3 |
| (3) "SWEETENING"/PROCESEMISSIES SILICON CARB. | 1.254,- | 11.700 | 14,7 |
| (4) 0,15% S/M.D.ALLE SECTOREN | 1.290,- | 14.008 | 18,1 |
| (5) FGD+0,5% S/WK-INDUSTRIE | 2.102,- | 33.680 | 70,78 |
| (a) FGD newfit/kolen W/K-eenheden | 1.259,- | 22.340 | 39,28 |
| (b) 0,5% S/stookolie W/K-eenheden | 2.778,- | 11.340 | 31,5 |
| (6) FGD/RAFFINADERIJEN | 2.515,- | 72.775 | 183 |
| (7) ONTZWAV./PROCESEMISSIES CARB.BLACK | 2.727,- | 3.900 | 10,6 |
| (8) 0,5% S/OVERIGE GEBRUIKERS | 2.778,- | 4.320 | 12,0 |
| (9) FGD+0,5% S/BASISINDUSTRIE | 3.090,- | 13.318 | 41,1 |
| (a) 0,5% S/stookolieketels | 2.778,- | 8.100 | 22,5 |
| (b) FGD new- en retrofit/kolenketels | 3.540,- | 5.253 | 26,6 |
| (10) FGD/OVERIGE INDUSTRIE | 5.984,- | 767 | 4,59 |

- 4) Inclusief brandstofkosten als gevolg van toename verbruik per motor door emissiebestrijding.
5) De kosten van deze maatregel zijn voor 50% toegedeeld aan NO_x-bestrijding aangezien ook CO wordt bestreden met deze maatregel.



