



TNO-rapport

94-364B

Kosteneffectiviteit van milieumaatregelen in de industrie
- Vaststellen van het referentiekader -

Eindrapport

Referentienummer 94-364.B
Dossiernummer 112326-25212
Datum april 1995
NP

Auteur
Ir. A. Jol (DHV-MI)
Ir. H. Duesmann (DHV-MI)
Ir. J. Oonk (TNO-ME)

Bestemd voor
Ministerie van VROM
DGM/Afdeling bedrijven
t.a.v. Ing. L. de Jonge
Postbus 30945
2500 GX Den Haag

Deze studie is inhoudelijk begeleid door een commissie, bestaand uit:
Mw.Drs. A.M.C. Beyerman (VROM)
Drs. H. van Dijkman (VROM, tot december '94)
Dr. C.E. Dutilh (BMRO)
Ir. B.W. Hoekstra (VROM, tot augustus '94)
Ir. L.C. van Holk (VNCI, tot augustus '94)
Ing. L. de Jonge (VROM)
Ir. J.P.M.H. Knippels (IPO)
Ing. A. de Lange (IPO)
Mw. Ir. A. van der Rest (VNCI, na augustus '94)
Mw.Ir. A.H. Paardekooper (VROM, na december '94)
Dr. M.S.A. Vrijland (Universiteit Twente)
Ir. C. Welvaadt (FME)
Ir. K. de Winkel (Stafbureau NER)

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vernenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de 'Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO', dan wel de betreffende terzake tussen partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© TNO

Het kwaliteitssysteem van TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie voldoet aan ISO 9001.

TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie stelt zich ten doel een veilige en duurzame industriële productie en een verantwoord energiegebruik te bevorderen door het uitvoeren van contract research op de gebieden milieu-, energie- en procestechnologie.



Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

Op opdrachten aan TNO zijn van toepassing de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO zoals gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank en de Kamer van Koophandel te 's-Gravenhage.

Samenvatting

Om te kunnen beoordelen of een milieumaatregel gangbaar is, kan ze worden getoetst op de kosteneffectiviteit. Deze toetsing houdt in, dat allereerst de kosteneffectiviteit van de maatregel wordt berekend, waarna ze wordt vergeleken met een referentiekader van kosteneffectiviteiten van reeds gerealiseerde maatregelen.

Om dit referentiekader te kunnen bepalen, is een inventarisatie uitgevoerd, waarbij de kostenaspecten en milieueffecten zijn verzameld van in Nederland gerealiseerde milieumaatregelen. Vooralsnog is dit alleen gebeurd voor end-of-pipe maatregelen voor emissiereductie van VOS, stof, NO_x en SO₂. Hieruit zijn vervolgens de kosteneffectiviteiten berekend, uitgaande van onder meer een afschrijvingstermijn van 10 jaar en een rentevoet van 10%.

Gezien de selectie van de geïnventariseerde milieumaatregelen, is het referentiekader alleen geldig voor:

- specifieke stofklassen;
- specifieke maatregelen (hier: nageschakelde technieken);
- specifieke doelgroep (hier: industrie).

Voor VOS zijn 20 installaties onderzocht: naverbranders; actieve kool adsorbers; bio-filters en (cryo)condensaties. De kosteneffectiviteit van installaties voor emissiereductie van VOS varieert tussen 80 cent per kg en ongeveer 28 gulden per kg. Echter voor alle installaties boven 10 gulden per kg bleken er hele specifieke redenen te zijn, dat een maatregel toch werd genomen. In de meeste gevallen betrof het gechloreerde verbindingen, waarvan de emissie door druk uit de omgeving diende te worden gereduceerd. Er bestaan echter nog een aantal andere maatregelen die wel als 'stand der techniek' worden beschouwd, maar niet in dit onderzoek zijn betrokken. Het is mogelijk dat deze maatregelen minder kosteneffectief zijn dan de onderzochte maatregelen. Om deze reden is voor VOS nog geen referentiekader vastgesteld.

Voor stof zijn 8 installaties onderzocht, met kosteneffectiviteiten variërend tussen 0,00 gulden per kg (de kosten van de maatregel worden gecompenseerd door de baten door terugwinning van de grondstof) en 70 gulden per kg. Ook hier zijn bij de installaties met een ongunstige kosteneffectiviteit (hoger dan 10 gulden per kg) specifieke redenen aan te wijzen waarom een bepaalde maatregel toch is geïmplementeerd. Omdat de onderzochte groep installaties, op één elektrofilter na, allemaal doekfilters betreft, zijn de gegevens niet representatief genoeg om een referentiekader te kunnen vaststellen. Daarnaast zijn er te weinig installaties, waarvoor de vereiste informatie beschikbaar is.

Voor NO_x zijn 17 installaties onderzocht: SCR-installaties, gaswassers, water en stoominjectie en een driewegkatalysator. De kosteneffectiviteit varieert tussen de 0,5 en 10 gulden per kg. Als bovengrens van het referentiekader wordt een waarde van 10 gulden per kg voorgesteld.

Voor SO₂ zijn 5 installaties onderzocht: een kalksteen-gips proces; twee Haldor-Topsoe installaties; een Lo-cat installatie en een gaswasser. De kosteneffectiviteit varieert tussen 0,7 en 5 gulden per kg. Het aantal installaties is echter te klein om een referentiekader te kunnen vaststellen.

Summary

An environmental measure may be judged on its cost-effectiveness. This means, that first the cost-effectiveness is calculated, after which it is compared with a reference value of cost-effectiveness of measures that are already implemented.

In order to determine this reference value, an inventory is performed, in which information is gathered about costs and effects of environmental measures that are already implemented in the Netherlands. For the time being, this is only done for end-of-pipe measures for emission reduction of volatile organic components (VOC), particulates, NO_x and SO₂. From this information the cost-effectiveness is calculated, assuming a depreciation period of 10 years and an interest rate of 10%.

Considering the selection of the measures, inventorised in this study, the reference value is only valid for:

- specific components;
- specific measures (end-of-pipe);
- specific target-group (industry).

In this study 20 installations for emission reduction of VOC are regarded: incinerators; active carbon adsorbers; biofilters and (cryo)condensation. The cost-effectiveness varied between 0,80 and 28 Dfl (Dutch Guilders) per kg. However, in all cases where the cost-effectiveness superseded Dfl 10,- per kg, measures were implemented for very specific reasons. In most of these cases emissions of chlorinated components had to be reduced under substantial political pressure. There are, however, several other VOC-reducing measures, that are not inventorised in this study, but have to be regarded as 'state-of-the-art'. It is possible that these measures are less cost-effective, than those inventorised here, so no reference value for VOC is determined here.

Eight installations for particulate emission reduction were investigated, with cost-effectiveness varying between 0,00 (the costs are compensated by benefits of recapture of raw materials) and 70 Dfl per kg. For particulates it also goes, that installations with a high cost-effectiveness had to be implemented, due to specific circumstances. Because all installations regarded, except for one electrofilter, were fabric filters, the information is not sufficiently representative to assess the reference value. Furthermore the number of installations is too small, because the requested information could not be obtained in many cases.

Seventeen installations for emission reduction of NO_x were investigated: SCR-installations wet scrubbers, water and steam injection and a three way catalyst. The cost-effectiveness varied between 0,5 and 10 Dfl per kg. The reference value was determined to be 10 Dfl per kg.

Five installations for emission reduction of SO₂ were investigated: a lime-gypsum process; two Haldor-Topsoe installations; a Lo-cat installation and a wet scrubber. The cost-effectiveness varied between 0,7 and 5 Dfl per kg. The number of installations is too small to determine a reference value.

Inhoudsopgave

	Samenvatting	3
	Summary	5
1	Inleiding	9
2	Opzet en uitvoering inventarisatie	11
	2.1 Algemeen.....	11
	2.2 Branche-organisaties	11
	2.3 Benadering bedrijven.....	12
	2.4 Bedrijfsbezoeken	12
	2.5 Overige informatie.....	10
3	Resultaten kosteneffectiviteit	15
4	Analyse van de resultaten	23
	4.1 Algemeen.....	23
	4.2 Bedrijfsspecifieke kostenbepalende factoren.....	23
	4.3 Opslagpercentages.....	26
	4.3.1 Investeringskosten	26
	4.3.2 Jaarlijkse kosten	30
	4.4 Oorspronkelijke maatregelen.....	31
	4.5 Nauwkeurigheid.....	32
	4.6 Algemene kostenbepalende factoren.....	32
	4.7 Stratificeren van de referentiewaarden.....	33
	4.7.1 Algemeen	33
	4.7.2 Normalisering	34
	4.7.3 Classificering.....	37
	4.7.4 Conclusies.....	39
	4.8 Vaststellen bovengrens referentiekader	39
	4.8.1 Algemeen	39
	4.8.2 VOS.....	40
	4.8.3 Stof.....	41
	4.8.4 SO ₂	37
	4.8.5 NO _x	42
5	Conclusies inventarisatie	43
6	Referenties	45
7	Verantwoording	47

Bijlagen:

- 1 Uitgangspunten berekening operationele kosten, als gehanteerd bij de bedrijfsbezoeken*
- 2 Overzicht van ongunstige kosteneffectiviteitswaarden VOS en stof*
- 3 Aanvullende informatie DeNO_x en SO₂-emissiereductie*
- 4 Beschrijving technieken*
- 5 Toelichtende brief Ministerie van VROM ten behoeve van inventarisatie*
- 6 Vragenlijst en begeleidende brief inventarisatie*
- 7 Kostenbepalende parameters*

1 Inleiding

In het overleg tussen vergunningverlener en bedrijfsleven over de te treffen maatregelen spelen kostenaspecten een grote rol. Naast de discussie over de absolute hoogte van de kosten, speelt de vraag of de kosten *gangbaar* zijn. Gangbaar wil zeggen, of de inspanning die van het bedrijf gevraagd wordt overeenkomt met de inspanningen die elders worden gevraagd. Voor dit laatste kan de kosteneffectiviteit van de te nemen maatregel als toetssteen worden gebruikt.

Hiervoor is een instrument ontwikkeld, waarmee een te nemen maatregel kan worden getoetst op zijn kosteneffectiviteit.

Als eerste onderdeel van dit instrument is een methodiek opgesteld, waarmee de kosteneffectiviteit van een te nemen maatregel kan worden berekend [Oonk, 1995]. Deze kosteneffectiviteit kan vervolgens worden vergeleken met een referentiekader van in Nederland reeds gerealiseerde milieumaatregelen.

In deze toetsing is met name de bovengrens van het referentiekader van belang. Wanneer de berekende kosteneffectiviteit gunstiger¹⁾ is dan de bovengrens, dan is de maatregel in het algemeen gangbaar en dus in beginsel wel redelijk. Wanneer de berekende kosteneffectiviteit ongunstiger is dan deze bovengrens, dan is de maatregel zo weinig gangbaar, dat deze niet meer als redelijk te beschouwen is. Er dienen buitengewone redenen of omstandigheden te zijn, om een voorziening desondanks te laten treffen.

Het tweede deel van het instrument wordt gevormd door een overzicht van kosteneffectiviteiten van in Nederland reeds gerealiseerde maatregelen: het referentiekader.

Het doel van de inventarisatie, welke in dit rapport wordt beschreven is het vaststellen van de bovengrens van het referentiekader voor end-of-pipe maatregelen voor emissiereductie van de componenten VOS, stof, NO_x en SO₂. Hiervoor zijn de relevante kostenaspecten en milieueffecten verzameld bij een groot aantal praktijkinstallaties. Vervolgens is op basis hiervan de kosteneffectiviteit berekend.

Als bovengrens van het referentiekader is de hoogste kosteneffectiviteit gekozen, die uit de berekeningen voortkomt, met uitzondering van enkele uitschieters, waar specifieke argumenten gelden.

Gezien de selectie van de praktijkinstallaties, is dit referentiekader alleen geldig voor:

- specifieke stofklassen;
- specifieke maatregelen (hier: nageschakelde technieken);
- specifieke doelgroep (hier industrie).

Daarnaast is aandacht besteed aan het vaststellen van 'default'-waarden, waarmee de methodiek voor het bepalen van de kosteneffectiviteit kan worden vereenvoudigd. In de beschrijving van de methodiek [Oonk, 1995] zijn deze 'default'-waarden dan ook opgenomen.

¹⁾ De definitie van kosteneffectiviteit is niet éénduidig. Ze kan zowel worden uitgedrukt in 'guldens per kilogram', als 'kilogram per guldens'. In deze studie wordt gekozen voor guldens per kilogram. Om verwarring te voorkomen wordt echter gesproken van 'ongunstig' en 'gunstig' in plaats van 'hoog' en 'laag'.

Bij de inventarisatie is er naar gestreefd om een representatieve doorsnede te verkrijgen van de end-of-pipe-technologieën, die in de Nederlandse industrie zijn geïmplementeerd. Om deze reden is ervoor gezorgd dat voor een bepaalde component verschillende technieken in de inventarisatie zijn betrokken. Zo zijn voor VOS zijn bijvoorbeeld kosteneffectiviteiten verzameld van cryogene installaties, biologische technieken, naverbranders en koolfilters. Bovendien is de inventarisatie uitgevoerd bij een aantal verschillende bedrijfstakken, zoals de chemische industrie, de voedingsmiddelenindustrie, metaal- en elektro-industrie, kunststof- en rubberfabricage, op- en overslagbedrijven, verf- en drukinktfabrikanten.

Alle onderzochte technieken zijn recent geïnstalleerd (minder dan 10 jaar oud) en kunnen worden beschouwd als 'stand der techniek', als bedoeld in de NeR:

'Behorend tot 'stand der techniek' worden die maatregelen gerekend die ter beperking van emissies van een bron, procesgeïntegreerd dan wel als nageschakelde techniek, in een gemiddeld en financieel gezond bedrijf van de betreffende branche in binnen- of buitenland met succes worden toegepast, dan wel overeenkomstig de regels der techniek vanuit andere processen of op basis van succesvolle, op industriële schaal uitgevoerde demonstratieprojecten op de betreffende bron kunnen worden toegepast.'

Voor stof zijn voornamelijk doekfilters geïnvesterd. De selectie is zo beperkt gebleven, omdat bij een groot aantal potentieel relevante installaties (die voldoen aan de criteria zoals stand-der-techniek) onvoldoende informatie beschikbaar is. Met name de investeringskosten en de ongereinigde emissie zijn in de meeste gevallen niet of slechts zeer globaal te achterhalen, waardoor het in veel gevallen niet mogelijk is een voldoende nauwkeurige berekening te maken van de kosteneffectiviteit. De vereiste gegevens zijn vaak niet te achterhalen, omdat de stofafscheiding sterk in het productieproces is geïntegreerd.

Voor NO_x en SO₂ konden niet voldoende praktijkvoorbeelden worden verkregen bij bedrijven. Om deze reden is de inventarisatie voor deze componenten uitgebreid met onder meer een aantal technieken, geïnstalleerd bij elektriciteitscentrales en bij afvalverbrandingsinstallaties.

In hoofdstuk 2 wordt de opzet en uitvoering van de inventarisatie beschreven. In hoofdstuk 3 worden de resultaten weergegeven, waarna in hoofdstuk 4 de resultaten zijn geïnterpreteerd en enkele 'default'-waarden worden vastgesteld voor gebruik in de methodiek.

In hoofdstuk 4.8 wordt per component weergegeven, of naar het oordeel van de begeleidingscommissie voldoende informatie is verkregen om de bovengrens van het referentiekader vast te stellen, en zo ja, wat de waarde van deze bovengrens is.

2 Opzet en uitvoering inventarisatie

2.1 Algemeen

Het inventariseren van reeds gerealiseerde milieumaatregelen in de praktijk en de kosteneffectiviteit daarvan, dit wil zeggen het opstellen van het referentiekader, is uitgevoerd door middel van bedrijfsbezoeken. Daarnaast is in beperkte mate gebruik van gemaakt van literatuurgegevens. In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op de opzet en de uitvoering van de bedrijfsbezoeken.

In dit (hoofd-)rapport wordt naar bedrijven verwezen via gebruik van volgnummers, op basis van de chronologische volgorde van de bezoeken. Dit is gebeurd om geheimhouding van mogelijk vertrouwelijke gegevens te waarborgen.

2.2 Branche-organisaties

Conform de afspraken gemaakt in de vergaderingen van de begeleidingscommissie van het onderzoek (17 mei 1994) en het overlegorgaan VOS (2 juni 1994) zijn de bedrijven in eerste instantie benaderd via de branche-organisaties. Hierbij heeft BMRO (VNO) een coördinerende rol gespeeld tussen de diverse betrokken branche-organisaties en de uitvoerders van het onderzoek.

Het betreft de volgende branches (via het overlegorgaan VOS):

- VNCI (Vereniging Nederlandse Chemische Industrie);
- FME (Vereniging voor de Metaal- en Elektrotechnische Industrie);
- NFK (Nederlandse Federatie voor Kunststof);
- NVR (Nederlandse Vereniging van Rubber- en Kunststoffabrikanten);
- Vernof (Nederlandse Vereniging van Fabrikanten van Eetbare Oliën en Vetten);
- VOTOB (Vereniging van Op- en Overslagbedrijven);
- VVVF (Vereniging van Verf- en Drukinktfabrikanten).

Daarnaast zijn op andere manieren de volgende branches benaderd:

- KVGGO (Koninklijk Verbond van Grafische Ondernemingen);
- Textielvereniging KRL;
- VVAV (Vereniging van Afvalverwerkers);
- SEP (Samenwerkende Elektriciteits-productiebedrijven).

Bovendien is overleg gepleegd met Novem en Senter over technieken voor reductie van emissies van NO_x en SO₂.

Tenslotte zijn een aantal bedrijven individueel benaderd, onder andere op basis van informatie van leveranciers van emissiebeperkende apparatuur.

2.3 Benadering bedrijven

Vanaf begin juni 1994 is contact gezocht met de betrokken branche-organisaties om een voorselectie te maken van de te benaderen bedrijven voor het verzamelen van informatie over gerealiseerde maatregelen (het 'referentie-kader') door middel van bedrijfsbezoeken. Vervolgens zijn in de periode van juli tot en met november 1994 de bedrijfsbezoeken uitgevoerd.

Door de contactpersonen van de diverse branche-organisaties zijn namen van bedrijven doorgegeven, die konden worden benaderd. In het geval van de chemische industrie is er door de VNCI een circulaire gestuurd aan alle leden van de VNCI, waarin het onderzoek werd toegelicht en medewerking werd gevraagd. Voor de chemische industrie is een eigen selectie van in eerste instantie te benaderen bedrijven gemaakt.

Aan de op deze wijze geselecteerde bedrijven is in alle gevallen eerst telefonisch om medewerking gevraagd. Hierbij is tevens rekening gehouden met de eerder gehanteerde criteria en randvoorwaarden:

1. Nageschakelde techniek.
2. Categorieën componenten: stof, VOS, SO₂, NO_x.
3. Recent geplaatste installatie (circa 1990).
4. Voldoen aan 'Stand der Techniek'. Dit is geïnterpreteerd als voldoen aan de NeR.

De te onderzoeken technieken omvatten:

- * VOS : naverbrander, adsorber, biofilter/biowasser, condensatie/diepkoeling.
- * stof : doekfilter/oppervlaktefilter, elektrofilter, venturiwasser.
- * SO₂ : wasser, semi-droge techniek, droge techniek.
- * NO_x : selectieve katalytische reductie (SKR of SCR), selectieve niet-katalytische reductie (SNKR of SNCR).

In bijlage 4 wordt een beknopte beschrijving van enkele technieken gegeven.

Op de feitelijke resultaten ten aanzien van de soorten installaties, die in het onderzoek in beschouwing zijn genomen, wordt ingegaan in hoofdstuk 3.

Tenslotte wordt opgemerkt, dat tijdens het gehele onderzoek (en met name in de eindfase) contact is geweest met leveranciers van reinigingsapparatuur. Dit met als doel om mogelijk te benaderen bedrijven te identificeren. Deze aanpak is voornamelijk gevolgd voor technieken ter beperking van de stofemissies. Bij het benaderen van deze bedrijven is de nodige voorzichtigheid in acht genomen, omdat deze benadering primair via de branche-organisaties zou plaatsvinden.

2.4 Bedrijfsbezoeken

Op basis van de eerste reacties is de selectie gemaakt van feitelijk te bezoeken bedrijven. De meest voorkomende reden van het afvallen van bedrijven was het niet beschikken over een (nageschakelde) techniek, die aan de criteria voldoet. Daarnaast bleek enkele malen, dat bedrijven niet voldoende geïnteresseerd waren om medewerking te willen verlenen. Voor stof gold daarnaast in veel gevallen, dat er

Kosteneffectiviteit van milieumaatregelen in de industrie - Vaststellen van het referentiekader - Eindrapport

onvoldoende informatie beschikbaar was, met name voor wat betreft de investeringskosten en de ongereinigde vracht.

De gang van zaken bij de bedrijfsbezoeken was in het algemeen als volgt:

1. Versturen van de vragenlijst en een begeleidende brief. In bijlage 6 is een voorbeeld van de brief en de vragenlijst opgenomen. Deze vragenlijst is gebaseerd op de laatste versie van de methodiek. In de vragenlijst wordt gevraagd naar de oorspronkelijke milieumaatregel om rekening te kunnen houden met 'desinvesteringen' (in geval van aanvullende en/of vervangingsinvesteringen).
2. Vooroverleg (dit bleek enkele malen nodig).
3. Bespreking. In enkele gevallen is geen bedrijfsbezoek uitgevoerd, maar werd de informatie schriftelijk en telefonisch gegeven.
4. Versturen van het concept-besprekingsverslag aan het bedrijf met het verzoek om commentaar. Dit verslag omvat de ingevulde vragenlijst en een uitgebreide uitwerking van de berekening van de kosteneffectiviteit. Aan de bedrijven is toegezegd, dat specifieke 'herkenbare' en eventueel vertrouwelijke bedrijfsgegevens in de eindrapportage uitsluitend in een vertrouwelijke bijlage zullen worden opgenomen.
5. Verwerken van het commentaar van het bedrijf en definitief maken van het verslag. Aan de bedrijven is toegezegd, dat men (indien gewenst) een kopie van het eindrapport kan ontvangen, inclusief de vertrouwelijke bijlage, die betrekking heeft op het eigen bedrijf.

2.5 Overige informatie

Voor stof zijn voornamelijk doekfilters geïnventariseerd. Voor het verkrijgen van informatie van andere typen stofafscidders zijn 38 bedrijven benaderd. Hiervan bleek maar één bruikbaar te zijn in het onderzoek. Bij alle andere installaties waren onvoldoende gegevens beschikbaar om een voldoende nauwkeurige kosteneffectiviteit te kunnen berekenen. Vooral informatie over investeringskosten en ongereinigde last bleek te ontbreken. Voor veel bedrijven is alleen de te bereiken stofconcentratie van belang zonder dat bij hen bekend is hoeveel de oorspronkelijke concentratie bedroeg. Bij nieuwbouw van een grote verffabriek zijn vele stofreductiemaatregelen genomen. Tegelijk zijn procesgeïntegreerde maatregelen genomen (reductie van afzuiging, puntafzuiging, veranderde (procesvoering), zodat de kosten van de nageschakelde stofmaatregelen niet separaat beschikbaar zijn. Daarbij komt dat niet duidelijk is welk deel aan de nageschakelde en welk deel aan de procesgeïntegreerde maatregelen kan worden toegerekend. Een ander voorbeeld betreft een bedrijf waarbij een nieuwe silo is gekocht die voorzien is van een cycloon. De kosten van de cycloon waren opgenomen in de totale kosten en aldus niet separaat bekend.

In het geval van SO₂ en in mindere mate NO_x zijn relatief weinig installaties beschikbaar, die voldoen aan de eerdergenoemde randvoorwaarden voor opname in het onderzoek. Daarom is voor deze stoffen, naast de informatie van bedrijven, ook gebruik gemaakt van andere informatiebronnen (onder andere Novem, SEP). In dat geval betreft het de volgende soorten gegevens:

- * reeds gerealiseerde installaties;
- * installaties, waarvan vaststaat dat ze binnen afzienbare tijd worden gerealiseerd en (deels) al in aanbouw zijn;
- * literatuurgegevens.

De resultaten hiervan worden voor een deel, namelijk waar het reeds gerealiseerde individuele installaties betreft, weergegeven in hoofdstuk 3 en daarnaast tevens in bijlage 3.

3 Resultaten kosteneffectiviteit

In de tabellen 1, 2, 3 en 4 zijn de resultaten samengevat per stofcategorie. In bijlage 1 staan alle gebruikte uitgangspunten voor berekening van de operationele kosten. De investeringskosten en de operationele kosten zijn omgerekend naar kosten voor 1993.

In de tabellen 3 en 4 zijn tevens gegevens opgenomen van installaties, waarvan de informatie is verkregen op andere wijze dan via een bedrijfsbezoek. De achtergrond van deze informatie wordt nader aangegeven in bijlage 3.

Samengevat zijn de onderzochte installaties te verdelen in de volgende categorieën van technieken:

1. VOS (totaal 20):

- * 9 thermische naverbranders (waarvan 1 stoomketel, die wordt toegepast als naverbrander)
- * 1 katalytische naverbrander
- * 2 biologische technieken (1 biofilter en 1 biotrickling filter)
- * 3 actieve-kool adsorptiesystemen (regeneratie met stoom)
- * 3 cryogene condensatie installaties
- * 1 conventionele condensatie installatie (-50 °C)
- * 1 combinatie (actieve kool systeem en nageschakeld biofilter)

2. Stof (totaal 8):

- * 7 doekfilters
- * 1 elektrofilter

3. NO_x (totaal 17):

- * 9 SCR
- * 1 gaswasser
- * 1 3-wegkatalysator
- * 6 stoominjectie en/of waterinjectie bij gasturbines (zie voor een toelichting bijlage 3)

4. SO₂ (totaal 5):

- * 1 Lo-cat proces
- * 2 zwavelzuurproductieproces (Haldor Topsoe)
- * 1 gaswasser (sulfiet/sulfaat)
- * 1 gaswasser (gipsproductie, energiecentrales, het betreft in feite 7 separate installaties)

Tabel 1A Samenvatting resultaten bedrijfsbezoeken (VOS) (respectievelijk: naverbranding, actieve kool, biologische technieken, condensatie)

Bedrijf (nr.)	Component ¹⁾	NeR-klasse ²⁾	Maatregel	Debiet (m ³ /uur)	Concentratie (g/m ³)	Belasting (ton/jaar)	Verwijdering (%)
001	tetrachloormethaan methylchloride dichloormethaan (gechlor.)	gO1 gO1 gO3	Thermische naverbrander en gaswassers	8.400	5,84	400	90,0
004	acrylonitril butadieen styreen	C2 C3 gO2	Naverbranding in omgebouwde stoomketels	15.000	2,11	253	99,9
005	ethylbenzeen aromaten aromaten aceton/aldehyden	gO2 gO2 gO3	Thermische naverbrander	70.850	2,50	1.488	98,6
010	oplosmiddelen	? ⁴⁾	Thermische naverbrander	45.000	2,90	600	99,9
014	oplosmiddelen	? ⁴⁾	Thermische naverbrander	94.000	0,93	700	92,7
023	white spirit	gO2	Thermische naverbrander	23.000	9,70	1.230	99,2
024	ethylacetaat ethanol	gO3 gO3	Katalytische naverbrander	8.000	3,33	80	95,2
027	methylethylketon, methylisobutylketon	gO3	Thermische naverbrander	50.000	4,10	287	95,8
032	white spirit	gO2/	Thermische naverbrander	23.300	2,32	227	93,6
033		gO3		16.300	2,82	194	94,7
007	VOS divers	?	Actieve kool systeem 1 Actieve kool systeem 2	6.500 6.500	2,13 1,82	119 102	97,1 98,6
019	trichlooretheen (gechlor.)	gO2	Actieve kool (terugwinning)	45.000	1,02	275	98,0
028	trichlooretheen methanol	gO2 gO3	Actieve kool en biofilter	2.700	2,09	31	92,2
008	dimethylacetamide	gO2	Biotrickling filter	1.800	0,87	14	96,6
011	tolueen, xyleen aceton, acetaten	gO2 gO3	Biofilter	10.700	2,33	209	68,7
012	etheenoxide propeenoxide	C2 C3	Condensatie (-50 °C)	15	1083	143	78,5
013	tolueen, tetra- hydrofuran, MEK dichloormethaan	gO2 gO3	Cryocondensatie en zeoliet adsorber	80	139 ³⁾	50 ³⁾	100,0
015	dichloorethaan dimethylbutaan (gechlor.)	C3 gO2	Cryocondensatie	227	64	128	99,8
020	tolueen methanol, aceton, dichloormethaan	gO2 gO3 gO3	Cryocondensatie	200	68	120	95,5

1) Geclor. betekent dat minimaal de helft van de belasting van de emissiebeperkende installatie uit één of meerdere gechlorideerde VOS bestaat.

2) De NeR-klassen zijn aangegeven van de betreffende stoffen.

3) De ontwerpwaarde (de actuele waarde is lager).

4) ? betekent dat de betreffende informatie niet werd verkregen.

Kosteneffectiviteit van milieumaatregelen in de industrie - Vaststellen van het referentiekader - Eindrapport

*Tabel 1B Samenvatting resultaten bedrijfsbezoeken (VOS) (vervolg)
(respectievelijk: naverbranders, actieve kool systemen, biologische technieken, condensatie)*

Bedrijf (nr.)	Jaar van investering	Aanschaffings prijs (miljoen f)	Totale investeringskosten (miljoen f)	Totale operationele kosten (1000 f)	Besparingen (1000 f)	Kosten-effectiviteit (f/kg)
001	1990	10,61	33,74	1220	250	17,95
004	1986	0,52	1,91	60	40	2,00
005	1991	5,45	8,50	400	0	1,22
010	1989	?	1,08	970	660	0,80
014	1994	6,25	7,02	675	160	2,55
023	1992	6,03	10,86	340	230	1,54
024	1990	0,50	1,09	45	60	2,14
027	1992	?	4,57	260	0	3,65
032	1992 (1)	1,28	3,70	215	0	3,85
033	1992 (2)	1,21	3,16	150	0	3,64
007	1990 (DV1)	1,19	1,79	280	0	4,94
	1993 (DV2)	1,83	2,48	280	0	6,84
019	1990/1991	7,04	21,98	520	275	14,17
028	1994	?	0,31	75	0	4,40
008	1994	0,40	1,23	55	0	19,36
011	1990	0,75	1,57	83	0	2,36
012	1990	?	1,60	112	114	2,32
013	1992	1,26	2,44	36	0	8,67
015	1994	1,30	2,72	379	0	5,28
020	1993	5,09	19,92	285	0	27,76

Tabel 2A Samenvatting resultaten bedrijfsbezoeken (stof)

Bedrijf (nr.)	Component	NeR-klasse ¹⁾	Maatregel	Debiet (m ³ / uur)	Concentratie (g/m ³)	Belasting (ton/jaar)	Verwijdering (%)
002	oxiden (Fe,Si,Ca,Zn,Al)	S	Doekfilter	80.000	2,10	670,0	98,8
009	soja	S	Doekfilter	7.560	14,88	900,0	99,9
016	oxiden (Fe,Si)	S	Doekfilter	74.000	1,10	300,0	99,8
017	oxiden (Si)	S	Doekfilter	1.500	67,00	150,0	99,99
022	pigment (Pb,Cr,V,Bi,Zn)	C1	Doekfilters	5.760	0,24	1,0	99,9
025D	oxiden (Si)	S	Doekfilter	14.000	0,11	3,0	99,2
025E	oxiden (Si, Pb) ²⁾	sA2	Elektrofilter	1.400	0,84	9,4	99,7
041	onbekend	S	Doekfilter	10.000	0,09	5,1	98,2

1) de NeR-klassen zijn aangegeven van de betreffende stoffen.

2) meer dan 50% van de belasting bestaat uit lood.

Tabel 2B Samenvatting resultaten bedrijfsbezoeken (stof) (vervolg)

Bedrijf (nr.)	Jaar van investering	Aanschaffings prijs (miljoen f)	Totale investeringskosten (miljoen f)	Totale operationele kosten (1000 f)	Besparingen (1000 f)	Kosten-effectiviteit (f/kg)
002	1992	3,13	6,83	600	0	2,59
009	1993	0,07	0,23	16	1	0,06
016	1989	0,63	0,90	80	45	0,60
017	1994	0,06	0,07	4	15	0,00
022	1991	?	0,05	23	0	30,50
025D	1991	0,63	0,68	42	0	77,30
025E	1988	2,24	3,36	80	0	67,17
041	1993	?	0,10	40	0	11,3

Kosteneffectiviteit van milieumaatregelen in de industrie - Vaststellen van het referentiekader - Eindrapport

Tabel 3A Samenvatting resultaten bedrijfsbezoeken (SO₂)

Bedrijf (nr.)	Maatregel	Debiet (m ³ /uur)	Concentratie (g/m ³)	Belasting (ton/jaar)	Verwijdering (%)
021	Haldor Topsoe (zwavelzuurproductie)	30.000	4,5	805	97,7
043	Haldor-Topsoe ¹⁾	30.000	12	3.154	96,9
026	Lo-cat proces	13.500	47,4	5.606	89,8
031	Gaswasser	74.000	4,2	2.592	96,0
040	Gaswassers, gipsproces energiecentrales ²⁾	2.000.000	3,1	18.000	87,1

¹⁾ Het betreft meerdere vergelijkbare installaties, waarvan hier slechts één als voorbeeld is uitgewerkt.

²⁾ Inclusief voorgeschakelde H₂S-oxidatie.

Tabel 3B Samenvatting resultaten bedrijfsbezoeken (SO₂) (vervolg)

Bedrijf (nr.)	Jaar van investering	Aanschaffingsprijs (miljoen f)	Totale investeringskosten (miljoen f)	Totale operationele kosten (miljoen f)	Besparingen (miljoen f)	Kosten-effectiviteit (f/kg)
021	1992	?	14,59	1,63	0,06	5,02
043	1993	26,9	27,1	1,21	0,28	1,92
026	1989-1993	26,50	28,07	4,04	0	1,71
031	1992	2,13	4,06	0,99	0	0,66
040	1988	?	122,0	7,70	0	1,76

Tabel 4A Samenvatting resultaten bedrijfsbezoeken (NO_x)

Bedrijf (nr.)	Maatregel	Debiet (m ³ /uur)	Concentratie (g/m ³)	Belasting (ton/jaar)	Verwijdering (%)
003	Stoominjectie (gasturbines) ¹⁾	50.000	0,75	300	76,7
006	SCR	35.000	3,74	1.100	87,3
018	SCR	31.000	6,15	1.602	88,2
029	SCR	6.000	6,00	288	96,5
030	SCR	70.000	4,08	2.400	89,7
034	SCR	196.000	0,72	848	77,0
035	SCR	2.100	0,34	3	56,3
037	SCR	2.000.000	0,80	9.000	76,7
039	SCR	30.000	3,52	900	84,8
044	SCR	4.700	0,443	2.500	80,5
036	3-wegkatalysator	700	5,10	16	96,9
038	gaswasser	40.000	14,38	4.600	90,0

¹⁾ In tabel 5 staat aanvullende informatie van 6 andere installaties, die echter niet bezocht zijn.

Tabel 4B Samenvatting resultaten bedrijfsbezoeken (NO_x) (vervolg)

Bedrijf (nr.)	Jaar van investering	Aanschaffings prijs (miljoen f)	Totale investeringskosten (miljoen f)	Totale operationele kosten (miljoen f)	Besparingen (miljoen f)	Kosten-effectiviteit (f/kg)
003	1992	?	0,36	0,43	0,28	0,93
006	1993	1,50	?	?	?	?
018	1989	1,60	2,54	0,28	0	0,50
029	1994	7,50	8,50	0,63	0	7,26
030	1988	?	4,49	0,51	0	0,58
034	1986	?	18,69	2,79	0	8,90
035	1991	?	0,04	0,09	0	3,64
037	1994 ¹⁾	?	100,00	8,47	0	3,6
039	1988	6,20	11,53	0,82	0	3,52
044	1994	0,4	?	0,04	0,10	4,17
036	1992	?	0,03	0,02	0	8,10
038	1989	5,15	20,12	1,39	0,22	1,08

¹⁾ Installatie is eind 1994 opgestart, er is nog geen nauwkeurige informatie beschikbaar. De gegevens zijn gebaseerd op schattingen.

Ook voor de overige gevallen, waarbij reeds een maatregel aanwezig was, geldt dat deze meer dan 10 jaar oud was op het moment van aanschaf, zodat er geen desinvesteringkosten in de berekeningen zijn opgenomen.

Kosteneffectiviteit van milieumaatregelen in de industrie - Vaststellen van het referentiekader - Eindrapport

In de tabellen 5 en 6 staat alle in dit onderzoek verzamelde informatie over kosten van verwijdering van NO_x en SO₂ samengevat, inclusief aanvullende gegevens. Voor meer detailinformatie wordt verwezen naar bijlage 3.

Het betreft alle gegevens van specifieke installaties, die momenteel in Nederland operationeel zijn, aangevuld met meer algemene literatuurinformatie, die niet specifiek voor een bepaalde installatie geldt. Indien het om een specifieke installatie gaat is dit aangegeven met een bedrijfsnummer.

Tabel 5 Samenvatting beschikbare informatie maatregelen NO_x

Emissiebron	Techniek	Bedrijf (nr.)	Overige informatie (lit.)	Kosten-effectiviteit (f/kg)
procesemissies	SCR gaswasser	6, 18,29,30,39 38	--	0,5 - 7,3 1,1
gasturbines	Water- (1 maal) en stoominjectie (6 maal)	3	[Senter,1993]	0,8 - 9,4
gasmotoren	3-weg katalysator SCR	36 35	[Novem,1994]	0,5 8,1; 4,2
energiecentrales	SCR, 645 MWe SCR, 65 MWe	37 34	[KEMA,1993] [Novem,1991]	3,6 8,9
afvalverbranding- inst.	SNCR, nieuw SCR, retrofit SCR, nieuw	--	Novem ¹⁾ AVI	6-7 10-11 12
NO _x algemeen	SCR Shell SCR, 300 MWe	--	Shell [ECE Task Force, 1992]	3 - 7 5,8

¹⁾ Informatie van Novem, het eindrapport is te verwachten eind 1995; 4 AVI's in demoprogramma: Amsterdam, AVIRA, ROTEB, AVR (twee maal SNCR en twee maal SCR).

Tabel 6 Samenvatting beschikbare informatie maatregelen SO₂

Emissiebron	Techniek	Bedrijf (nr.)	Overige informatie (lit.)	Kosten-effectiviteit (f/kg)
energie-centrales ¹⁾	kalksteen (gips)	40	[Novem,1992]	1,8
procesemissies	Haldor Topsoe Lo-cat gaswasser	21, 43 26 31	-- -- --	1,9 - 5,0 1,7 0,7

¹⁾ Vergelijkbare ontzwavelingsinstallaties bij Gelderland 13, Amer 8, Borssele 12, Maasvlakte 1 en 2, Amer 9, Hemweg 8.

4 Analyse van de resultaten

4.1 Algemeen

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de volgende aspecten:

- * mogelijke relaties tussen de berekende kosteneffectiviteit en de belangrijkste bedrijfsspecifieke kostenbepalende factoren (§ 4.2);
- * de mogelijkheid van gebruik van opslagpercentages (§ 4.3);
- * in hoeverre er sprake is van oorspronkelijke maatregelen, die zijn vervangen of uitgebreid (§ 4.4);
- * de nauwkeurigheid van de berekende kosteneffectiviteiten (§ 4.5);
- * mogelijke relaties tussen de kosteneffectiviteit en algemene, niet-bedrijfsspecifieke, kostenbepalende factoren (§ 4.6);
- * mogelijkheid van stratificeren van de referentiewaarden (§ 4.7);
- * een mogelijke methode voor het bepalen van een bovengrens en een nadere uitwerking van de methode op basis van de berekende kosteneffectiviteiten (§ 4.8).

4.2 Bedrijfsspecifieke kostenbepalende factoren

Voor iedere installatie zijn specifieke factoren van belang, die de kosteneffectiviteit in belangrijke mate bepalen. Zoals overéengekomen in de methodiek zijn bij de berekening van de in hoofdstuk 3 weergegeven kosteneffectiviteiten deze factoren voor zover mogelijk niet in de berekening meegenomen.

Het is echter zinvol om de belangrijkste in de praktijk voorkomende factoren nader te analyseren om na te gaan hoe groot de gevolgen zijn op de kosteneffectiviteit van het niet meenemen van deze factoren.

Alle hierna genoemde factoren hebben een belangrijk effect op de grootte van de berekende kosteneffectiviteit. Hieruit wordt geconcludeerd, dat het van groot belang is om in de methodiek de berekeningswijze ten aanzien van deze aspecten duidelijk en éénduidig vast te leggen.

1. Subsidie en schadevergoeding

Conform de methodiek worden de verleende subsidies en schadevergoedingen niet meegenomen in de bepaling van de totale investeringskosten bij de bepaling van het referentiekader.

In tabel 7 staan de gegevens samengevat van de installaties waarvoor een subsidie (bijvoorbeeld Novem, KWS 2000) of een schadevergoeding (Wet Luchtverontreiniging, Wet Milieubeheer) is verleend.

Tabel 7 *Subsidies en schadevergoedingen bij de referentie-installaties*

Bedrijf (nr.)	Totale investeringskosten (miljoen f)	Subsidie/ schadevergoeding (miljoen f)	Bijdrage ¹⁾ (%)
001	33,74	11,90	35
003	0,36	0,16	45
013	2,44	0,20	8
019	21,98	8,89	40
021	14,59	3,79	26
023	10,86	3,25	30
024	1,09	0,07	6
026	28,07	12,17	43

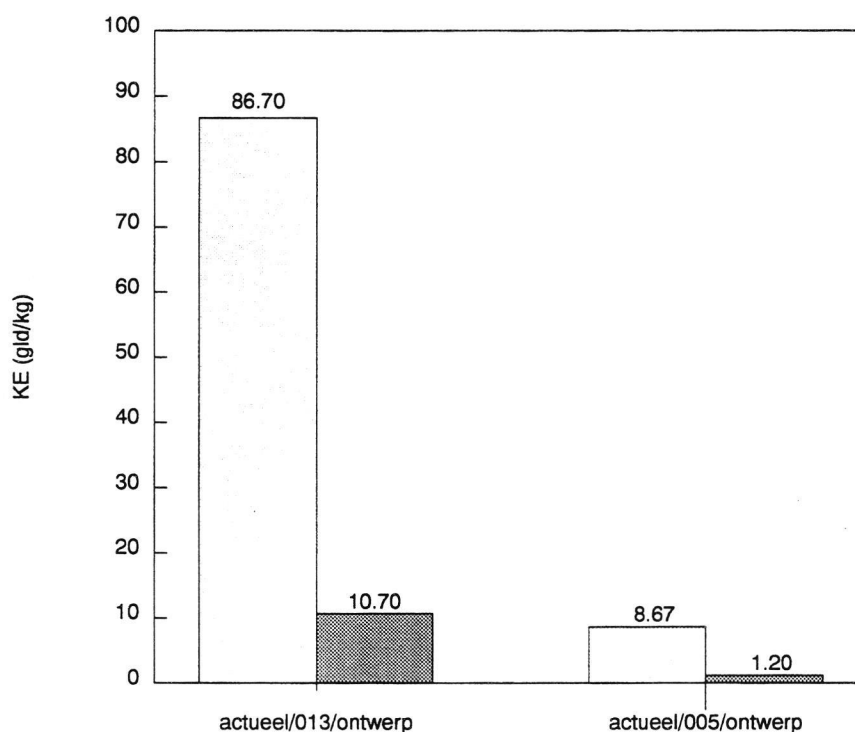
¹⁾ Procentuele bijdrage van het bedrag van de subsidie of de schadevergoeding (in f 1993) ten opzichte van de totale investeringskosten.

Aan acht bedrijven werd subsidie of schadevergoeding verleend. De bijdrage hiervan aan de totale investeringskosten varieerde van circa 6 tot 45%. De invloed op de kosteneffectiviteit is hiermee in een aantal gevallen aanzienlijk. Deze wordt 'gunstiger', indien de subsidie wel zou zijn meegenomen.

2. *Lagere actuele belasting van de installatie dan de ontwerpbelasting*

Conform de methodiek wordt uitgegaan van de ontwerpbelasting. In drie gevallen (nr. 005, 013 en 025) bleek de feitelijke belasting (sterk) af te wijken van de ontwerpbelasting. Het effect op de berekende kosteneffectiviteit kan zeer groot zijn (zie figuur 6). De 'actuele' kosteneffectiviteit was in twee gevallen respectievelijk een factor 9 en 10 hoger ('ongunstiger') dan de 'ontwerp' kosteneffectiviteit. Dit grote verschil tussen de feitelijke en de ontwerpbelasting wordt veroorzaakt door diverse factoren, zoals wijziging van de procesinstallatie of de wijze van procesvoering of de beschikking over meer afgasgegevens in de periode tussen de beslissing van het doen van de investering en de plaatsing en inbedrijfstelling van de installatie. Voor bedrijf nr. 025 (doekfilter) was het niet mogelijk om de ontwerpbelasting te achterhalen, zodat niet bekend is of het effect bij deze installatie even groot is. Dit betekent, dat de gegevens van deze installatie niet in het onderzoek kunnen worden gebruikt als referentie-installatie (zie ook bijlage 2).

Kosteneffectiviteit van milieumaatregelen in de industrie - Vaststellen van het referentiekader - Eindrapport



Figuur 1 Kosteneffectiviteit berekend met actuele en ontwerpbelasting

3. Hergebruik van een reststof in het proces

Conform de methodiek wordt uitgegaan van de feitelijke operationele kosten in een specifieke situatie voor de bepaling van de referentiewaarden. In het geval van emissie van VOS is het vaak niet mogelijk om de teruggewonnen reststof te hergebruiken, omdat deze bijvoorbeeld een mengsel van VOS bevat, dat afwijkt van de eisen, die worden gesteld aan hergebruik. Het kan echter voorkomen, dat een reststof een restwaarde heeft. In dat geval moet deze restwaarde worden meegenomen in de berekening. Hier wordt voor enkele voorbeelden aangegeven, hoe groot de effecten zijn van het wel of niet toekennen van een bepaalde waarde aan een reststof.

In één voorbeeldgeval (nr. 007) was er geen mogelijkheid om de reststof te hergebruiken en moest deze worden afgevoerd als chemisch afval. Conform de methodiek is met deze situatie verder gerekend. Hieruit volgde een kosteneffectiviteit van circa *f* 4,9/kg VOS. Indien de stof geen chemisch afval was geweest en de stof tevens geen restwaarde zou hebben zou de kosteneffectiviteit *f* 3,6/kg bedragen. Als de restwaarde *f* 0,50/kg zou zijn geweest zou de kosteneffectiviteit *f* 2,3/kg zijn geweest.

Bij drie installaties (nr. 013, 015, 020) kon een hulpstof (stikstof) wel in het proces worden hergebruikt. Indien dit niet het geval was geweest zou de kosteneffectiviteit bij nr. 013 en 015 respectievelijk circa *f* 1,40 en *f* 1,20/kg hoger ('ongunstiger') zijn geweest en bij nr. 020 circa *f* 0,90/kg. Conform de methodiek zou moeten worden gerekend met uitsluitend de extra stikstofkosten. Hierbij wordt overigens opgemerkt

dat een dergelijke techniek dan ongunstig is in situaties, waarbij dit hergebruik niet mogelijk is.

4. *Meerdere componenten*

Bij meerdere componenten zou volgens de methodiek met een weefactor per stof moeten worden gerekend. In deze rapportage is echter voor het referentiekader uitgegaan van berekening van de kosteneffectiviteit van totaal VOS.

In alle gevallen van VOS-emissie is sprake van meerdere componenten. Daarnaast komen ook bijna altijd meerdere stofklassen uit de NeR voor. In enkele gevallen kan een 'hoofdcomponent' worden onderscheiden, die overheersend is (bijvoorbeeld bij nr. 004 en 008). Bij bedrijf 004 is acrylonitril (ACN) overheersend (circa 63% van de totale VOS-emissie). Bij bedrijf 008 bestaat circa 95% van de emissie uit één stof (dimethylacetamide). Bij deze bedrijven (nr. 004 en 008) zou de kosteneffectiviteit betrokken op de 'hoofdcomponent' respectievelijk circa 55% en 5% hoger ('ongunstiger') zijn dan betrokken op de totaal-VOS emissie.

Daarnaast geldt voor drie installaties (nr. 001, 015, 019), dat meer dan 50% van de belasting bestaat uit gechloteerde componenten. Het bleek niet mogelijk bij deze bedrijven de 'basiskosten' te scheiden van de kosten tengevolge van het optreden van gechloteerde VOS.

4.3 **Opslagpercentages**

In de methodiek wordt de mogelijkheid genoemd om 'opslagpercentages' toe te passen voor schatting van diverse onderdelen van de investeringskosten en de totale jaarlijkse kosten.

Uit de huidige resultaten kunnen enkele van deze voorlopige opslagpercentages worden afgeleid. Hierbij wordt benadrukt, dat het in het algemeen aan te raden is alle kostenonderdelen zo goed mogelijk te bepalen zonder gebruik van dergelijke opslagpercentages. Deze opslagen zijn mogelijk zinvol in een voorstadium van een project, waarbij bijvoorbeeld alleen de aanschafprijs van een emissiebeperkende techniek bekend is. In een later stadium (voorontwerp) zijn de bijkomende kosten beter bekend en hoeft geen gebruik te worden gemaakt van dergelijke opslagpercentages.

4.3.1 **Investeringskosten**

1. *Engineering en bouw- en montagetoezicht*

Ten eerste is gekeken naar het percentage voor algemene voorbereiding, engineering, bouw- en montagetoezicht (en/of directievoering).

Het gaat hierbij om verschillende werkzaamheden:

- a. werkzaamheden, die door het bedrijf zelf worden uitgevoerd (voorbereidende werkzaamheden, engineering, bouw- en montagetoezicht). Deze kosten zijn soms door het bedrijf in de totale kosten opgenomen en zijn dan niet meer separaat te

Kosteneffectiviteit van milieumaatregelen in de industrie - Vaststellen van het referentiekader - Eindrapport

achterhalen. In enkele gevallen waren deze kosten wel separaat bekend. In een aantal andere gevallen is tijdens het bedrijfsbezoek gebleken, dat deze kosten nog moesten worden toegevoegd aan de investeringskosten. In deze gevallen zijn deze kosten alsnog door het bedrijf geraamd.

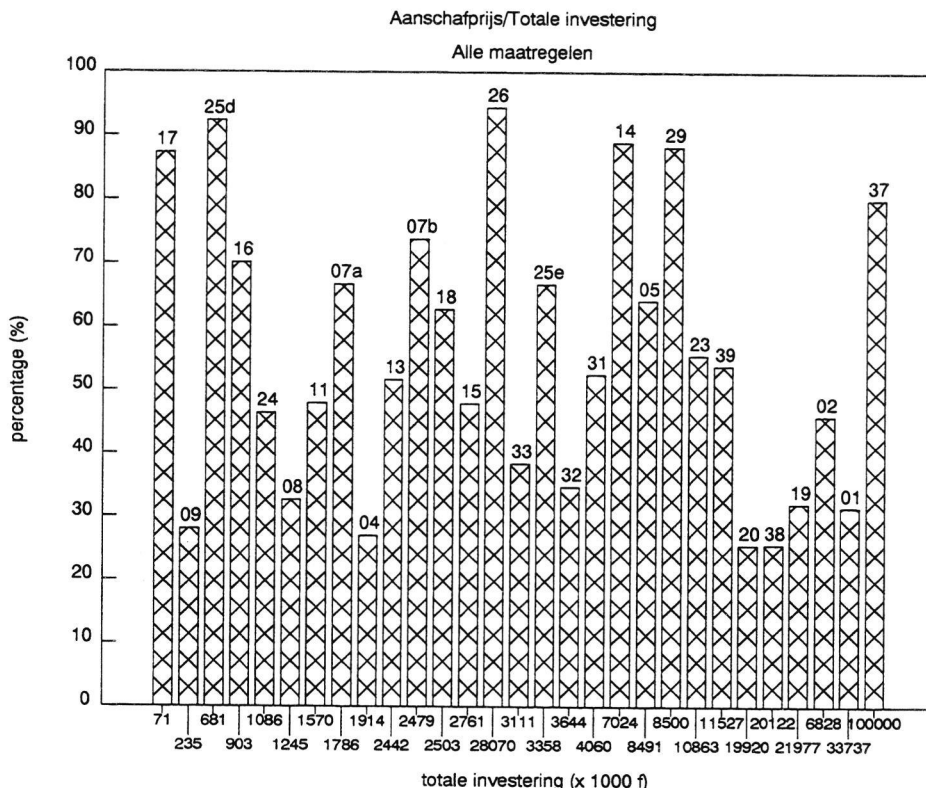
- b. engineering, bouw- en montagetoezicht, uitgevoerd door derden. De engineering behorend bij het 'basisapparaat' wordt altijd door de leverancier van dat apparaat uitgevoerd en is inbegrepen bij de prijs. Regelmatig wordt een milieu-maatregel turn-key geleverd. In dat geval zijn alle overige engineeringkosten, maar tevens bouw- en montagetoezicht, opstart en garantiemetingen bij de prijs van de contractor/leverancier inbegrepen.

Uit de geïnventariseerde installaties blijkt, dat alleen de in eigen beheer uitgevoerde kosten (a) redelijk goed vast te stellen zijn. Indien de eerdergenoemde werkzaamheden door derden zijn uitgevoerd, wat vaak het geval is, zijn de kosten (opgesplitst per activiteit) veel minder goed te bepalen. Hierdoor is het in veel gevallen niet goed mogelijk om een goede raming te maken van het totaal van de genoemde kosten. Aanbevolen wordt dan ook om een dergelijk percentage in deze studie niet vast te stellen op basis van de bedrijfsbezoeken.

2. Bijkomende of toegerekende kosten

Ten tweede is het percentage voor alle bijkomende (of toegerekende) kosten vastgesteld. Hierbij worden de totale investeringskosten in twee onderdelen gesplitst, de kosten van de 'basisapparatuur' (de emissiebeperkende techniek) en de kosten van alle bijkomende voorzieningen. Deze informatie kan zinvol zijn voor met name een vergunningverlener in een vroeg stadium van een project, waarbij de toe te passen techniek (globaal) bekend is. Op basis van budget-offertes kan in dergelijke situaties vervolgens, bij gebruik van een opslagfactor, mogelijk een globale indicatie worden verkregen van de totale investeringskosten.

In figuur 2 is de verhouding tussen de aanschafprijs van het 'basisapparaat' en de totale investering weergegeven. Er blijkt geen duidelijk verband te bestaan tussen deze verhouding en de totale investeringskosten. De verhouding blijkt te variëren tussen circa 0,25 (25%) en 0,94 (94%). De hoge waarden (circa 90%) treden op bij installaties, waar alleen de totale kosten door het bedrijf zijn gegeven. De 'kale' aanschafprijs van de 'basisapparatuur' werd dan niet opgegeven. Indien de hoge waarden en de laagste waarde (circa 25%) buiten beschouwing worden gelaten, varieert de genoemde factor tussen circa 30 en 75%. Dit betekent, dat de bijkomende kosten globaal circa 30% tot 230% bedragen van de aanschafprijs van de 'basisapparatuur'. Deze kosten moeten dan nog worden opgeteld bij de kosten van de 'basisapparatuur'.



Figuur 2 Verhouding tussen aanschafprijs milieumaatregel en de totale investeringskosten

Geconstateerd wordt, dat de grootte van de bijkomende (toegerekende) investeringskosten in belangrijke mate de waarde van de kosteneffectiviteit bepaalt. Dit betekent, dat het zinvol is in een vroeg stadium, wanneer deze kosten nog niet goed bekend zijn, een methode te hebben om deze kosten te schatten. Uit de resultaten is er echter geen duidelijke algemeen toepasbare relatie vast te stellen.

Als alternatieve methode is het mogelijk om voor een aantal min of meer éénduidig gedefinieerde situaties een schatting te geven van deze bijkomende kosten. Deze situaties kunnen zijn gebaseerd op representatieve installaties, die in de inventarisatie zijn meegenomen. In tabel 8 is een dergelijk overzicht weergegeven. Dit overzicht kan worden gebruikt om een indicatie te verkrijgen van mogelijke bijkomende investeringskosten, op basis van relatief weinig informatie over een bepaald specifiek te behandelen afgas. In het algemeen worden de bijkomende kosten het meest bepaald door de volgende onderdelen:

1. procesaanpassingen (bijvoorbeeld omkastingen, lekdicht maken).
2. leidingwerk (afgaskanalen), ventilator, schoorsteen.
3. elektrotechnische voorzieningen.
4. bouwkundige voorzieningen (dakdoorvoeren, ondersteuning, en dergelijke).
5. studies, voorbereiding, engineering, bouw- en montagetoezicht, opstart.

Deze kosten kunnen afhankelijk zijn van de volgende factoren:

1. Capaciteit (debiet). Naarmate de installatie in omvang toeneemt neemt naar verwachting een deel van de bijkomende kosten minder dan evenredig toe. Overigens

Kosteneffectiviteit van milieumaatregelen in de industrie - Vaststellen van het referentiekader - Eindrapport

- is op basis van de gevonden referentiewaarden een dergelijk verband niet vast te stellen. Een ander deel van de bijkomende kosten is echter min of meer onafhankelijk van de omvang van de installatie.
2. Nieuwbouw of 'retrofit' (bestaande situatie). In een bestaande situatie zullen kosten voor aanpassing van het proces, afgaskanalen en bouwkundige voorzieningen meestal beduidend hoger zijn dan in nieuwe situaties.
 3. Complexiteit van de installatie. Dit kan worden gedefinieerd als: er is een 'standaardoplossing' beschikbaar of er dient specifiek voor de betreffende situatie een oplossing 'op maat' te worden geleverd. Een complexe installatie vereist veel kosten voor studie, voorbereiding, engineering etc. en instrumentatie en elektrotechnische voorzieningen. Een probleem hierbij is, dat in een aantal gevallen de definitie van 'basisapparaat' niet duidelijk is (bijvoorbeeld bij toepassing van een bestaande stoomketel als naverbrander). Daarnaast is 'complexiteit' niet eenduidig te koppelen aan het type techniek. De complexiteit hangt af van het te behandelen afgas (bijvoorbeeld extreme condities ten aanzien van temperatuur, vochtgehalte, gechloreerde stoffen en dergelijke), maar daarnaast bijvoorbeeld ook van de te bereiken emissiegrenswaarde en de mate van integratie in de procesvoering (koppeling van de besturing aan de procesbesturing en dergelijke). Per geval zal moeten worden nagegaan of het een complexe situatie betreft, waarvoor geen 'standaardoplossing' mogelijk is of een meer eenvoudige situatie, waarvoor een dergelijke oplossing wel bestaat.

Er worden in tabel 8 de volgende 'standaardsituaties' gedefinieerd en de daarbij geschatte totale bijkomende kosten, uitgedrukt in % ten opzichte van de 'aanschaffingsprijs' van de 'basis'-apparatuur.

Tabel 8 Overzicht van bijkomende kosten in 'representatieve' situaties

Nieuwbouw/ bestaande situatie ¹⁾	Complexe/eenvoudige installatie ²⁾	Bijdrage van de bijkomende kosten t.o.v. de 'basis'-kosten (%)
Nieuwbouw	Eenvoudig	+ 30 tot 50
Nieuwbouw	Complex	+ 50 tot 100
Bestaand	Eenvoudig	+ 50 tot 100
Bestaand	Complex	+ 100 tot 250

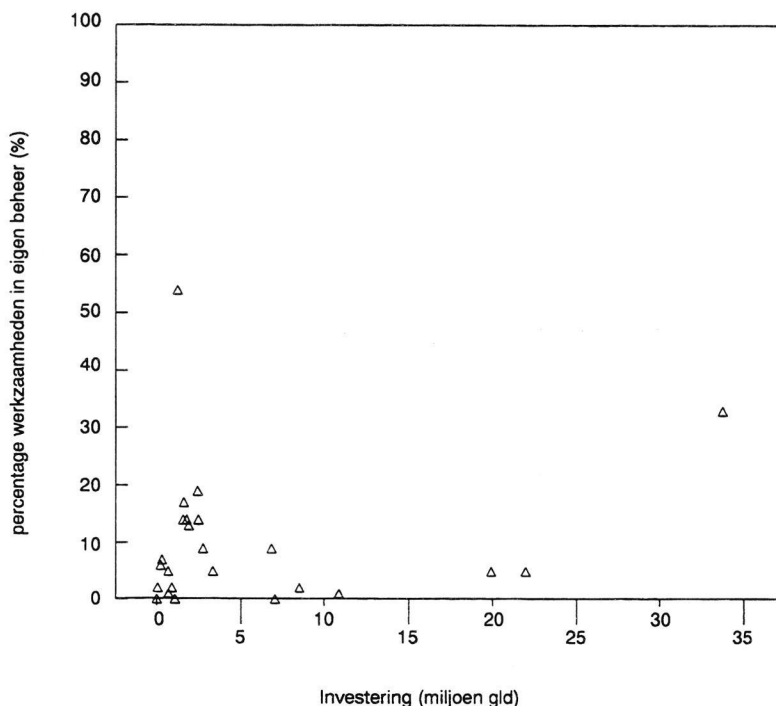
¹⁾ Aanname: nieuwbouw betekent relatief lage kosten voor procesaanpassingen, bouwkundige voorzieningen en afgaskanalen (inclusief ventilator en schoorsteen).

²⁾ Aanname: een complexe installatie betekent relatief hoge kosten voor studie, voorbereiding, engineering, bouw- en montagetoezicht, opstart, instrumentatie en elektrotechnische voorzieningen.

3. Werkzaamheden eigen beheer

Bij de bedrijfsbezoeken is gevraagd naar het percentage van de kosten van de werkzaamheden uitgevoerd in eigen beheer, ten opzichte van de totale investeringskosten.

In het algemeen is dit percentage redelijk goed te achterhalen. Veel bedrijven besteden een belangrijk deel van de werkzaamheden uit en voeren zelf uitsluitend voorbereidende en begeleidende werkzaamheden uit. De percentages zijn weergegeven in figuur 3. Uit figuur 3 valt op, dat in het grootste deel van de gevallen het percentage van de kosten uitgevoerd in eigen beheer tussen 0 en 20% ligt.



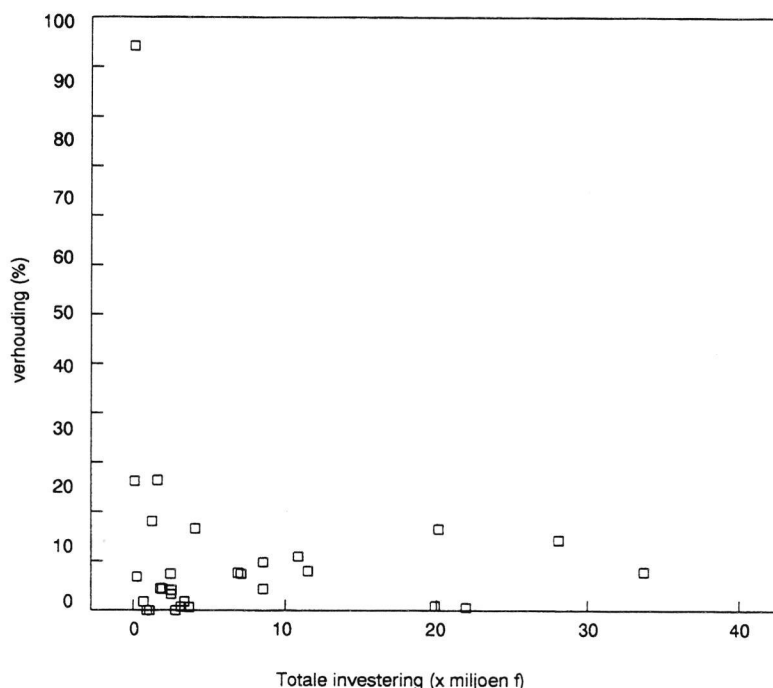
Figuur 3 Verhouding tussen de kosten van werkzaamheden in eigen beheer en de totale investeringskosten

4.3.2 Jaarlijkse kosten

Ten aanzien van de jaarlijkse kosten is de mogelijkheid van toepassing van een percentage voor vaste operationele kosten onderzocht. Het gaat hierbij ten eerste om kosten voor onderhoud, bediening en emissiemetingen. Daarnaast waren in de vragenlijst de volgende (mogelijke) overige kostenonderdelen opgenomen: verzekering en administratie. Indien deze niet bekend zijn is bij de aanvang van de bedrijfsbezoeken voor deze 'overige' vaste operationele kosten 1% van de totale investeringskosten aangehouden. Bij de meeste bedrijfsbezoeken werd door de bedrijven getwijfeld aan de juistheid van deze aanname. Kosten voor verzekering en administratie worden meestal gering of niet relevant geacht. In enkele gevallen gaf het bedrijf zelf een bedrag voor 'overige' vaste operationele kosten zonder deze nader te specificeren. Geconcludeerd wordt, dat de beste aanpak is om deze kosten uitsluitend op te nemen, als het bedrijf deze zelf opgeeft (en onderbouwt). Voorgesteld wordt om in de methodiek het gebruik van een vast percentage voor 'overige' operationele kosten uitsluitend op te nemen, indien deze kosten in dat stadium van het project nog niet bekend zijn.

Kosteneffectiviteit van milieumaatregelen in de industrie - Vaststellen van het referentiekader - Eindrapport

Daarnaast bestaat de mogelijkheid om voor de totale vaste operationele kosten een percentage op te nemen. In figuur 4 is de bijdrage van de totale vaste operationele kosten weergegeven ten opzichte van de totale jaarlijkse kosten voor iedere onderzochte situatie.



Figuur 4 Verhouding tussen de vaste operationele kosten en de totale investeringskosten

Op basis van de resultaten weergegeven in figuur 4 kan een percentage worden gehanteerd van 3 tot 5% van de totale investeringskosten.

4.4 Oorspronkelijke maatregelen

Zoals afgesproken in de begeleidingscommissie is bij de bedrijfsbezoeken gevraagd naar de oorspronkelijke milieumaatregel. In enkele gevallen was er voor plaatsing van de nieuwe maatregel oorspronkelijk reeds een maatregel aanwezig. Als voorbeeld wordt hier genoemd nr. 005. Het betrof bij dit bedrijf een actieve-kool installatie (bouwjaar 1980), die een deelstroom van het huidige afgas behandelt (VOS-afvangst). In 1985 werd deze installatie uitgebreid. Hierna werden diverse wijzigingen in de procesvoering doorgevoerd en er werd in 1991 een naverbrander geplaatst. Deze behandelt naast de uitlaatlucht van de actieve-kool installatie een tweede afgas. Omdat de oorspronkelijke installatie meer dan 10 jaar oud is en de nieuwe installatie tevens een tweede afgas behandelt (naast de uitlaatlucht van de oorspronkelijke maatregel) is uitsluitend de nieuwe maatregel in de berekening van de kosteneffectiviteit opgenomen.

Ook voor de overige gevallen, waarbij reeds een maatregel aanwezig was, geldt dat deze meer dan 10 jaar oud was op het moment van aanschaf, zodat er geen desinvesteringskosten in de berekeningen zijn opgenomen.

4.5 Nauwkeurigheid

Voor een goede interpretatie en gebruik van de resultaten is het van belang een inzicht te hebben in de (on-)nauwkeurigheid van de berekende kosteneffectiviteitswaarden. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt in de (on-)nauwkeurigheid van de totale jaarlijkse kosten en de totale jaarlijkse emissiereductie. Deze waarden worden in de meeste gevallen in belangrijke mate bepaald door respectievelijk de investeringskosten en de belasting van de installatie. Naar de geschatte (on)nauwkeurigheid van deze waarden is bij de bedrijfsbezoeken gevraagd. Het blijkt, dat de onnauwkeurigheid in de belasting in het algemeen op 10 tot 20% wordt geschat en de onnauwkeurigheid in de investeringskosten op circa 5%. Dit betekent, dat de totale onnauwkeurigheid van de berekende kosteneffectiviteit kan worden geschat op maximaal circa 30%.

4.6 Algemene kostenbepalende factoren

Algemeen geldt, dat de investeringskosten van apparatuur in de (chemische) procesindustrie minder dan evenredig toenemen met toenemende capaciteit van de apparatuur. Dergelijke relaties worden soms ook gevonden bij analyse van kosten van emissiebeperkende apparatuur. Deze relaties kunnen worden toegepast in de voorontwerp-fase van emissiebeperkende apparatuur voor een eerste globale kostenraming.

Het kan in deze studie zinvol zijn dergelijke relaties vast te stellen op basis van de gevonden referentiewaarden. Indien deze relaties worden gevonden kunnen deze mogelijk worden gebruikt in de methodiek.

In deze studie is onderzocht of dergelijke verbanden kunnen worden vastgesteld. In feite zouden dergelijke verbanden per techniek moeten worden vastgesteld. Omdat voor de meeste technieken onvoldoende gegevens beschikbaar zijn, zijn eventuele verbanden alleen onderzocht per stofcategorie (VOS, stof, NO_x en SO₂).

In bijlage 7 staat het verband tussen kosteneffectiviteit en debiet, en kosteneffectiviteit en belasting op grafische wijze weergegeven.

Het blijkt dat in grote lijnen de kosteneffectiviteit gunstiger wordt bij toenemende belasting en debiet. Dit verband is echter niet zo sterk, dat daaruit een kwantitatief verband kan worden afgeleid.

4.7 Stratificeren van de referentiewaarden

4.7.1 Algemeen

Uit hoofdstuk 3 blijkt, dat de spreiding in kosteneffectiviteit zeer groot is: zo verschilt voor VOS het meest van het minst gunstige geval met meer dan een factor dertig.

Uit § 4.6 volgt, dat de kosteneffectiviteit over het algemeen gunstiger wordt met toenemende belasting. Dit verband kan mogelijk worden gebruikt om de resultaten van het onderzoek te stratificeren. Dit houdt in, dat afhankelijk van de belasting, een referentiekader kan worden gedefinieerd: voor een lage belasting ligt de bovengrens van het referentiekader hoger, dan voor hogere belastingen.

Stratificeren kan zinvol zijn om de volgende redenen:

Mogelijke reductie van de range in het referentiekader

Indien de kosteneffectiviteit wordt bepaald door één duidelijk te definiëren parameter (factor), dan kan door gebruik te maken van dit verband de 'range' in het referentiekader worden verkleind.

Mogelijke oplossing voor de problematiek bij vervangende investeringen

Bij de berekeningswijze voor aanvullende en vervangende investeringen treden diverse problemen op. Eén van de problemen is, dat er nog geen referentiekader beschikbaar is voor de marginale kosteneffectiviteit bij dit soort investeringen. De oorzaak van een ongunstige marginale kosteneffectiviteit is echter niet, dat de maatregel aanvullend of vervangend is; de oorzaak is, dat de belasting klein is. Dit betekent dat een kleine restemissie verder dient te worden gereduceerd. Om deze reden kan een referentiekader voor marginale kosteneffectiviteiten wellicht worden vervangen door een referentiekader bij een lage belasting, dat reeds beschikbaar is op basis van deze studie.

Er zijn echter ook nadelen verbonden aan het stratificeren:

- de bovengrens van het referentiekader neemt hierdoor af bij een toenemende belasting. Hierdoor wordt van bedrijven met een grote onbehandelde emissie een relatief geringere inspanning verwacht dan van bedrijven met een kleine onbehandelde emissie. Men kan zich afvragen of dat wenselijk is;
- daarnaast sluit een dergelijke aanpak niet aan bij de bestaande regelgeving op het gebied van stof, SO₂ en NO_x. Voor VOS is dit mogelijk wel het geval, waarbij gedacht wordt aan de indeling in klassen bij puntbronnen in de chemische industrie in KWS 2000. Hier wordt in § 4.7.3 verder ingegaan.

Er kunnen in principe twee methoden voor stratificering worden onderscheiden:

1. *Normalisering*

Dit houdt in het opstellen van een zo goed mogelijke wiskundige beschrijving ('curve-fitting') van het verband tussen kosteneffectiviteit en belasting. Vervolgens kan de waargenomen kosteneffectiviteit worden 'genormaliseerd' op basis van het berekende verband ('curve'). Een genormaliseerde kosteneffectiviteit kan vervolgens worden getoetst aan een genormaliseerd referentiekader.

2. Classificering

De waargenomen kosteneffectiviteiten kunnen worden onderverdeeld in diverse klassen van belasting. Per klasse kan vervolgens een referentiewaarde worden opgesteld, waaraan een kosteneffectiviteit kan worden getoetst.

4.7.2 Normalisering

Voor de maatregelen voor VOS en NO_x emissiebeperking is het (mogelijke) verband tussen kosteneffectiviteit en respectievelijk ingangconcentratie, debiet en belasting bepaald. Uit de berekeningen is gebleken, dat de correlatie voor de parameters concentratie en debiet veel slechter was dan voor de belasting. Daarom wordt hier alleen op het verband tussen kosteneffectiviteit en belasting ingegaan. Uitgangspunt is een verband met de volgende kenmerken (dit betekent een exponentiële curve):

$$KE = C * B^n$$

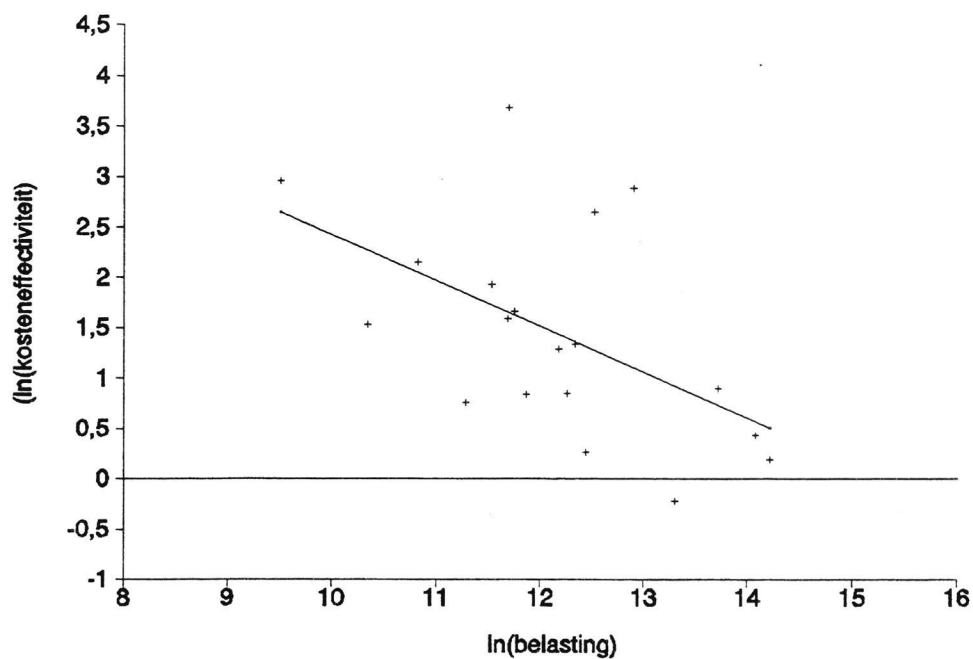
waarbij geldt:

KE: kosteneffectiviteit (f/kg)
B: belasting (kg/jaar)
C, n: constanten

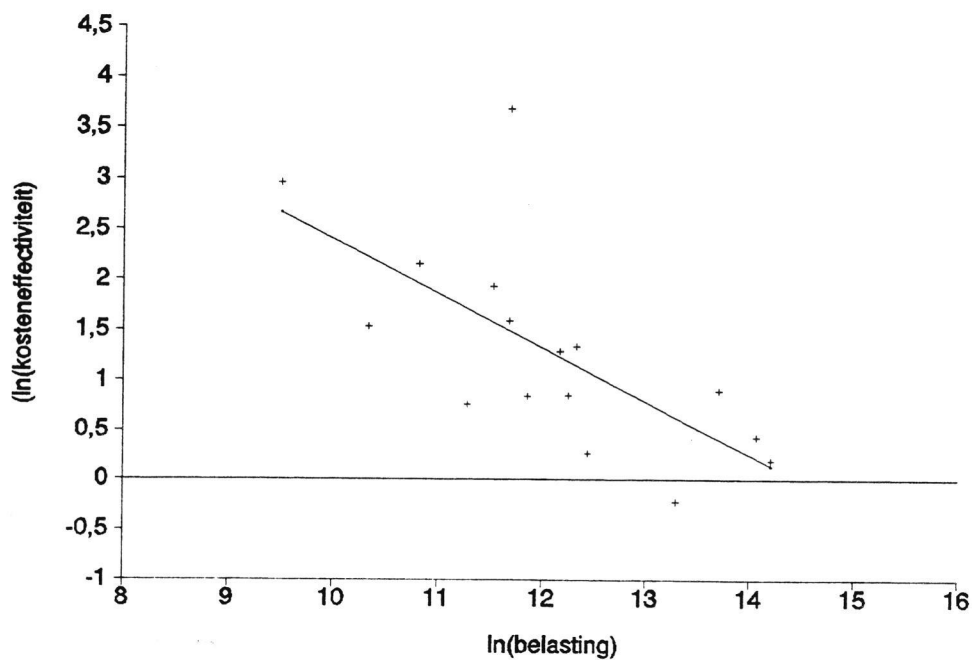
De curve-fitting is uitgevoerd voor alle VOS maatregelen en de maatregelen voor niet-gechloreerde VOS (niet VOS-Cl) en voor NO_x. Het betreft de in tabel 1 weergegeven maatregelen voor alle VOS, waarvan 3 maatregelen voor VOS-Cl en de in tabel 3 weergegeven maatregelen voor NO_x.

In de figuren 5, 6 en 7 is het resultaat van de berekening op grafische wijze weergegeven.

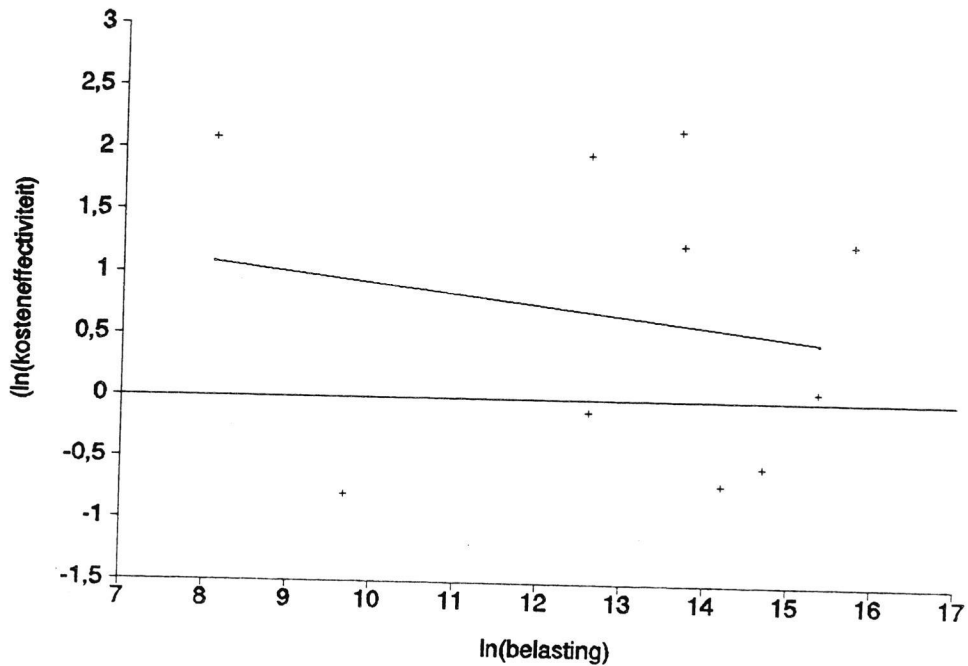
Kosteneffectiviteit van milieumaatregelen in de industrie - Vaststellen van het referentiekader - Eindrapport



Figuur 5 Resultaat curve-fitting VOS (alle maatregelen)



Figuur 6 Resultaat curve-fitting VOS (niet-Cl)



Figuur 7 Resultaat curve-fitting NO_x

De belangrijkste resultaten uit de berekeningen zijn weergegeven in tabel 9.

Tabel 9 Samenvatting resultaten curve-fitting VOS en NO_x

Parameter	Alle VOS (16)	Niet VOS-CI (13)	NO_x
Correlatiecoëfficiënt (R) ¹⁾	0,52	0,68	0,17
Parameter N	-0,46	-0,54	-0,08
Parameter C	1100	2425	5,86

¹⁾ De correlatiecoëfficiënt (R) is een maat voor de samenhang tussen twee variabelen (in dit geval kosteneffectiviteit en belasting). Een waarde voor de correlatiecoëfficiënt van 1,0 geeft een volledige correlatie aan, dit wil zeggen, dat alle (meet-) waarden op de regressielijn liggen. Bij een aantal waarnemingen, groter dan 15 geeft een correlatiecoëfficiënt groter dan 0,45 aan, dat de correlatie significant is.

Uit tabel 9 blijkt, dat de curve voor niet VOS-Cl een iets betere waarde geeft voor de correlatiecoëfficiënt dan de curve voor alle VOS. Voor beide berekeningen is de waarde echter relatief laag, maar wel beter dan voor NO_x waarvoor een zeer lage waarde voor de correlatiecoëfficiënt geldt. Voor VOS geldt dat de gevonden waarde wel significant is, wat betekent dat de waargenomen waarden in dat geval een redelijk goede 'fit' geven.

Er is een 'normalisatie' uitgevoerd om na te gaan in hoeverre dit een verbetering geeft in de grootte van de range van waarden ten opzichte van de huidige range. De 'normalisatie' is als volgt uitgevoerd voor alle VOS maatregelen. Iedere individuele waargenomen waarde is gedeeld door de factor B^{-0,46}. Vervolgens is de resulterende range nagegaan van waarden. Het blijkt, dat de verhouding tussen de hoogste en laagste waarde na deze 'normalisatie' nog steeds groot is, namelijk een factor van circa 23. In de huidige situatie, dit wil zeggen vóór 'normalisatie' is deze factor circa 35 (hoogste waarde van 27,8 en laagste waarde van 0,8).

Geconcludeerd wordt, dat 'normalisatie' op basis van 'curve-fitting' niet tot een duidelijke verbetering leidt in de range van waarden voor de kosteneffectiviteit. Voorgesteld wordt dan ook om de resultaten van deze benadering niet verder toe te passen bij het bepalen van de bovengrens.

4.7.3 Classificering

Bij deze aanpak is het uitgangspunt het indelen van de waargenomen kosteneffectiviteiten in diverse klassen van belasting. Per klasse kan vervolgens een referentiekader worden vastgesteld.

Een dergelijke klasse-indeling voor VOS zou kunnen worden gebaseerd op de indeling, die in KWS 2000 wordt gehanteerd voor puntbronnen in de chemische industrie. Het betreft dan de maatregelen CH3, CH4, CH5 en CH6 [KWS 2000, 1994]. Deze maatregelen omvatten nageschakelde technieken voor diverse categorieën van afgassen:

- * CH3 : concentratie VOS hoger dan 0,05 gew. % (circa 6,5 g/m³)
- * CH4 : concentratie VOS tussen 0,05 en 0,5 gew. % (circa 0,65 tot 6,5 g/m³)
- * CH5 : concentratie VOS tussen 0,005 en 0,05 gew. % (circa 0,065 tot 0,65 g/m³) en een debiet tussen 50.000 en 200.000 m³/uur
- * CH6 : concentratie VOS tussen 0,005 en 0,05 gew. % (circa 0,065 tot 0,65 g/m³) en een debiet groter dan 200.000 m³/uur

Deze klassen zijn niet zonder meer in een belasting (kg/jaar) te vertalen, omdat de emissieduur kan verschillen en bij maatregel CH3 en CH4 geen debiet wordt gegeven. Uitgaande van 6000 uur/jaar kan voor maatregel CH5 en CH6 de belasting als volgt worden berekend:

- * CH5 : minimaal (0,065*50.000*6000*0,001=) 19.500 kg/jaar
maximaal 780.000 kg/jaar
- * CH6 : groter dan respectievelijk 78.000 kg/jaar of 780.000 kg/jaar

Omdat deze indeling uitgaat van concentraties en niet van belasting (of emissie) in kg/jaar is deze niet goed bruikbaar voor een indeling in klassen met verschillende belas-

ting, zoals in deze studie wordt voorgesteld. Dit betekent, dat de indeling in deze studie op een andere wijze plaatsvindt dan bij KWS 2000.

Op basis van de figuren 1 en 2 van bijlage 7 en de resultaten van de ‘curve-fitting’ kan dan bijvoorbeeld worden gekozen voor twee of drie klassen.

In tabel 10 is een mogelijke klasse-indeling opgenomen.

Tabel 10 Mogelijke klasse-indeling alle VOS (20 waarden)

Klasse	Belasting (kg/jaar)	Aantal waarden	Kosteneffectiviteit (f/kg)	Gemiddelde ¹⁾ kosteneffectiviteit per klasse (f/kg)
1	onder 200.000	10	2,14 - 27,76	8,53
2	200.000 - 400.000	6	2,00 - 17,95	7,33
3	boven 400.000	4	0,80 - 2,55	1,53

¹⁾ Rekenkundig gemiddelde.

Uit tabel 10 blijkt, dat de ‘stratificatie’ inderdaad tot gevolg heeft, dat er klassen ontstaan met een verschillende en kleinere range in waarden dan in de situatie, dat alle waarden gezamenlijk worden beschouwd.

Een alternatief is de indeling in twee klassen, omdat de verschillen tussen de bovengenoemde klassen 1 en 2 gering zijn. Op deze wijze ontstaan de volgende klassen:

- * klasse I:
(tot 200.000 kg/jaar): gemiddelde van 8,53 f/kg
(range 2,14 - 27,76 f/kg)
- * klasse II:
(groter dan 200.000 kg/jaar) gemiddelde van 5,0 f/kg
(range 0,80 - 17,95 f/kg)

Een tweede alternatieve indeling is:

- * klasse I:
(tot 400.000 kg/jaar): gemiddelde van 8,19 f/kg
(range 1,30 - 27,76 f/kg)
- * klasse II:
(groter dan 400.000 kg/jaar) gemiddelde van 1,51 f/kg
(range 0,80 - 2,55 f/kg)

Een probleem bij alle mogelijke klassenindelingen is, dat in de klassen met de grote belastingen onvoldoende waarden beschikbaar zijn voor een betrouwbare conclusie over het referentiekader.

4.7.4 Conclusies

Ten aanzien van normalisering en classificering van de referentiewaarden kan het volgende worden geconcludeerd:

- toepassen van een mathematische normalisatie geeft geen duidelijke verbetering ten opzichte van de niet-genormaliseerde situatie. De belangrijkste reden daarvan is dat de correlatie tussen de belasting en de waargenomen kosteneffectiviteit is niet toereikend voor een éénduidig bruikbaar verband;
- toepassen van een classificering leidt in het geval van maatregelen voor VOS mogelijk wel tot een verbetering van de bruikbaarheid van het referentiekader. Hierbij ontstaat wel het probleem, dat er voor VOS onvoldoende referentiewaarden beschikbaar zijn in het gebied van hoge belastingen (globaal boven 400.000 kg/jaar);
- classificeren is mogelijk niet wenselijk, aangezien van bedrijven met een grote ongereinigde emissie een relatief geringere inspanning wordt verwacht dan van bedrijven met een kleine ongereinigde emissie. Daarnaast sluit het classificeren niet aan bij bestaande regelgeving.

4.8 Vaststellen bovengrens referentiekader

4.8.1 Algemeen

In de inleiding (§ 1.1) staat beschreven, op welke wijze te nemen maatregelen worden getoetst aan een referentiekader van reeds gerealiseerde milieumaatregelen. Het doel van de inventarisatie, welke hier beschreven wordt, is het vaststellen van een bovengrens van dit referentiekader voor *end-of-pipe* technologieën voor reductie van VOS, stof, NO_x en SO₂-emissies. Op basis van de inventarisatie dienen dus uitspraken te worden gedaan over welke kosteneffectiviteit als gangbaar kan worden beschouwd.

Probleem bij het vaststellen van deze bovengrens is, dat een zekere spreiding in de kosteneffectiviteit wordt gevonden. Voor de componenten VOS en stof is deze spreiding vrij groot; voor NO_x en SO₂ blijkt de spreiding wat minder te zijn.

Er zijn twee manieren, waarop met deze spreiding kan worden omgegaan:

- zo kan men er vanuit gaan, dat de kosteneffectiviteit van milieumaatregelen een natuurlijke spreiding vertoont, en dat op basis hiervan in een zeker percentage van de gevallen een installatie met een relatief te ongunstige kosteneffectiviteit is gerealiseerd. Op basis van deze redenering kan vervolgens bijvoorbeeld de 20% meest ongunstige installaties buiten beschouwing worden gelaten.
- een alternatief is, dat voor het vaststellen van de bovengrens als uitgangspunt wordt genomen, dat elk voorbeeld van een gerealiseerde installatie als gangbaar kan worden beschouwd (en dus ook de minst kosteneffectieve daarvan), tenzij op grond van speciale omstandigheden dat ene voorbeeld niet gebruikt kan worden. Deze benadering sluit aan bij de definitie van 'stand der techniek' in de NeR [NeR, 1992, hoofdstuk T1.3.2]:

'Voorzieningen en de daarbij behorende emissie-eisen die elders technisch en economisch haalbaar zijn gebleken, moeten als stand der techniek worden beschouwd'

Dit houdt dus in, dat de hoogste waarde van de kosteneffectiviteit, welke is verkregen bij de inventarisatie, in principe als bovengrens geldt, tenzij de beslissing om die specifieke installatie te realiseren is genomen op grond van zeer specifieke overwegingen.

Door de begeleidingscommissie is gekozen voor deze tweede mogelijkheid.

Voordat de bovengrens op basis van dit principe kan worden nagegaan, dienen nog twee aspecten te worden afgewogen:

- is classificeren wenselijk (zie ook § 4.7). Indien dit het geval is, dan dient voor iedere belastingklasse een bovengrens in het referentiekader te worden vastgesteld;
- is voldoende informatie verzameld om uitspraken te kunnen doen. Is de onderzochte verzameling technieken voldoende representatief, om als referentie te kunnen dienen voor alle technieken die in de nabije toekomst geïmplementeerd dienen te worden.

Op basis van de verzamelde informatie is door de begeleidingscommissie nagegaan of voldoende informatie verzameld is om een bovengrens van het referentiekader te kunnen bepalen, en zo ja, welke.

Hieronder worden de conclusies nader beschreven.

4.8.2 VOS

Stratificeren: *nee*¹⁾

Voldoende informatie: *nee*

Alhoewel voor VOS voldoende installaties zijn onderzocht, worden nog geen uitspraken gedaan over een bovengrens van het referentiekader. De reden hiervoor is, dat een aantal andere maatregelen, die niet in dit onderzoek zijn betrokken, maar die wel gelden als stand der techniek (bijvoorbeeld 'zekere maatregelen' binnen KWS-2000) duurder zijn. De groep onderzochte installaties is niet voldoende representatief.

Vaststellen bovengrens: *xx gulden per kg*

In de tabellen 1A en 1B wordt een overzicht gegeven van de verzamelde kosteneffectiviteiten. In bijlage 2 wordt voor de gevallen met een hoge kosteneffectiviteit (boven 10 gulden per kg) beschreven, om welke reden zo'n ongunstige maatregel toch geïmplementeerd is. Uit de bijlage kan worden geconcludeerd dat de meeste waarden boven 10 gulden per kilogram als uitzonderlijk dienen te worden beschouwd en wel om één of meerdere van de volgende redenen:

- emissiereductie gewenst, omdat een deel van de geëmitteerde VOS gechloreerd is;
- emissiereductie gewenst, omdat emissie van VOS klachten over geuroverlast veroorzaakte;
- emissiereductie gerealiseerd, doordat van groepen buitenaf sterke druk werd uitgeoefend (veelal ook omdat het gechloreerde emissies betrof).

¹⁾ Opgemerkt dient te worden dat de bovengrens van het referentiekader vooral wordt bepaald door de relatief wat kleinere installaties. Voor grote installaties dient deze grens met de nodige omzichtigheid te worden gebruikt.

Kosteneffectiviteit van milieumaatregelen in de industrie - Vaststellen van het referentiekader - Eindrapport

4.8.3 Stof

Stratificeren: *nee*¹⁾

Voldoende informatie: *nee*

In de inventarisatie zijn, op één uitzondering na, alleen maar doekfilters beschouwd. Er is veel moeite gedaan om ook gegevens over andere technieken te verkrijgen, maar doordat de vereiste informatie ontbrak is dit niet gelukt. De groep van onderzochte technieken is dus niet voldoende representatief.

Vaststellen bovengrens: *xx gulden per kg*

In de tabellen 2A en 2B wordt een overzicht gegeven van de verzamelde kosteneffectiviteiten. In bijlage 2 wordt voor de twee meest ongunstige gevallen beschreven, om welke reden zo'n ongunstige maatregel toch geïmplementeerd is.

4.8.4 SO₂

Stratificeren: *nee*¹⁾

Voldoende informatie: *nee*

Er zijn in Nederland te weinig industriële installaties voor SO₂-emissiereductie gerealiseerd om een voldoende onderbouwde bovengrens te kunnen vaststellen.

Vaststellen bovengrens: *xx gulden per kg*

In de tabellen 3A en 3B wordt een overzicht gegeven van de verzamelde kosteneffectiviteiten. Daarnaast wordt in tabel 6 een overzicht gegeven van kosteneffectiviteiten van SO₂-emissiereductie, welke elders gerapporteerd zijn. Dit betreft meerdere installaties bij elektriciteitscentrales, die qua werkingsprincipe vergelijkbaar zijn met industriële installaties, maar vaak een veel grotere capaciteit hebben. In bijlage 2 wordt voor de meest ongunstige waarden een nadere toelichting gegeven.

¹⁾ Opgemerkt dient te worden dat de bovengrens van het referentiekader vooral wordt bepaald door de relatief wat kleinere installaties. Voor grote installaties dient deze grens met de nodige omzichtigheid te worden betracht.

4.8.5 NO_x

Stratificeren: *nee*¹⁾

Voldoende informatie: *ja*

Vaststellen bovengrens: *10 gulden per kg*

In de tabellen 4A en 4B wordt een overzicht gegeven van de verzamelde kosteneffectiviteiten. Daarnaast wordt in tabel 5 een overzicht gegeven van kosteneffectiviteiten van NO_x-emissiereductie, welke elders gerapporteerd zijn. Dit betreft voor een deel niet-industriële toepassingen.

In bijlage 2 wordt voor de meest ongunstige waarden een nadere toelichting gegeven.

¹⁾ Opgemerkt dient te worden dat de bovengrens van het referentiekader vooral wordt bepaald door de relatief wat kleinere installaties. Voor grote installaties dient deze grens met de nodige omzichtigheid te worden betracht.

5 Conclusies inventarisatie

1. Uit de inventarisatie van maatregelen is gebleken, dat de volgende aspecten van de methodiek sterk bepalend zijn voor de berekende kosteneffectiviteit:
 - buiten beschouwing laten van subsidies en schadevergoedingen;
 - gebruik van de ontwerpbelasting en niet van de actuele belasting;
 - uitgaan van de werkelijke situatie ten aanzien van hergebruik van een reststof.
2. De onnauwkeurigheid van de berekende kosteneffectiviteit wordt geschat op maximaal 30%. Deze onnauwkeurigheid wordt vooral bepaald door een onnauwkeurigheid in de ongereinigde last en in de investeringskosten.
3. Een opslagpercentage is niet goed vast te stellen voor voorbereidende werkzaamheden, engineering en bouw- en montagetoezicht. Voor de volgende aspecten is gebruik van een standaard percentage beter uitvoerbaar. Overigens is het altijd aan te bevelen deze kosten zo goed mogelijk te ramen en alleen indien dit niet mogelijk is (bij voorbeeld in het voortraject van een maatregel) dergelijke percentages te hanteren:
 - de kosten van bijkomende (of toegerekende) kosten vormen circa 30% tot 230% van de kosten van de 'basis' milieuvoorziening. Dit percentage hangt sterk af van de specifieke situatie. Eventueel kunnen 'standaard' percentages worden gebruikt, uitgaande van 'representatieve' situaties. Hiervoor zijn enkele mogelijkheden aangegeven;
 - de totale vaste operationele kosten (onderhoud, bediening, emissiemetingen, en dergelijke) bedragen circa 3 tot 5% van de totale investeringskosten. Dit is mogelijk als standaardpercentage bruikbaar in de methodiek.
4. De kosteneffectiviteit wordt gunstiger naarmate de belasting van de installatie toeneemt. Voor VOS is een exponentieel verband vastgesteld, met een significante correlatiecoëfficiënt. Op basis daarvan is een normalisatie uitgevoerd. Dit geeft echter geen duidelijke verbetering ten opzichte van de niet-genormaliseerde situatie.
5. Classificering van de gevonden kosteneffectiviteitswaarden leidt mogelijk tot een verbetering van de bruikbaarheid van het referentiekader. Voor VOS is vastgesteld, dat het mogelijk is om klassen te verkrijgen met een kleinere spreiding in waarden en een afwijkende grootte van hoogste en laagste waarden van de resulterende klassen ten opzichte van de situatie zonder classificering. Het probleem hierbij is, dat er onvoldoende waarden beschikbaar zijn in het gebied van hoge belastingen. Classificeren is echter mogelijk niet wenselijk, aangezien van bedrijven met een grote ongereinigde emissie een relatief geringere inspanning wordt verwacht dan van bedrijven met een kleine ongereinigde emissie. Daarnaast sluit het classificeren niet aan bij bestaande regelgeving.
6. De kosteneffectiviteit van installaties voor emissiereductie van VOS varieert tussen 80 cent per kg en ongeveer 28 gulden per kg. Echter voor alle installaties boven 10 gulden per kg bleken er hele specifieke redenen te zijn, dat een maatregel toch werd genomen. In de meeste gevallen betrof het gechloreerde verbindingen, waarvan de emissie door druk uit de omgeving diende te worden gereduceerd. Omdat andere technieken, die wel behoren tot de stand-der-techniek, mogelijk een ongunstiger kosteneffectiviteit hebben, is voor VOS nog geen referentiekader vastgesteld.
7. De kosteneffectiviteit van installaties voor emissiereductie van stof varieert tussen 0,00 gulden per kg en 70 gulden per kg. Ook hier zijn bij de installaties met een ongunstige kosteneffectiviteit (hoger dan 10 gulden per kg) specifieke re-

denen aan te wijzen waarom een bepaalde maatregel toch is geïmplementeerd. Omdat de onderzochte groep installaties, op één elektrofilter na, allemaal doekfilters betreft, zijn de gegevens niet representatief genoeg om een referentiekader te kunnen vaststellen. Daarnaast is het aantal installaties, waarvoor de vereiste gegevens beschikbaar zijn, te gering.

8. De kosteneffectiviteit van installaties voor emissiereductie van NO_x varieert tussen de 0,5 en 10 gulden per kg. Als bovengrens van het referentiekader wordt een waarde van 10 gulden per kg voorgesteld.
9. De kosteneffectiviteit van industriële installaties voor emissiereductie van SO_2 varieert tussen 0,7 en 5 gulden per kg. Het aantal installaties is echter te klein om een referentiekader te kunnen vaststellen.
10. Gezien de selectie van de geïnventariseerde milieumaatregelen, is het referentiekader alleen geldig voor:
 - specifieke stofklassen;
 - specifieke maatregelen (hier nageschakelde technieken);
 - specifieke doelgroep (hier: industrie).

6 Referenties

- [1] Bakker, S.B.:
1992, *Ontzwapelings- en DeNO_x-technieken*, Dienst Milieu en Water, Provincie Noord-Holland.
- [2] DACE:
1993, *DACE-Prijzenboekje*, Dutch Association of Cost Engineers, Leidschendam.
- [3] DHV:
1993, *Onderzoek emissiebeperkende technieken bij puntbronnen met lage VOS-concentraties, deel 3: Milieu-effecten van de betreffende technieken*. DHV Milieu- en Infrastructuur, Amersfoort, dossiernr. G1270-82-01.
- [4] ECE (Economic Commission for Europe):
April 1992, *NO_x Task Force*.
- [5] KEMA, EPZ en SEP:
mei 1993, *Demonstratieprogramma Katalytische LUVO bij de Eenheid-6 van de Maascentrale in Buggenum*.
- [6] KWS 2000:
1992, *Strategie 1992-2000*, Ministerie van VROM.
- [7] NeR:
1992, *Nederlandse Emissie Richtlijnen*, Stafbureau NeR, RIVM, Bilthoven, ISBN 90-6960-023-4.
- [8] Novem:
november 1991, *Meetprogramma 65 MW_e DeNO_x demonstratieproject*, EPON Gelderland 12, november 1991, opgesteld door KEMA, EPON en Hoogovens ESTS (ref.nr. KEMA 63188-WPB 91-1122).
- [9] Novem:
februari 1992, *Demonstratieproject rookgasontzwapelingsinstallatie Amercentrale, eenheid 8*, opgesteld door EPZ, KEMA en ESTS.
- [10] Novem:
november 1993, *Evaluatierapport NO_x demonstratieprojecten bestaande gasturbines*, Comprimo, proj.nr. 61211.
- [11] Novem:
1994, *Reductie van de NO_x-emissie van gasmotoren, inclusief het vervolgrapport*, S&D De Melker, Margraten.

- [12] Oonk J., Jol A.,
1995, *Kosteneffectiviteit van milieumaatregelen: beschrijving van de methodiek*,
TNO-ME, Apeldoorn in samenwerking met DHV-MI, Amersfoort, TNO-
rapport 94-364.
- [13] Senter:
oktober 1993, *Demonstratieprogramma NO_x-arme stookinstallaties*, Senter.
- [14] TAUW Infraconsult:
1992, *Nageschakelde technieken voor de beperking van VOS-emissies via
puntbronnen*, Onderzoeksprojecten in het kader van KWS 2000, Projectbureau
KWS 2000, Den Haag.
- [15] Tebodin:
1990, *Bestrijdings-mogelijkheden van verzurende procesemissies in Nederland*,
Publikatierreeks Lucht nr. 101.

Kosteneffectiviteit van milieumaatregelen in de industrie - Vaststellen van het referentiekader - Eindrapport

7 Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever

Ministerie van VROM

Afdeling bedrijven

t.a.v. Ing. L. de Jonge

Namen en functies van de medewerkers

Ir. A. Jol (DHV-MI)

Ir. H. Duesmann (DHV-MI)

Ir. J. Oonk (TNO-ME)

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed

DHV Milieu en Infrastructuur

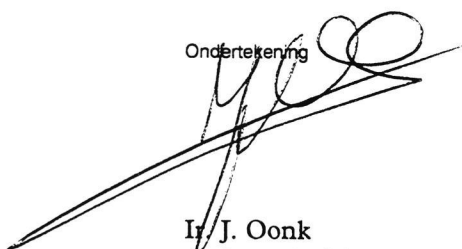
Postbus 1076

3800 BB Amersfoort

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad

december 1993 - januari 1995

Ondertekening



Ir. J. Oonk
onderzoekleider

Goedgekeurd door



Ir. J.I. Walpot
werkgroespleider

Bijlage 1 Uitgangspunten berekening operationele kosten, als gehanteerd bij de bedrijfsbezoeken

Uitgangspunten voor berekening van de operationele kosten (prijzen in f 1992/1993, exclusief BTW)

Te hanteren tarieven voor energie, grondstoffen en dergelijke (prijzen voor 1993).
Basis: DACE 1992 (prijspeil 3e kwartaal 1992) en energiedistributiebedrijf (REMU, 1993), indien niet anders aangegeven.

Aardgas

– verbruik tot 170.000 m ³ /jr	0,48 f/m ³
– verbruik van 170.000 - 1.000.000 m ³ /jr	0,21 f/m ³
– verbruik van 1.000.000 - 10.000.000 m ³ /jr	0,18 f/m ³
– verbruik van 10.000.000 - 50.000.000 m ³ /jr	0,17 f/m ³

Elektriciteit

– Bedrijfstijd < 1000 uur/jaar	0,20 f/kWh
– Bedrijfstijd 1000 - 2000 uur/jaar	0,16 f/kWh
– Bedrijfstijd 2000 - 4000 uur/jaar	0,10 f/kWh
– Bedrijfstijd > 4000 uur/jaar	0,09 f/kWh

Opmerkingen:

- Bedrijfstijd in dit kader: quotiënt van jaarverbruik (kWh) en pieklast (kW)) prijzen inclusief brandstof toeslag en op basis van middenspanningsnet, voor grootverbruikers) uitgaande van daguren, afgerond op 2 cijfers).
- indien elektriciteit intern binnen het bedrijf wordt opgewekt, wordt bij de berekening niet met deze (veelal lagere) prijs gerekend, maar met de marktprijs.

Zware stookolie	310 f/ton
Perslucht (6-7 bar)	0,06 f/m ³
Stoom	35,00/ton
Koelwater, onbehandeld	0,10 f/m ³
Proceswater, onthard	1,00 f/m ³
Warmtelevering (als warm water)	17,00 f/GJ
Arbeid (bediening en onderhoud)	80,00 f/uur ¹⁾
Restwaarde teruggewonnen VOS	
Onzuiver mengsel	00,00 f/kg ¹⁾
Zuiver (1 of 2 componenten ²⁾)	0,50 f/kg ¹⁾
Verzekering, administratie	1% van investeringen (apparatuur) ¹⁾
Vervuild water	80 f/VE ¹⁾
Ammoniak	250 tot 400 f/kg

¹⁾ Uitgangspunt DHV.

²⁾ Indien onbekend.

Kosteneffectiviteit van milieumaatregelen in de industrie - Vaststellen van het referentiekader - Eindrapport

<i>Case:</i>	<i>bedr. nr. 008</i>
<i>Emissiebeperkende installatie:</i>	<i>Biotrickling filter</i>
<i>Kosteneffectiviteit:</i>	<i>f 19,3/kg</i>

Bijzonderheden ten aanzien van de kosten

De investeringkosten zijn in belangrijke mate bepaald door de noodzakelijke bijkomende werkzaamheden, bestaande uit onder meer het aansluiten van diverse emissiepunten op de reinigingstechniek en diverse bouwkundige aanpassingen (bijvoorbeeld de dakconstructie). De totale aanschafprijs van dit systeem bedroeg Mf 0,4. De toegerekende investeringen bedroegen Mf 0,825 of ca. 200% van de aanschafprijs. Deze kosten zouden bij keuze voor een andere afgasreinigingstechniek gelijk zijn.

De totale jaarlijkse kosten bestaan voor ca. 80% uit kapitaalskosten, zodat de hoogte van de investeringskosten in belangrijke mate de kosteneffectiviteit bepaalt.

Bijzonderheden ten aanzien van de effecten

De bereikte emissiereductie (13.100 kg/jaar) is relatief laag, vanwege het geringe afgasdebiet (1800 m³/uur) en de geringe concentratie (0,87 g/m³). De afvangst is gebaseerd op metingen (pilot test gedurende ca. 1 jaar). Dit lijkt een betrouwbare schatting. Mogelijk is de feitelijke afvangst echter anders. Dit zal blijken in de periode na opstart. De opstart vindt plaats in week 49/50 (1994). De emissie diende voornamelijk uit het oogpunt van geuroverlast te worden beperkt.

Technische bijzonderheden

De installatie vormt de eerste biotrickling filterinstallatie, die in Nederland op praktisch schaal is geplaatst. Mogelijk zijn de investeringskosten van de volgende door de leverancier te plaatsen installaties lager.

Overige bijzonderheden

Geuroverlast in de omgeving.

<i>Case:</i>	<i>bedr. nr. 001</i>
<i>Emissiebeperkende installatie:</i>	<i>Naverbrander met nageschakelde gaswassers (en afvalwaterbehandeling)</i>
<i>Kosteneffectiviteit:</i>	<i>f 17,9/kg</i>

Bijzonderheden ten aanzien van de kosten

De investeringkosten zijn in belangrijke mate bepaald door de noodzakelijke bijkomende werkzaamheden, bestaande uit onder meer leidingwerk, elektrotechnische voorzieningen, instrumentatie, bouwkundige voorzieningen, engineering, begeleiding van montage en opstart, (de)montage, diverse studies. De totale aanschafprijs van dit systeem bedroeg Mf 10,6. De toegerekende investeringen bedroegen Mf 23,1 of ca. 220% van de aanschafprijs.

De totale jaarlijkse kosten bestaan voor ca. 85% uit kapitaalskosten, zodat de hoogte van de investeringskosten in belangrijke mate de kosteneffectiviteit bepaalt.

Kosteneffectiviteit van milieumaatregelen in de industrie - Vaststellen van het referentiekader - Eindrapport

De verkregen subsidie (Mf 11) heeft daarnaast een belangrijke invloed op de kosteneffectiviteit. De subsidie is echter conform de methodiek niet meegenomen in de berekening.

Bijzonderheden ten aanzien van de effecten

De installatie is ontworpen voor de verwijdering van afgassen en daarnaast van vloeibare reststoffen. Tot nu toe zijn echter uitsluitend afgassen behandeld. De afgevangen hoeveelheid (ca. 360 ton/jaar VOS-Cl) zou in toekomst hoger kunnen zijn door verbranding van vloeibare reststoffen.

Technische bijzonderheden

In de installatie dienen VOS-Cl te worden behandeld. Hierdoor zijn diverse extra maatregelen nodig, zoals anti-corrosie maatregelen, afvangst van HCl en dioxinen, verwijdering van diverse stoffen uit het afvalwater (via een actieve-kool filter). Het geproduceerde HCl is desondanks door de resterende verontreinigingen niet extern toepasbaar (geen externe restwaarde).

Overige bijzonderheden

Het bedrijf diende met name de emissie van VOS-Cl te reduceren, mede onder invloed van actiegroepen. Het feit, dat er subsidie is verleend, geeft aan dat het om een voorziening gaat, die als 'bovennormaal' is te beschouwen. Men moest op relatief korte termijn een betrouwbare techniek met een hoog verwijderingsrendement en gegarandeerd lage restemissie plaatsen, waarbij de kosten in feite een secundaire rol speelden.

Case: *bedr. nr. 019*

Emissiebeperkende installatie: *Actieve-kool installatie
(met terugwinning van trichlooretheen)*

Kosteneffectiviteit: *f 14,2/kg*

Bijzonderheden ten aanzien van de kosten

De investeringskosten zijn in belangrijke mate bepaald door de noodzakelijke bijkomende werkzaamheden, bestaande uit onder meer procesaanpassingen (wijziging en tevens omkasting van het gehele productieproces, conditioneren van de lucht toegevoerd aan de omkasting), leidingwerk, elektrotechnische voorzieningen, instrumentatie, overige bouwkundige voorzieningen (staalconstructies), engineering, begeleiding van montage en opstart, diverse studies. De totale aanschafprijs van dit systeem bedroeg Mf 7,0. De toegerekende investeringen bedroegen Mf 14,9 of ca. 210% van de aanschafprijs.

De totale jaarlijkse kosten bestaan voor meer dan 90% uit kapitaalskosten, zodat de hoogte van de investeringskosten in belangrijke mate de kosteneffectiviteit bepaalt.

De verkregen schadevergoeding (Wet Luchtverontreiniging) van Mf 8,6 heeft daarnaast een belangrijke invloed op de kosteneffectiviteit. Deze schadevergoeding is echter conform de methodiek niet meegenomen in de berekening.

Tenslotte wordt nog opgemerkt, dat naast beperking van emissie naar de lucht tevens diverse maatregelen voor beperking van emissies via afvalwater zijn genomen. De kosten van deze maatregelen zijn zo goed mogelijk gescheiden van de kosten voor de afgasbehandeling en zijn niet meegenomen in de berekeningen.

*Kosteneffectiviteit van milieumaatregelen in de industrie - Vaststellen van het referentiekader - Eindrapport**Bijzonderheden ten aanzien van de effecten*

De afgevangen hoeveelheid (270 ton trichlooretheen/jaar) is goed bekend op basis van massabalansberekeningen. Bovendien wordt de belasting regelmatig en de rest-emissie continu gemeten.

Technische bijzonderheden

In de installatie dient trichlooretheen te worden behandeld. Hierdoor was een speciale uitvoeringsvorm van de actieve-kool installatie nodig, waarbij de verblijftijd zo laag mogelijk moet zijn om ontleding van tri in HCl te voorkomen. De vereiste bedrijfszekerheid van de installatie bepaalde in belangrijke mate de keuze en de uitvoering.

Overige bijzonderheden

Het bedrijf diende de emissie van trichlooretheen te reduceren. Het feit, dat er schadevergoeding is verleend, geeft aan dat het om een voorziening gaat, die als 'boven-normaal' is te beschouwen. Men moest op relatief korte termijn een betrouwbare techniek met een hoog verwijderingsrendement en gegarandeerd lage restemissie plaatsen, waarbij de kosten in feite een secundaire rol speelden.

Case: *bedr. nr. 013*

Emissiebeperkende installatie: *Cryocondensatie
(met nageschakelde zeolietadsorber)*

Kosteneffectiviteit: *f 8,7/kg*

Bijzonderheden ten aanzien van de kosten

De investeringkosten zijn voor een deel bepaald door de noodzakelijke bijkomende werkzaamheden, bestaande uit leidingwerk, instrumentatie, elektrotechnische voorzieningen, montage, bouwkundige voorzieningen en engineering. De totale aanschafprijs van dit systeem bedroeg Mf 1,26. De kosten van de toegerekende investeringen bedroegen Mf 1,18 of bijna 100% van de aanschafprijs.

De totale jaarlijkse kosten bestaan voor 80% uit kapitaalskosten (uitgaande van de totale stikstofkosten), zodat de hoogte van de investeringskosten in belangrijke mate de kosteneffectiviteit bepaalt.

Bijzonderheden ten aanzien van de effecten

De emissiereductie, die sinds 1993 wordt bereikt is ca. 5 ton per jaar. Op het moment van definitie van het ontwerp was de verwachte emissiereductie ca. 50 ton per jaar. Terwijl de installatie werd ontwikkeld en gebouwd, werd de emissie door diverse procesgeïntegreerde maatregelen reeds tot ca. 5 ton/jaar teruggebracht. De installatie is daarmee overgedimensioneerd. Bij de berekening van de kosteneffectiviteit is hiermee rekening gehouden door uit te gaan van een afvangst van 50 ton/jaar.

Technische bijzonderheden

De installatie is voorzien van een nageschakelde zeolietadsorber om zeer lage emissiegrenswaarden (conform NeR) te kunnen bereiken.

Overige bijzonderheden

Het bedrijf diende de emissie van VOS, met name gechloroerde stoffen, te reduceren. Men moest een betrouwbare techniek met een hoog verwijderingsrendement en gegarandeerd lage restemissie plaatsen, waarbij de kosten in feite een secundaire rol speelden.

2 Stof

Case: *bedr. nr. 025D en 025E*

Emissiebeperkende installatie: *Doekfilter en elektrofilter*

Kosteneffectiviteit:

<i>- doekfilter (glasstof)</i>	<i>f 77,3/kg</i>
<i>- elektrofilter (loodstof)</i>	<i>f 67,2/kg</i>

Bijzonderheden ten aanzien van de kosten

De investeringskosten voor het doekfilter zijn relatief hoog (Mf 0,63) voor een relatief klein debiet (14.000 m³/uur), terwijl de toegerekende investeringen eveneens hoog zijn (Mf 0,52). Onduidelijk is waardoor deze hoge investeringskosten zijn veroorzaakt. Waarschijnlijk betreft het niet eenvoudig af te vangen stof (glasproduktie). De afgevangen reststoffen kunnen niet worden hergebruikt, zodat dit een verhoging van de operationele kosten betekent.

Voor het elektrofilter zijn de investeringskosten eveneens hoog (Mf 2,2 voor de aanschaffingsprijs en Mf 1,2 voor de toegerekende investeringen bij een nog kleiner debiet dan bij situatie 25D). Het gaat hierbij om loodstof, waarvoor een strengere emissie (klasse C1) geldt dan voor stof van klasse S (bij het doekfilter). Hierdoor zullen de investeringskosten hoog zijn. Ook hier geldt, dat de afgevangen reststoffen niet kunnen worden hergebruikt, zodat dit een verhoging van de operationele kosten betekent.

Bijzonderheden ten aanzien van de effecten

De emissiereductie door het doekfilter, die wordt aangenomen is ca. 3000 kg/jaar. Dit is een geringe reductie, die wordt veroorzaakt door de geringe concentratie in het afgas van 0,11 g/m³. Voor het elektrofilter geldt eveneens een lage emissiereductie (9360 kg/jaar), veroorzaakt door het geringe debiet (1400 m³/uur) en de geringe concentratie (0,89 g/m³). Daarnaast is dit filter overgedimensioneerd, maar het is niet bekend in welke mate. In de toekomst kunnen nog andere emissiebronnen worden aangesloten. Dit betekent, dat de resultaten van de berekening van de kosteneffectiviteit (installatie 25E) niet bruikbaar zijn in deze studie.

Overige bijzonderheden

Voor de produktie van glas geldt een Bijzonder Regeling (NeR, 3.5/32.2, december 1993). Conform deze regeling zullen bestrijdingsmaatregelen gefaseerd moeten worden ingevoerd voor stof, zware metalen, SO₂, HCl, HF, NO_x. Per oven moet een plan van aanpak worden opgesteld om via nageschakelde of procesgeïntegreerde maatregelen voor het jaar 2003 tot emissiereductie te komen.

Kosteneffectiviteit van milieumaatregelen in de industrie - Vaststellen van het referentiekader - Eindrapport

Case: *bedr. nr. 022*

Emissiebeperkende installatie: *Doekfilter*

Kosteneffectiviteit: *f 30,5/kg*

Bijzonderheden ten aanzien van de kosten

De investeringskosten voor het doekfilter zijn niet hoog (f 46.000) voor het relatief klein debiet (5.760 m³/uur). Ook de operationele kosten zijn niet buitengewoon hoog.

Bijzonderheden ten aanzien van de effecten

De emissiereductie door het doekfilter, die wordt aangenomen is ca. 1000 kg/jaar. Dit is een zeer geringe reductie, die wordt veroorzaakt door de geringe concentratie in het afgas van 0,24 g/m³ en een zeer geringe bedrijfstijd (730 uur/jaar). Het af te vangen stof valt in de klasse C1, vanwege het voorkomen van diverse metalen (pigment). Hierdoor dient een lage emissiegrenswaarde te worden bereikt.

Case: *bedr. nr. 041*

Emissiebeperkende installatie: *Doekfilter*

Kosteneffectiviteit: *f 11,3/kg*

Bijzonderheden ten aanzien van de kosten

De investeringskosten van de installatie zijn niet buitengewoon hoog (f 110.000) voor het betreffende debiet (10.000 m³/uur). Ook de operationele kosten zijn niet buitengewoon hoog.

Bijzonderheden ten aanzien van de effecten

De emissiereductie door het doekfilter, die wordt aangenomen is ca. 5.100 kg/jaar. Dit is een zeer geringe reductie, die wordt veroorzaakt door de zeer geringe concentratie in het afgas van 0,09 g/m³.

3 NO_x¹⁾

Case: *Gasturbines W/K installatie (G4)*

Emissiebeperkende installatie: *Stoominjectie*

Kosteneffectiviteit: *f 9,4/kg*

Bijzonderheden ten aanzien van de kosten

De investeringkosten zijn in belangrijke mate bepaald door de bijkomende kosten. De kosten van aanpassing van de gasturbine, procesbesturing en het stoominjectiesysteem (inclusief montage) bedroegen f 1,3 miljoen. Alle bijkomende kosten bedroegen f 0,7 miljoen (leidingen, montage, isolatie, engineering, NO_x-meting). De totale specifieke investering per kWe geïnstalleerd is ca. f 100/kWe. Voor de overige (6) systemen [Novem, 1993] is dit respectievelijk (f/kWe): 35, 36, 48, 60, 70, 148. De investering voor project G4 is dus relatief hoog.

De totale jaarlijkse kosten bestaan voor het grootste deel uit kapitaalkosten, zodat de hoogte van de investeringskosten in belangrijke mate de kosteneffectiviteit bepaalt.

Bijzonderheden ten aanzien van de effecten

De emissiereductie bedraagt 184.000 kg/jaar. De belasting is 424.000 kg/jaar, zodat het verwijderingsrendement 43% is. Dit rendement is bij de overige (6) systemen sterk verschillend in is respectievelijk (in%): 35, 41, 52, 57, 70, 75. Dit betekent, dat het verwijderingsrendement bij project G4 relatief laag is, terwijl tevens de emissiereductie in absolute zin (kg/jaar) relatief gering is. Dit laatste kan worden veroorzaakt, doordat er sprake is van een recente W/K installatie (1991). Het is bekend [Novem, 1993], dat de 'onbehandelde' NO_x-emissie het hoogste is bij de oudere gasturbines.

Case: *Bedr. nr. 34*

Emissiebeperkende installatie: *SCR*

Kosteneffectiviteit: *f 8,9/kg*

Bijzonderheden ten aanzien van de kosten

Het betreft een demonstratie-installatie bij een 65 MWe-elektriciteits-eenheid [Novem, 1991]. Feitelijk werd van een eenheid van 130 MWe gedurende een periode van 3 jaar 50% van het afgas behandeld in een demonstratie SCR-installatie. Het afgasdebiet bedroeg ca. 200.000 m³/uur, dit wil zeggen ca. 10 maal kleiner dan van de huidige full-scale DeNO_x-systemen (600 MWe). Door dit schaalgrootte verschil zijn de investeringskosten relatief hoog (per geïnstalleerde MWe). Voor het feit, dat het een demonstratieproject betrof is daarnaast wel gecorrigeerd door de kosten, die uitsluitend voor het onderzoek werden gemaakt niet mee te nemen in de bepaling van de investeringskosten (onder andere meetapparatuur). De katalysatorkosten lijken

¹⁾ De kosteneffectiviteitswaarden van de DeNO_x-systemen van AVI's zijn eveneens relatief ongunstig (SCR, retrofit: f10-11/kg). De gegevens van de AVI's zijn echter slechts zeer summier bekend in deze studie, zodat het niet mogelijk meer achtergrondinformatie te geven over de oorzaken van deze relatief hoge waarden.

Kosteneffectiviteit van milieumaatregelen in de industrie - Vaststellen van het referentiekader - Eindrapport

hoog in vergelijking met de kosten van een full-scale systeem [KEMA/EPZ, 1993]. Dit vormt een tweede verklaring voor de relatief ongunstige kosteneffectiviteit.

Bijzonderheden ten aanzien van de effecten

De emissiereductie is geschat op 650 ton NO_x per jaar. Voor een full-scale installatie (600 MWe) is deze reductie ca. 6900 ton. Dit betekent, dat de emissiereductie ongeveer evenredig is met de omvang van het te behandelen debiet. Daardoor zal de grootte van de emissiereductie geen belangrijk verschil in kosteneffectiviteit veroorzaken tussen de kleine installatie (65 MWe) en de full-scale installatie (600 MWe).

4 SO₂

Case: *bedr. nr. 21*

Emissiebeperkende installatie: *Haldor Topsoe (zwavelzuurproductie)*

Kosteneffectiviteit: *f 5,0/kg*

Bijzonderheden ten aanzien van de kosten

Het gaat bij het bedrijf om 5 emissiebronnen (productielijnen), die oorspronkelijk allen ongeveer even veel H₂S emitteerden. Het productieproces is aangepast en diverse milieumaatregelen zijn genomen. De grootste emissie is inmiddels geconcentreerd in één emissiebron. De H₂S wordt geoxideerd tot SO₂, gekoeld en ontstoft in een doekfilter. Daarna wordt het SO₂-houdende afgas in een Haldor Topsoe installatie omgezet in zwavelzuur. De totale milieu-investeringen bedroegen ca. f 80 miljoen. In de studie kosteneffectiviteit is echter alleen rekening gehouden met de separate SO₂-verwijderingsinstallatie (Haldor Topsoe) met een totale investering van ca. f 14,6 miljoen, om diverse redenen. Ten eerste is het niet goed mogelijk alle overige maatregelen technisch separaat te beschouwen. Dit is wel goed mogelijk voor de zwavelzuurproductie installatie, omdat deze betrekkelijk autonoom functioneert. Ten tweede zijn de kosten zeer moeilijk om de kosten (investeringskosten en operationele kosten) separaat te verkrijgen. Dit is wel redelijk goed mogelijk voor de Haldor Topsoe installatie.

Het bedrijf heeft een schadevergoeding verkregen voor de totale milieu-investeringen (f 80 miljoen) van ca. f 20 miljoen. Het feit, dat deze schadevergoeding werd verleend geeft aan, dat het om een voorziening gaat, die als 'bovennormaal' is te beschouwen.

Bijzonderheden ten aanzien van de effecten

De emissiereductie bedraagt ca. 800 ton per jaar. Bij een redelijk vergelijkbaar systeem (bedr. nr. 43, eveneens 30.000 m³/uur) is de verwijdering ca. 3150 ton/jaar. Door de lagere reductie bij bedr. nr. 21 wordt de kosteneffectiviteit uiteraard ongunstiger.

Bijlage 3 Aanvullende informatie DeNO_x- en SO₂-emissie-reductie

Inhoudsopgave

- 1 DeNO_x-technieken**
 - 1.1 Algemeen
 - 1.2 Gasturbines
 - 1.3 Stookinstallaties
 - 1.4 Gasmotoren
 - 1.5 Energiecentrales
 - 1.6 Afvalverbrandingsinstallaties
 - 1.7 Slibverbrandingsinstallaties
 - 1.8 Shell DeNO_x

- 2 Rookgasontzwavelingstechnieken**
 - 2.1 Kalksteenproces energiecentrales

- 3 Samenvatting maatregelen NO_x EN SO₂**

1 DeNO_x-technieken

1.1 Algemeen

In deze studie werden in het referentiekader in eerste instantie voornamelijk nageschakelde DeNO_x-technieken ten behoeve van reductie van NO_x afkomstig van procesemissies opgenomen. Onder procesemissies worden emissies verstaan, die worden veroorzaakt door chemische en fysische industriële processen, anders dan processen voor het opwekken van energie en het verbranden van afval. Het gaat daarbij om emissies, die niet in het kader van het BEES (Besluit Emissie-eisen Stookinstallaties), BLA (Besluit Luchtemissies Afvalverbranding) of Convenant elektriciteitsproductiebedrijven worden bestreden. In het rapport 'Bestrijdingsmogelijkheden van verzurende procesemissies in Nederland' [Tebodin, 1990] wordt aangegeven, dat de totale NO_x-emissie ten gevolge van procesemissies in 1990 ca. 18 kton bedroeg. In dit rapport worden diverse mogelijkheden gegeven voor emissiebeperkende maatregelen. Tevens werd in het rapport geconcludeerd, dat deze maatregelen op dat moment nog nauwelijks tot feitelijke implementatie waren gekomen.

Het onderzoek naar de kosteneffectiviteit was in eerste instantie vooral gericht op deze procesemissies. Mede op basis van het genoemde Tebodin-rapport (verzurende procesemissies) zijn bedrijven benaderd, die mogelijk een maatregel hebben gerealiseerd. In de praktijk blijken er inderdaad enkele installaties te zijn geplaatst voor emissiereductie van NO_x en SO₂. Deze zijn in het onderzoek opgenomen (zie hoofdstuk 6). Hierbij zijn ten aanzien van NO_x in eerste instantie in dit onderzoek vooral de volgende twee nageschakelde technieken onderzocht:

- Selectieve Katalytische Reductie (SCR of SKR).
- Selectieve Niet-Katalytische Reductie (SNCR of SNKR).

In een later stadium is echter door de begeleidingscommissie besloten tevens emissiebeperkende maatregelen bij andere NO_x-emissiebronnen dan de genoemde procesemissie in het onderzoek te betrekken, om de volgende redenen:

- voor procesemissies is het aantal DeNO_x-installaties mogelijk te gering om op een betrouwbare manier de 'gangbare' kosteneffectiviteit te bepalen;
- mogelijk kunnen praktijkwaarden voor de kosteneffectiviteit van andere maatregelen (dan bij procesemissies) worden gebruikt in deze studie.

Het gaat daarbij deels om dezelfde nageschakelde technieken (SCR en SNCR) als eerder genoemd. Daarnaast gaat het daarbij om meer procesgeïntegreerde maatregelen, die per type emissiebron aan de orde komen.

In deze bijlage wordt achteréenvolgens ingegaan op de volgende categorieën van NO_x-emissiebronnen en de (mogelijke) emissiereducerende maatregelen:

- gasturbines (BEES);
- stookinstallaties (BEES);
- gasmotoren (BEES);
- energiecentrales (Convenant elektriciteitsproductiebedrijven);
- afvalverbrandingsinstallaties (Besluit Luchtemissies Afvalverbranding = BLA);
- slibverbrandingsinstallaties (Bijzondere Regeling, NeR);
- Shell DeNO_x-proces.

Voor meer algemene informatie over ontzwavelings- en DeNO_x-technieken wordt verwezen naar de literatuur [Tebodin, 1990] en [Bakker, 1992].

1.2 Gasturbine-installaties

Via een bedrijfsbezoek werd in eerste instantie één maatregel voor emissie-reductie van NO_x bij een gasturbine van een industriële warmte-kracht centrale (volg-nr. 003) in het onderzoek in beschouwing genomen. Het betreft stoominjectie in de verbrandingskamer.

De bedrijfservaringen en kosten van een aantal installaties (inclusief installatie nr. 003 van dit project) zijn uitgebreid gerapporteerd in het Novem-rapport 'Evaluatierapport NO_x demonstratieprojecten bestaande gasturbines' (opgesteld door Comprimo, projectnr. 61211, november 1993) [Novem, 1993]. In dit programma komen installaties voor verdeeld in 3 vermogensklassen: kleiner dan 10 MW, ca. 20 MW en tussen 30 en 40 MW. De onderzochte installatie (case nr. 003) valt in de laagste vermogensklasse. Het doel van de evaluatie was de technische en economische gevolgen vast te stellen van NO_x emissiereductie bij gasturbines bij een emissie-norm van 65 g/GJ.

Drie technieken worden toegepast in de demonstratieprojecten:

- waterinjectie;
- stoominjectie;
- droge technieken.

Bij de beide eerstgenoemde technieken wordt de vlamtemperatuur verlaagd, waardoor minder NO_x wordt gevormd. De droge technieken omvatten:

- getrapte verbranding;
- voormengen van brandstof en lucht;
- hybride (combinatie van beide technieken).

In het evaluatierapport is de kosteneffectiviteit berekend voor zeven installaties, waarbij een range optrad van f 0,83 tot 9,43 per kg NO_x. Voor bedrijf nr. 003 (studie kosteneffectiviteit) geldt de lage waarde van f 0,83/kg. Door DHV was voor dit bedrijf een waarde berekend van f 2,5/kg. De verschillen zijn verklaarbaar doordat diverse aspecten in de berekening van DHV (uitgaande van de informatie opgegeven door het bedrijf) anders zijn verondersteld:

- bedrijfstijd (Novem: 8000 u/j, terwijl het bedrijf uitgaat van 6900 u/j);
- lagere emissiereductie (ton/jaar) (opgave door bedrijf);
- hogere extra kosten door meer aardgasverbruik (opgave door bedrijf);
- lagere opbrengst door extra geproduceerde elektriciteit (opgave door bedrijf);
- kosten voor emissiemetingen en overige kosten (administratie en dergelijke) (schatting van DHV, door Novem zijn hiervoor geen kosten in de berekening meegenomen);
- hogere kapitaalskosten (uitgangspunt: 10% rente en 10 jaar afschrijving of 16,3% per jaar op annuïteitenbasis). In het Novem rapport werd uitgegaan van 5% rente en 10 jaar afschrijving of ca. 13% per jaar als annuïteit.

De kostengegevens vermeld in het Novem rapport zijn voor 7 installaties op basis van gelijke uitgangspunten bepaald. Het betreft uitsluitend installaties, voorzien van waterinjectie (1) en stoominjectie (6). Voorgesteld wordt om gebruik te maken van deze

Kosteneffectiviteit van milieumaatregelen in de industrie - Vaststellen van het referentiekader - Eindrapport

gegevens (inclusief de veronderstelde bedrijfstijd van 8000 u/j). De kosten van utilities verschiden nauwelijks van de door DHV gebruikte waarden. De afwijking met de berekening van DHV wordt bij bedr.nr. 003 vooral veroorzaakt door afwijking in de emissiereductie, aardgasverbruik en elektriciteitsopbrengst en de 'overige kosten (schatting van DHV voor metingen, administratie en dergelijke)'. Voorgesteld wordt deze 'overige kosten' buiten beschouwing te laten. De kapitaalskosten maken slechts ongeveer 20% uit van de totale jaarlijkse kosten. Uitgaan van 16,3% in plaats van 13% als kapitaalskosten betekent, dat de berekende kosteneffectiviteit ca. 5% ongunstiger wordt. Daarnaast is de investering meestal in 1991 gedaan, waardoor eveneens een correctie zou kunnen worden toegepast. Over alle gegevens is met Novem overlegd. Gezien de onnauwkeurigheid van de berekening van kosteneffectiviteitswaarden in het algemeen wordt voorgesteld ten behoeve van deze studie de waarden weergegeven in het Novem rapport zonder omrekening te hanteren.

Samengevat gaat het om de waarden, weergegeven in tabel 1.

Tabel 1 Samenvatting kosteneffectiviteitswaarden DeNO_x-demoprojecten gasturbines

Installatie ¹⁾	Investering (miljoen f) ²⁾	Vermogen W/K (MWe)	Belasting NO _x (kg/jaar)	Reductie NO _x (kg/jaar)	Kosteneffectiviteit (f/kg)
G1 (w)	0,59	4	64.800	36.700	6,4
G2 (s)	0,35	2 * 5	350.000	265.000	0,8
G3 (s)	1,20	17	158.000	56.000	5,8
G4 (s)	2,00	20	424.000	184.000	9,4
G5 (s)	1,19	25	328.500	169.500	4,0
G6 (s)	1,63	27	362.000	149.000	5,2
G7 (s)	1,40	39	810.000	565.000	3,0

¹⁾ w = waterinjectie, s = stoominjectie

²⁾ meestal 1991

In het algemeen geldt, dat de grote spreiding genoemd in het evaluatierapport onder andere wordt veroorzaakt door de grote spreiding in de 'onbehandelde' NO_x-emissie, die bij oudere gasturbines het hoogst is.

De ongunstige waarde voor de kosteneffectiviteit gevonden bij installatie G4 wordt enerzijds bepaald door de relatief hoge investering en anderzijds door de relatief lage belasting. Hierdoor is tevens de reductie van NO_x (in kg/jaar) relatief gering.

1.3 Stookinstallaties

De ervaringen en kosten van DeNO_x-installaties bij stookinstallaties zijn weergegeven in de eindrapportage 'Demonstratieprogramma NO_x-arme stookinstallaties' (Senter, oktober 1993) [Senter, 1993]. In het rapport worden in totaal 60 installaties beschreven, die in dit programma zijn opgenomen. Het betreft installaties in

Kosteneffectiviteit van milieumaatregelen in de industrie - Vaststellen van het referentiekader - Eindrapport

vermogens variërend van enkele MW tot meer dan 100 MW. Het overgrote deel (56 installaties) zit in de vermogensklasse tot 20 MW, terwijl twee installaties tussen 20 en 100 MW voorkomen en twee van meer dan 100 MW. De toegepaste 'DeNO_x'- of 'Low-NO_x'-technieken zijn in alle gevallen procesgeïntegreerde maatregelen en zijn globaal als volgt in te delen:

- getrapte lucht- of brandstof toevoer;
- interne en/of externe rookgasrecirculatie.

Het doel van het demonstratieproject was aan te tonen, dat de voorgenomen NO_x emissie-eisen voor bestaande en nieuwe installaties haalbaar zijn. Het betreft de volgende emissie-eisen:

- aardgas:
 - bestaande installaties: 150 mg/m³
 - nieuwe installaties: 60 mg/m³
- lichte stookolie:
 - bestaande installaties: 200 m³
 - nieuwe installaties: 110 m³

De meerkosten van toepassing van deze de-NO_x technieken zijn berekend per kW nominaal:

- 0-2,5 MW : f 12,0/kW
- 2,5-7,5 MW : f 6,9/kW
- 7,5-20 MW : f 6,0/kW
- > 20 MW : f 4,1/kW

Bij stookinstallaties zijn in Nederland (op dit moment) geen SCR-installaties in werking.

In het Senter-rapport worden geen reducties gegeven per installatie (kg/jaar), omdat men vooral de haalbare restemissie van de installatie heeft onderzocht. Daarnaast zijn geen bedrijfskosten gegeven, mogelijk omdat het uitsluitend procesgeïntegreerde maatregelen betreft. Het is dan ook niet mogelijk om de kosteneffectiviteit te berekenen op basis van de gegevens van Senter.

1.4 Gasmotoren

De reductie van de NO_x-emissie van gasmotoren is beschreven in diverse Novem-rapporten ('Reductie van de NO_x-emissie van gasmotoren' en het vervolgrapport hierop, S&D De Melker, Margraten, 1994) [Novem, 1994].

Het doel van het onderzoek was om de technische en economische gevolgen te beoordelen van het verlagen van de NO_x emissienorm van 270 tot 140 g/GJ. In het eerste rapport worden de resultaten beschreven van dertien 'lean burn' motoren. Hiervan waren er twee voorzien van een driewegkatalysator (nr. B8 en B10) en één voorzien van een SCR (nr. B22). Installatie B10 is echter dermate klein (15 kW), dat deze verder buiten beschouwing wordt gelaten. Opgemerkt wordt, dat de driewegkatalysatoren naast NO_x tevens de emissie van CO en VOS vermindert. Dit zijn echter als neveneffecten te beschouwen, omdat de reductie van de NO_x het hoofddoel is (vanwege de relatief strenge NO_x emissie-eisen). In het vervolgonderzoek van Novem is vooral

Kosteneffectiviteit van milieumaatregelen in de industrie - Vaststellen van het referentiekader - Eindrapport

naar het regelsysteem gekeken en naar twee aanvullende installaties, waarvan één met een SCR-installatie.

De kosten per kg NO_x voor de beide SCR-installaties zijn niet in detail weergegeven in de genoemde rapporten. Na overleg met Novem en de betreffende bedrijven zijn de benodigde gegevens echter (deels) verzameld en weergegeven in tabel 4. Van de tweede SCR-installatie konden de gegevens niet worden achterhaald.

Tabel 2 Samenvatting kosteneffectiviteiten DeNO_x-demoprojecten gasmotoren

Bedrijf (nr.)	Installatie ¹⁾	Investering (miljoen f)	Vermogen (MWe)	Belasting NO _x (kg/jaar)	Reductie NO _x (kg/jaar)	Kosten-effectiviteit (f/kg)
036	B8 (3-weg kat)	0,032	0,22	16.100	15.600	0,45
035	B22 (SCR)	0,039	0,46	3.230	1.800	8,10
	SCR ²⁾	? ²⁾	12,00 ³⁾	?	?	?
044	SCR ⁴⁾	0,4	0,8	2.500	1.015	4,17

¹⁾ Codering gebruikt in de genoemde literatuur.

²⁾ Geen informatie verkregen.

³⁾ 3 separate gasmotoren (4 MWe per stuk), ieder voorzien van een eigen SCR.

⁴⁾ Het betreft een SCR (ureum) bij een W/K-installatie, waarbij rekening is gehouden met een opbrengst van CO₂, die nuttig wordt gebruikt.

1.5 Energiecentrales

Over DeNO_x-installaties bij energiecentrales is overleg geweest met SEP. De navolgende informatie is deels door SEP aangeleverd en deels beschikbaar in diverse rapporten van Novem. Daarnaast is tevens informatie door HTS (Hoogovens Technical Services) verstrekt.

Opgemerkt wordt, dat SEP van mening is, dat waarden voor de kosteneffectiviteit, die bepaald zijn bij energiecentrales niet goed toepasbaar zijn bij overige emissiebronnen, vanwege de grote verschillen in de omvang van het debiet en de installatie. Voor een 600 MWe kolengestookte centrale geldt in het algemeen een rookgasdebiet van ca. 2 miljoen m³/uur. Een dergelijk debiet is veel groter dan gebruikelijk voor procesemissies.

Momenteel zijn de volgende DeNO_x-installaties in bedrijf of in aanbouw bij energiecentrales:

- Nijmegen (G-13) : 600 MWe (oktober 1994).
- Maascentrale (MC-6) : 223 MWe (1992).
- Geertruidenberg (A81) : 645 MWe (1996).

De installatie in Nijmegen is zeer recent opgestart. Er zijn nog geen operationele gegevens beschikbaar. De installatie bij de Maascentrale (MC-6) betrof een katalytische LUVO, die met behulp van een demonstratieproject is onderzocht in 1992-1993. De resultaten zijn gerapporteerd door KEMA, EPZ en SEP in het rapport 'Demonstra-

Kosteneffectiviteit van milieumaatregelen in de industrie - Vaststellen van het referentiekader - Eindrapport

tieprogramma Katalytische LUVO bij de Eenheid-6 van de Maascentrale in Buggenum, mei 1993' [KEMA/EPZ, 1993]. De katalytische LUVO is een variant op een SCR, waarbij de katalysator in de LUVO is ondergebracht. De investeringskosten zijn relatief laag. Er traden echter diverse problemen in de bedrijfsvoering op, op basis waarvan door SEP is besloten deze techniek niet op grotere schaal toe te passen. De belangrijkste nadelen van het systeem zijn:

- de ammoniakslip is hoog;
- de reductie is relatief laag (ca. 30%). Bij hogere reductie (tot 50%) neemt het ammoniakgehalte van de vliegashoudstof verder toe;
- de activiteit van de katalysator neemt snel af (overeenkomstig opgave leverancier);
- de kosteneffectiviteit is niet gunstiger dan van een SCR;
- er zijn geen gegevens beschikbaar bij continu bedrijf. Dit is niet mogelijk gebleken. Na enige tijd stijgt de drukval over de LUVO en met de NH₃-injectie tijdelijk worden onderbroken.

In het genoemde rapport zijn de kosten voor een nieuwe 600 MWe-eenheid berekend voor een SCR-installatie en een katalytische LUVO. Voor de SCR zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd (m³ bij standaardomstandigheden):

- bedrijfstijd : 7500 uur/jaar
- bedrijfscyclus : 50% vollast, 50% deellast
- NO_x inlaat : - vollast : 800 mg/m³
- deellast : 700 mg/m³
- rookgasdebiet: : - vollast : 2.000.000 m³/uur
- deellast : 1.000.000 m³/uur
- NO_x verwijdering : 80%
- kosten ammoniak : f 250/ton
- levensduur katalysator : 5 jaar
- energieverbruik : 2 MWe en 2,6 MWth
- energiekosten : f 0,075/kWh
- afschrijving : 10 jaar

De investeringskosten bedragen:

- totaal : f 65 miljoen
- (waarvan) katalysator : f 15 miljoen

De jaarlijkse kosten bedragen:

- afschrijving : f 9.687.000
- katalysator : f 3.757.000
- onderhoud : f 600.000
- ammoniak : f 2.550.000
- energie : f 1.564.000

Totaal: : f 18.158.000

De emissiereductie is 6900 ton per jaar, zodat de kosteneffectiviteit ca. f 2,6/kg bedraagt. De uitgangspunten wijken slechts weinig af van die gehanteerd in deze studie, zodat deze waarde in principe bruikbaar is. De belangrijkste afwijkingen zijn:

- kapitaalkosten van 16,3% in deze studie, terwijl door KEMA ca. 15% is gehanteerd. Hierdoor worden de kapitaalkosten voor G-13 in deze studie ca. f 10,5 miljoen;
- energieverbruik van minimaal f 0,09/kWh in deze studie, terwijl door KEMA f 0,075/kWh is gebruikt. Bij gebruik van de waarde van f 0,09/kWh worden de energiekosten in deze studie ca. f 1,9 miljoen.

Kosteneffectiviteit van milieumaatregelen in de industrie - Vaststellen van het referentiekader - Eindrapport

Voor plaatsing van een SCR bij een bestaande centrale ('retrofit') zijn bovengenoemde waarden waarschijnlijk afwijkend, vooral ten aanzien van de investeringskosten. De investeringskosten voor Nijmegen G-13 zijn nog niet nauwkeurig bekend. Zeer globaal geldt, dat deze kosten meer dan f 100 miljoen bedragen. Dit betekent, dat de kapitaalskosten in ieder geval 50% hoger zijn. Globaal bepalen de kapitaalskosten ca. 50% van de totale jaarlijkse kosten. De totale kapitaalskosten worden daarmee minimaal ca. f 16 miljoen. De overige jaarlijkse kosten zijn ca. f 9 miljoen, zodat voor Nijmegen G-13 de werkelijke kosteneffectiviteit ca. f 3,6/kg wordt.

Er bestaat naast de genoemde installaties de mogelijkheid de ervaringen van het demonstratieproject bij Gelderland 12 in deze studie mee te nemen. Het betrof in dat geval een veel kleiner debiet, namelijk 196.000 m³/uur (droog, actueel O₂-gehalte), bij 65 MWe. De resultaten van dit project staan beschreven in het eindrapport 'Novem-meetprogramma 65 MWe DeNO_x-demonstratieproject, EPON Gelderland 12, november 1991', opgesteld door KEMA, EPON en Hoogovens ESTS (ref.nr. KEMA 63188-WPB 91-1122) [Novem, 1991].

Allereerst worden de belangrijkste kenmerken van het project beknopt samengevat:

- het doel was de bedrijfs- en milieutechnische ervaringen en de economische gevolgen van het installeren van een SCR-installatie vast te stellen op praktijkschaal;
- behandeld werd 50% van het debiet van de rookgassen van een 130 MWe eenheid (G-12);
- de installatie werd gebouwd door ESTS (tegenwoordig HTS) en in 1987 opgestart. Het meetprogramma is uitgevoerd door EPON, KEMA en HTS van 1988 tot en met 1990;
- de installatie verwijdert NO_x met 80% bij een inlaatconcentratie van 565 mg/m³ (droog, 6% O₂) met een betrouwbare bedrijfsvoering.

In het rapport zijn de kosten weergegeven van de demonstratie-installatie gedurende het 3-jarige project. Daarbij wordt in het rapport echter opgemerkt, dat deze kosten geen goed beeld geven van de kosten in een normale bedrijfssituatie om de volgende redenen:

- bepaalde voorzieningen zouden anders niet zijn aangebracht (bijvoorbeeld meetapparatuur);
- de levensduur zou 25 jaar bedragen in plaats van 3 jaar;
- de katalysator zou regelmatig moeten worden vervangen.

Daarom is voor deze aspecten gecorrigeerd. De totale 'gecorrigeerde' investering bedroeg ca. 16,5 miljoen gulden (1987) of ca. 18,7 miljoen (1993). In [KEMA/EPZ, 1993] is gerekend met een rente van 7,5% en een levensduur van 25 jaar, wat een annuïteit betekent van 9,0%. Indien dezelfde uitgangspunten worden gebruikt als bij de overige referenties in deze studie, zou moeten worden gerekend met 16,3%. Dit betekent ca. 3 miljoen gulden aan kapitaalskosten.

De operationele kosten zijn als volgt:

— bediening en onderhoud	:	f	175.000,--
— elektriciteit (f 0,09/kWh)	:	f	405.000,--
— ammoniak (240 ton à f 250,--/ton)	:	f	60.000,--
— katalysator (levensduur 4 jaar)	:	f	1.960.000,--
— overige kosten	:	f	180.000,--

Totale operationele kosten	:	f	2.780.000,--

Kosteneffectiviteit van milieumaatregelen in de industrie - Vaststellen van het referentiekader - Eindrapport

De som van kapitaalskosten en operationele kosten is dan 5,78 miljoen gulden per jaar. De emissiereductie is 650 ton NO_x per jaar, zodat de kosteneffectiviteit daarmee bedraagt: ca. f 8,9 per kg NO_x.

Voorgesteld wordt om bij de interpretatie van de berekende kosteneffectiviteiten van het referentiekader rekening te houden met de genoemde waarde van f 3,6/kg voor een 600 MWe installatie (ca. 2.000.000 m³/u) en f 8,9/kg NO_x voor een kleinere installatie (65 MWe, ca. 200.000 m³/uur).

Tenslotte wordt nog verwezen naar een rapport [ECE, 1992] van de ECE (Economic Commission for Europe) van 1992 (Task Force), waarin uitgebreid op DeNO_x-maatregelen wordt ingegaan. Op basis van dit rapport (p. 230) kan voor een 300 MWe kolengestookte elektriciteitscentrale een kosteneffectiviteit voor een SCR worden berekend van f 5,8/kg. Hierbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd, waarbij tussen haakjes is aangegeven wanneer het afwijkende uitgangspunten betreffen ten opzichte van het ECE-rapport:

- vermogen : 300 MWe
- debiet : 900.000 m³/uur
- bedrijfstijd : 4000 uur/jaar
- NO_x inlaat : 600 mg/m³
- NO_x verwijdering : 1620 ton/jaar
- levensduur katalysator : 6 jaar
- ammoniak : 600.000 kg/jaar (f 250,-/ton, ECE: 500 DM/ton)
- energieverbruik : 1,2 MWe (0,09 f/kWh (ECE: 0,16 DM/kWh)
- katalysator : tail gas (low dust), f 33.000/m³
- investeringskosten : f 33 miljoen (1993)
(inclusief kat., ECE: exclusief kat.)
- operationele kosten : verzekering en dergelijke 1% van de
investeringskosten
- onderhoud en dergelijke 3% van de investeringskosten

De waarde van f 5,8/kg is hoger dan berekend voor de centrale in Nijmegen (EPON, G-13), vanwege de volgende verschillen in de kostenbepalende factoren:

- kleinere installatie (300 MWe in plaats van 600 MWe);
- lagere bedrijfstijd (4000 u/j in plaats van 7500 u/j);
- lagere NO_x concentratie (600 mg/m³ in plaats van 700-800 mg/m³).

1.6 Afvalverbrandingsinstallaties

Bij vier afvalverbrandingsinstallaties (AVI's) zijn in 1992, 1993 en 1994 DeNO_x-installaties opgestart. Deze zijn opgenomen in een demonstratieprogramma van het ministerie van VROM (directie Lucht en Energie), dat beheerd wordt door Novem. Hierover is informatie verkregen van Novem. Dit programma loopt nog tot eind 1995 met als doelstelling het bepalen in praktijksituaties van de mate van NO_x-verwijdering (rendement en restemissie), de bedrijfsvoering en de investerings- en bedrijfskosten van DeNO_x-installaties bij AVI's. Op basis van de resultaten van het programma vindt een evaluatie plaats en worden de NO_x-verwijderingskosten (f/kg NO_x)

Kosteneffectiviteit van milieumaatregelen in de industrie - Vaststellen van het referentiekader - Eindrapport

bepaald. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt in nieuwe installaties en retrofit-installaties (plaatsing bij een bestaande AVI):

- Amsterdam: SNCR (nieuw);
- Duiven (AVIRA): SNCR (retrofit);
- Rotterdam (ROTEB): SCR (retrofit);
- Rozenburg (AVR): SCR (retrofit).

Op dit moment is er nog geen officiële deelrapportage (per demoproject) beschikbaar. De eerste twee deelrapporten worden pas in april 1995 verwacht, na een meetprogramma van minimaal één jaar. Eind 1995 wordt het eindrapport verwacht.

Momenteel wordt door KEMA en Haskoning in opdracht van Novem een methodiek voor de kostenberekening opgezet met de volgende belangrijkste voorgestelde uitgangspunten:

- kapitaalskosten : 15 jaar afschrijving en 9% rente
- personeelskosten : f 80.000/mensjaar
- elektriciteit : f 0,078/kWh
- ammoniak : f 250/ton
- katalysator : 3 jaar levensduur

Over de uitgangspunten moet overigens nog overeenstemming komen in de met het programma belaste werkgroep en begeleidingscommissie. Door Novem konden enige indicatieve gegevens worden verstrekt op basis van de eerste berekeningen. Hierbij wordt opgemerkt, dat er nog diverse onduidelijkheden zijn in de door de AVI's aangeleverde gegevens. De volgende waarden voor de kosteneffectiviteit van NO_x zijn dan ook uitsluitend als indicatief te beschouwen:

- SNCR, nieuw : f 6,0/kg
- SCR, retrofit : f 10,0/kg

Uitgaande van 10 jaar afschrijving en 10% rente zullen deze waarden iets ongunstiger zijn (respectievelijk ca. f 7/kg en f 11/kg). Daarnaast lijken voor retrofit situaties deze waarden vermoedelijk ongunstiger.

Naast de AVI's, die in het demonstratieproject meedoen, zijn er een aantal andere AVI's, waar DeNO_x-installaties worden geplaatst. In onderstaande zijn deze in volgorde van verwacht moment van inbedrijfstelling weergegeven:

1. ARN (Nijmegen) : SCR, 1995
2. HVC (Alkmaar) : SCR, 1995
3. AZN (Moerdijk) : SNCR, 1996
4. VAMIJ (Wijster) : SCR, 1996
5. AVI Twente : SCR, 1996
6. GEVUDO : SCR, 1996

Aan de betreffende AVI's is individueel gevraagd een raming van de kosten en de verwachte emissiereductie op te geven. Deze informatie is van één installatie (SCR, retrofit) verkregen (f 14,-/kg). Ook deze waarde is uitsluitend indicatief, omdat de installatie nog niet in werking is en met name de operationele kosten nog niet bekend zijn.

Tenslotte wordt opgemerkt, dat de berekende waarden voor de kosteneffectiviteit in hoge mate afhangen van de concentratie in het onbehandelde afgas.

1.7 Slibverbranding

Voor zover bekend is bij één slibverbrandingsinstallatie een SCR-DeNO_x gerealiseerd, terwijl in de nabije toekomst bij twee installaties een SNCR-DeNO_x zal worden geïnstalleerd.

De reeds geplaatste SCR-DeNO_x verwerkt zuiveringsslib afkomstig van twee waterschappen. De installatie is in 1994 opgestart. Het bedrijf kon geen informatie geven over de kosten en de emissiereducties van de SCR-installatie.

Bij één slibverbrandingsinstallatie kan men met primaire maatregelen (procesoptimalisatie) veel bereiken, waarbij de NO_x-concentratie in het afgas reeds tot ca. 150 mg/m³ wordt teruggebracht. Dit is echter vooralsnog nog onvoldoende om aan de norm van 70 mg/m³ te voldoen. Een nader optimalisatieprogramma is in uitvoering (1994). Mogelijk is een SNCR nodig in de toekomst. Dit is sterk afhankelijk van een besluit van het bevoegd gezag over de te bereiken restemissie NO_x, nadat de proefnemingen met primaire maatregelen zijn afgerond. Door het bedrijf zijn indicatieve investeringskosten gegeven van f 4,3 miljoen, inclusief de benodigde stripper en afvalwaterbehandeling. De bedrijfskosten zijn moeilijk te rammen, vooral voor de kosten van de stripper. In verband met de onzekerheid in deze kosten worden deze hier niet weergegeven en is geen waarde voor de kosteneffectiviteit te berekenen.

Geconcludeerd kan worden, dat de beschikbare informatie van DeNO_x bij slibverbrandingsinstallaties niet bruikbaar is in deze studie.

1.8 Shell DeNO_x-proces

Door Shell is een DeNO_x-proces ontwikkeld, dat een variant vormt op het gebruikelijke SCR-proces. Door gebruik van een geoptimaliseerde katalysator en een reactor ontwerp, dat aan de specifieke omstandigheden wordt aangepast, werkt het proces bij lagere temperatuur (range van 120 tot 350 °C) dan de gebruikelijke SCR-processen (300-400 °C).

Men heeft een test uitgevoerd bij een gasmotor in Nederland. Er is daarnaast één praktijkinstallatie in Nederland geplaatst bij een chemisch bedrijf. Deze installaties zijn overigens in het onderzoek kosteneffectiviteit opgenomen. Daarnaast zijn in het buitenland in totaal de volgende praktijkinstallaties geleverd:

- ethyleenkraakinstallatie (Duitsland);
- twee gasturbines (Verenigde Staten, Californië);
- gasgestookt fornuis (Verenigde Staten, Californië);
- caprolactamfabriek (Zuid-Korea);
- katalysatoren productie bedrijf (België).

Daarnaast is men bezig met installaties bij afvalverbrandingsinstallaties in Nederland en Scandinavië.

Kosteneffectiviteit van milieumaatregelen in de industrie - Vaststellen van het referentiekader - Eindrapport

Gebaseerd op de ervaringen tot nu toe is de kosteneffectiviteit te berekenen op f 3,0 tot f 7,0 per kg NO_x. Hierbij zijn dezelfde uitgangspunten gehanteerd als gebruikt in deze studie en de volgende aanvullende gegevens:

- 2 situaties bij een 35 MWe gasturbine;
- belasting: 480.000, respectievelijk 725.000 kg/jaar;
- verwijdering: 205.000, respectievelijk 695.000 kg/jaar;
- investering: f 5,7; respectievelijk f 7,0 miljoen;
- kosteneffectiviteit: f 2,6/kg; respectievelijk f 6,3/kg (afgerond: f 3-7/kg).

De kosteneffectiviteit hangt sterk af van de specifieke omstandigheden. Vooral de concentratie NO_x kan zeer verschillend zijn bij de verschillende genoemde emissiebronnen, terwijl de kosteneffectiviteit juist sterk afhangt van de NO_x-belasting (ton/jaar) van de installatie. Twee uiterste mogelijkheden zijn in bovengenoemde situatie uitgewerkt.

Voorgesteld wordt om bij de interpretatie van de berekende kosteneffectiviteiten van het referentiekader rekening te houden met de genoemde waarden van f 3,0 tot 7,0 per kg NO_x.

2 Rookgasontzwavelingstechnieken

2.1 Kalksteenwassing (gipsproduktie) bij energiecentrales

Tijdens de uitvoering van het onderzoek is geconcludeerd, dat het van belang is de kosteneffectiviteit van rookgasontzwaveling bij energiecentrales in het onderzoek op te nemen.

Door SEP werd de volgende informatie gegeven over de (kolengestookte) energiecentrales, die momenteel voorzien zijn van een rookgasontzwavelingsinstallatie (ROI):

Gelderland 13	: 2 * 300 MWe (1985/1989)
Amer 8	: 645 MWe (1988)
Borssele 12	: 400 MWe (1987)
Maasvlakte 1 en 2	: 2 * 518 MWe (1987/1988)
Amer 9	: 600 MWe (1993)
Hemweg 8	: 630 MWe (1994)

Alle installaties zijn voorzien van hetzelfde basissysteem en verwerken kolen met min of meer gelijk zwavelgehalte (ca. 0,7% S). Dit betekent, dat de kosteneffectiviteit voor deze installaties vergelijkbaar zal zijn. Bij Amer 8 is een demonstratieproject uitgevoerd, waarvan de resultaten als representatief te beschouwen zijn. De resultaten van dit demonstratieproject bij de Amer-centrale staan beschreven in het Novem-rapport 'Demonstratieproject rookgasontzwavelingsinstallatie Amercentrale, eenheid 8, februari 1992', opgesteld door EPZ, KEMA en ESTS [Novem, 1992].

Hier worden de belangrijkste conclusies ten aanzien van de kosten van deze installatie samengevat.

Allereerst worden de belangrijkste kenmerken van het project beknopt samengevat:

- het doel was de bedrijfs- en milieutechnische ervaringen en de economische gevolgen van het installeren van een rookgasontzwavelingsinstallatie vast te stellen op praktijkschaal (eenheid 8: 645 MWe);
- behandeling van een rookgasdebiet van 2 miljoen m³/uur (droog);
- de installatie is gebaseerd op omzetting van kalksteen (CaCO₃) in gips (CaSO₄·2H₂O) via het IFO-proces (in situ forced oxidation). Het proces omvat een kalksteensuspensie-aanmaak systeem, de eigenlijke rookgaswasser, de gipsontwatering en de afvalwaterbehandeling;
- de installatie werd gebouwd door ESTS (tegenwoordig HTS) en in 1988 opgestart. Het meetprogramma is uitgevoerd door EPZ, KEMA en HTS van 1989 tot en met 1991;
- de installatie verwijdert SO₂ met 93% bij een inlaatconcentratie van 3100 mg/m³ (droog) met een betrouwbare bedrijfsvoering.

In [Novem, 1992] zijn de kosten als volgt opgegeven.

De totale investeringskosten ('stichtingskosten') bedroegen 111 miljoen gulden. Dit is annuïtair afgeschreven over 15 jaar met een rente van 6,5%. Dit zou kapitaalkosten van 10,6% per jaar betekenen of 11,8 miljoen gulden. Voor de kapitaalkosten wordt in het genoemde rapport [Novem, 1992] uitgegaan van 22,3 miljoen en voor verzeke-

Kosteneffectiviteit van milieumaatregelen in de industrie - Vaststellen van het referentiekader - Eindrapport

ringen en algemene kosten van 0,1 miljoen gulden voor een periode van 23 maanden, zodat dit inderdaad ca. 11,8 miljoen gulden per jaar betekent. Omrekening naar 1993 betekent een investering van ca. 122 miljoen gulden. Bij gebruik van de in de studie 'kosteneffectiviteit' gehanteerde uitgangspunten zijn de kapitaalkosten 16,3% van de investeringskosten of ca. 20 miljoen gulden. Voorlopig wordt van deze waarde uitgegaan.

De jaarlijkse operationele kosten zijn als volgt bepaald op basis van [Novem, 1992]:

- bediening (vooral personeel)	: f 1.350.000,--
- onderhoud	: f 750.000,--
- energie (elektr. f 0,09/kWh)	: f 3.000.000,--
- bedrijfsmiddelen (vooral kalksteen)	: f 2.150.000,--
- afvoer gips	: f 450.000,--

Totale operationele kosten: : f 7.700.000,--

De som van kapitaalkosten en operationele kosten is dan 27,7 miljoen gulden per jaar. De emissiereductie is 15.700 ton SO₂ per jaar, zodat de kosteneffectiviteit daarmee bedraagt: ca. f 1,76 per kg SO₂.

Deze waarde is niet zonder meer bruikbaar in de studie kosteneffectiviteit, onder andere vanwege de schaalgrootte. Als indicatie kan echter wel rekening worden gehouden met deze waarde.

3 Samenvatting maatregelen NO_x en SO₂

In tabel 3 en 4 staan de beschikbare informatie van de kosteneffectiviteit van maatregelen voor NO_x- en SO₂ reductie samengevat. Het betreft alle in deze studie verzamelde gegevens van specifieke installaties, die momenteel in Nederland operationeel zijn, aangevuld met meer algemene literatuurinformatie, die niet specifiek voor een bepaalde installatie geldt. Indien het om een specifieke installatie gaat is dit aangegeven met een bedrijfsnummer. In dat geval is voor een bedrijf herkenbare informatie uitsluitend in de vertrouwelijke bijlagen 10 en 11 opgenomen.

Tabel 3 Samenvatting beschikbare informatie maatregelen NO_x

Emissiebron	Techniek	Bedrijf (nr.)	Overige informatie (lit.)	Kosten-effectiviteit (f/kg)
procesemissies	SCR gaswasser	6, 18, 29, 30, 39, 38	--	0,5 - 7,3 1,1
gasturbines	Water- (1 maal) en stoominjectie (6 maal)	3	[Senter, 1993]	0,8 - 9,4
gasmotoren	3-weg katalysator SCR	36 35 44	[Novem, 1994]	0,5 8,1 4,2
energiecentrales	SCR, 645 MWe SCR, 65 MWe	37 34	[KEMA, 1993] [Novem, 1991]	3,6 8,9
afvalverbrandingsinstallatie	SNCR, nieuw SCR, retrofit SCR, nieuw	--	Novem ¹⁾ AVI	6-7 10-11 14
NO _x algemeen	SCR Shell SCR, 300 MWe	--	Shell [ECE Task Force, 1992]	3 - 7 5,8

¹⁾ Informatie van Novem, het eindrapport te verwachten eind 1995; 4 AVI's in demoprogramma: Amsterdam, AVIRA, ROTEB, AVR (twee maal SNCR en twee maal SCR).

Kosteneffectiviteit van milieumaatregelen in de industrie - Vaststellen van het referentiekader - Eindrapport

Tabel 4 Samenvatting beschikbare informatie maatregelen SO₂

Emissiebron	Techniek	Bedrijf (nr.)	Overige informatie (lit.)	Kosten-effectiviteit (f/kg)
energie-centrales ¹⁾	kalksteen (gips)	40	[Novem, 1992]	1,8
procesemissies	Haldor Topsoe	21; 43 ²⁾	--	5,0; 1,9
	Lo-cat	26	--	1,7
	gaswasser	31	--	0,7

¹⁾ Vergelijkbare ontzwavelingsinstallaties bij Gelderland 13, Amer 8, Borssele 12, Maasvlakte 1 en 2, Amer 9, Hemweg 8.

²⁾ Bij bedrijf nr. 43 vindt voorafgaand aan de Haldoer-Topsoe installatie een oxidatie van H₂S plaats.

Bijlage 4 Beschrijving technieken

Inhoudsopgave

- 1 Technieken voor beperking van VOS-emissies**
 - 1.1 Naverbranding
 - 1.2 Adsorptie
 - 1.3 Absorptie
 - 1.4 Biologische technieken
 - 1.5 Diepkoeling
 - 1.6 Voorconcentrerend door membraanscheiding
 - 1.7 Voorconcentrerend met concentratierotor
 - 1.8 Literatuur

- 2 Technieken voor beperking van stof-emissies**
 - 2.1 Algemeen
 - 2.2 Mechanische afscheiders
 - 2.3 Natte stofvangers
 - 2.4 Doekfilters
 - 2.5 Elektrofilters
 - 2.6 Diepbedfilters
 - 2.7 Oppervlaktefilters

- 3 DeNO_x-technieken**
 - 3.1 Algemeen
 - 3.2 Selectieve Katalytische Reductie
 - 3.3 Selectieve Niet-Katalytische Reductie
 - 3.4 Gaswater
 - 3.5 Andere technieken

- 4 Rookgasontzwavelingstechnieken**
 - 4.1 Haldor Topsoe proces
 - 4.2 Lo-cat proces
 - 4.3 Kalksteenproces energiecentrales

1 Technieken voor beperking van VOS-emissies

1.1 Naverbranding

Bij naverbranding worden de VOS geoxideerd tot CO₂ en H₂O. Naverbranding kan op verschillende manieren plaatsvinden:

- thermisch: verbranding bij een temperatuur van circa 750 °C of hoger;
- katalytisch: vlamloze verbranding met behulp van een katalysator bij circa 300 tot 400 °C.

Om deze temperaturen te bereiken moet bij lage VOS-concentraties extra energie (door middel van aardgasverbranding) worden toegevoerd. Om het energieverbruik te beperken wordt meestal een groot deel van de in de verbrandingsgassen aanwezige warmte teruggewonnen door middel van voorverwarming van het te behandelen afgas met het hete behandelde afgas:

- recuperatief (via een lucht/luchtwarmtewisselaar) (max. 60-70% warmteterugwinning);
- regeneratief (via een poreus hittebestendig, keramisch materiaal) (max. 85-95% warmteterugwinning).

Er is sprake van autotherme procesvoering indien de bij verbranding van VOS vrijkomende warmte voldoende groot is om zonder toevoer van extra brandstof het proces te kunnen laten plaatsvinden. Dit is het geval bij een hoge mate van warmteterugwinning en/of een voldoende hoge concentratie VOS (minimaal ca. 1,5 g/m³). Tenslotte kan soms warmte worden teruggewonnen door productie van stoom of verwarming van thermische olie voor gebruik in het productieproces. Thermische naverbranding is voor VOS te beschouwen als een bewezen techniek. De laatste jaren vindt in Nederland regeneratieve naverbranding toepassing bij lage concentratie-gebieden en/of bij sterke fluctuatie van concentraties. Het verwijderingsrendement is standaard 99% of meer voor de recuperatieve systemen en 97% voor de regeneratieve (vanwege kleine emissies bij omschakeling van kleppen). Door diverse aanpassingen kan dit rendement worden verhoogd. Bij katalytische verbranding moet aandacht besteed worden aan mogelijke vervuiling, vergiftiging of deactivering van de katalysator door onder andere stof, zware metalen, chloor en zwavel of lokale oververhitting. Dit betekent, dat in sommige gevallen een voorbehandeling nodig is (bijvoorbeeld ontstoften). Het rendement van katalytische naverbranders is in het algemeen 98% of hoger. Bij verbranding van gechloreerde VOS moet in een tweede stap het bij de verbranding ontstane HCl uit de afgassen verwijderd worden (gaswassing). Het ontstaan van HCl (corrosief) bepaalt de materiaalkeuze van de naverbrander. Bovendien moeten dan de verbrandings-omstandigheden (verblijftijd en temperatuur) zodanig worden gekozen dat vorming van complexe chloorverbindingen zoals dioxinen wordt voorkomen. Meestal is de concentratie VOS lager dan de maximale waarde ter voorkoming van explosierisico's (20 - 25% LEL (Lower Explosion Limit) of vaak ca. 8 tot 10 g/m³). Omdat de LEL afneemt bij verhoogde temperatuur kan deze waarde echter soms overschreden worden. Hiermee moet met het ontwerp rekening worden gehouden.

1.2 Adsorptie

Organische componenten (VOS) worden verwijderd door fysische en/of chemische binding aan een adsorbens. Mogelijke adsorbentia zijn:

- actieve kool;
- polymeren (bijvoorbeeld Polyad);
- zeolieten (bijvoorbeeld $\text{NaAl}_2\text{SiO}_4$).

In veel gevallen wordt actieve kool toegepast: gegranuleerde actieve kool of actieve koolvezels, een relatief nieuwe ontwikkeling. Bij toepassen van actieve koolvezels is een veel grotere adsorptiecapaciteit mogelijk. Hierdoor kan de installatie kleiner worden uitgevoerd en kan de ad- en desorptietijd korter zijn. Vaak wordt de actieve kool op locatie geregenereerd door middel van hete lucht, inert gas (N_2) of stoom. Dan bestaat de installatie uit 2 of meer bedden, die afwisselend worden beladen, respectievelijk geregenereerd. Na regeneratie kan de teruggewonnen VOS eventueel worden hergebruikt, afhankelijk van de kwaliteitseisen. Indien regeneratie niet op locatie plaatsvindt moet de actieve kool als afval worden afgevoerd of (extern) worden opgewerkt (reactivatie) voor hergebruik. Een andere uitvoeringsvorm betreft de roterende adsorber. Hierbij vindt adsorptie en regeneratie continu plaats (zie de toelichting bij de concentratierotor). Adsorptie met actieve kool is te beschouwen als bewezen techniek. De regeneratieve systemen zijn van belang voor relatief hoge concentraties (minimaal 2 tot 3 g/m^3). Het verwijderingsrendement is hoog (99%), waarbij een continue meting is aan te bevelen, zodat omschakeling naar een onbeladen bed op tijd plaatsvindt. In sommige gevallen is een voorbehandeling nodig, vanwege de volgende belangrijke aan het afgas te stellen randvoorwaarden:

- afgastemperatuur lager dan 40 °C;
- relatieve vochtigheid lager dan 60 à 70%;
- stofgehalte kleiner dan 5 à 10 mg/m^3 .

Zeolieten en polymeren zijn vooral ontwikkeld vanwege deze randvoorwaarden voor actieve kool. De maximaal mogelijke temperatuur en/of relatieve vochtigheid zijn veel hoger. Systemen met polymeren worden sinds enkele jaren vooral in Duitsland in praktijksituaties toegepast voor hoogkokende apolaire VOS.

1.3 Absorptie

Verwijdering van VOS vindt plaats door het afgas in contact te brengen met een absorbens waarbij de VOS oplost in de vloeistof. De wasvloeistof wordt vervolgens fysisch of chemisch behandeld. Mogelijke absorbentia zijn water en organische vloeistoffen (glycolen, glycolethers). Verschillen in uitvoeringsvormen treden op bij de soort wassetie (gepakte kolom, schotelkolom, sproeitoren, venturiwasser). Meestal wordt voor gaswassing gebruik gemaakt van een gepakte kolom. Absorptie in water is alleen mogelijk voor goed oplosbare VOS en beperkte recirculatie van het water door de kolom om een goede werking te behouden. Hierdoor kan echter een grote afvalwaterstroom ontstaan. Meestal worden daarom voor VOS (hoogkokende) organische wasvloeistoffen gebruikt. Deze techniek wordt in Duitsland (beperkt) toegepast. De belangrijkste randvoorwaarden voor het afgas zijn:

- afgastemperatuur lager dan ca. 40 °C;
- stofgehalte kleiner dan ca. 10 - 20 mg/m^3 .

Dit betekent dat in sommige gevallen een voorbehandeling nodig is (bijvoorbeeld koelen of ontstoffen). Anders dan bij actieve kool vormt een hoog vochtgehalte geen groot probleem. Terugwinning van verwijderde componenten kan geschieden door strippen met verwarmde lucht of stoom in een separate regeneratiekolom. Na regeneratie kan de teruggewonnen VOS eventueel worden hergebruikt. Verwijderingsrendementen van absorptiesystemen zijn vergelijkbaar met die van adsorptie (actieve kool). De veiligheidsaspecten zijn eveneens vergelijkbaar met die van actieve kool, met als verschil dat er geen gevaar voor verbranding optreedt.

1.4 Biologische technieken

Bij biologische reiniging worden VOS met behulp van micro-organismen omgezet tot voornamelijk CO₂ en H₂O. Deze processen kunnen worden onderverdeeld in:

- biofilters (open of gesloten uitvoering);
- bioscrubbers/biowassers (inclusief een actief-slib installatie);
- biotrickling filters.

Bij biofilters worden de VOS afgebroken door micro-organismen, die zich bevinden in een vast filtermateriaal, waarin de benodigde nutriënten aanwezig zijn. De meest gebruikelijke filtermaterialen zijn mengsels van compost/boomschors, compost/polystyreen en heide/turf. Dit laatstgenoemde materiaal heeft de minst goede eigenschappen. Bioscrubbers of biowassers bestaan uit een absorptiestap in water (gepakte kolom), gevolgd door biologische reiniging van de waterstroom in een actief-slib installatie, waarin de micro-organismen gesuspendeerd aanwezig zijn. Nutriënten moeten worden toegevoegd. Bij biotrickling filters worden de VOS in één apparaat verwijderd. De installatie bestaat uit een kolom met (kunststof) pakking, waarop de micro-organismen zich hechten. De pakking wordt bevochtigd met water, waarin zich de nutriënten bevinden. Belangrijke verschillen tussen biofilters en biowassers/biotrickling filters zijn de betere afvoermogelijkheden van ongewenste reactieproducten (bijvoorbeeld zuren) en de betere sturing van het proces (bijvoorbeeld het vochtgehalte).

Toepassing van biologische technieken is mogelijk tot ca. 1-2 g/m³ (voor enkele zeer goed afbreekbare componenten 5 g/m³). De belangrijkste randvoorwaarden voor het te behandelen afgas zijn:

- afgastemperatuur : 10 tot 40 °C;
- stofgehalte : kleiner dan ca. 20 mg/m³.

Daarnaast geldt voor biofilters, dat de relatieve vochtigheid hoog moet zijn om uitdroging van het filtermateriaal te voorkomen. De open biofilters worden veel toegepast, vooral voor verwijdering van geur. Voor industriële toepassing zijn verbeterde filtermaterialen ontwikkeld met een hogere oppervlaktebelasting, waardoor een kleiner oppervlak nodig is. Deze filters worden vaak gesloten uitgevoerd om nadelige weersinvloeden uit te sluiten en het proces beter te regelen. Soms worden meerdere filterbedden boven elkaar geplaatst. Afbraak van VOS in biofilters is te beschouwen als een bewezen techniek. Voor vele stoffen is op basis van praktijkervaring de mate van afbreekbaarheid bekend. Voor mengsels van VOS is vaak eerst een pilot onderzoek nodig. Bij gechloreerde koolwaterstoffen kan het ontstaan van zuren en zouten, die zich in het filtermateriaal ophopen, een limiterende factor zijn door vergiftiging

van de micro-organismen. Vooral voor dit soort stoffen komen biowassers en biotrickling filters in aanmerking. Biowassers worden in Duitsland reeds een aantal jaren toegepast. De techniek is vooral geschikt voor goed in water oplosbare VOS. Voor slecht oplosbare VOS kan in de actief-slib tank een mengsel van water en een organische absorptievloeistof worden toegepast. Biotrickling filters zijn in ontwikkeling (pilot onderzoek), maar er zijn inmiddels ook enkele praktijkinstallaties in werking. Verwijderings-rendementen van biologische technieken kunnen hoog zijn (99%), indien de verblijftijd voldoende groot wordt gekozen. Uit economische overwegingen is dit echter soms niet haalbaar.

1.5 Diepkoeling

Door het verlagen van de temperatuur of verhogen van de druk kunnen VOS condenseren en aldus als condensaat afgescheiden worden. Een mogelijke onderverdeling van diepkoeling betreft:

- condensatie tot $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ in één stap of eventueel tot $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ in twee stappen, waarbij conventionele koelmiddelen worden toegepast;
- cryogene condensatie met behulp van vloeibare stikstof. Hierbij zijn veel lagere temperaturen mogelijk ($-196\text{ }^{\circ}\text{C}$). In de praktijk worden dan overigens vaak temperaturen van -90 tot $-110\text{ }^{\circ}\text{C}$ toegepast.

Meestal wordt indirecte condensatie via een warmtewisselaar toegepast. Om voldoende verwijdering te realiseren zal voor de meeste VOS een lage temperatuur moeten worden gerealiseerd, zodat 'conventionele' condensatie dan niet in aanmerking komt. Cryogene condensatie is de afgelopen jaren bij enkele Nederlandse bedrijven met succes geïntroduceerd. Het betreft behandeling van geringe afgasstromen ($100\text{--}200\text{ m}^3/\text{u}$) met hoge concentratie (ca. 50 g/m^3). Cryogene condensatie wordt voor grotere debieten en lagere concentraties door de leveranciers als niet technisch haalbaar en economisch verantwoord beschouwd. Er zal dan eerst een voorconcentreringsproces moeten plaatsvinden. Indien bij het bedrijf geen vloeibare stikstof wordt toegepast, is cryocondensatie economisch minder interessant, omdat dan alleen voor de afgasreiniging stikstof wordt verbruikt en er geen hergebruik van de stikstof mogelijk is. Verstopping van de condensor door aanvriezing (vocht uit afgas of uit de omgeving (lekken)) kan worden voorkomen door een goede directe condensaatafvoer. Het verwijderingsrendement van de cryogene installatie is meestal ca. 96 tot 99%. Indien aan lage emissiegrenswaarden moet worden voldaan is een nageschakeld adsorptiefilter nodig (bijvoorbeeld actieve kool of zeolieten). Door de concentrering neemt de concentratie VOS sterk toe waarbij explosie-veiligheidsgrenzen kunnen worden overschreden. Soms kan dan de voor het afzuigen gebruikte lucht worden vervangen door de bij de cryocondensatie vrijkomende inerte stikstof.

1.6 Voorconcentreringsproces door membraanscheiding

Membraanscheiding is gebaseerd op de selectieve doorlaatbaarheid van membranen voor bepaalde componenten. Hierdoor leidt membraanscheiding altijd tot een geconcentreerde afgasstroom en een 'schone' afgasstroom. De voor gasscheiding gebruikte membranen bestaan uit asymmetrische holle-vezels. Membraanscheiding kan worden toegepast om bij lage VOS-concentraties een vóórconcentreringsproces te realiseren.

verkrijgen. Vervolgens kan een afgasreinigingstechniek toegepast worden. Op korte termijn is nog geen doorbraak op het gebied van reiniging van VOS-houdende afgasen te verwachten, anders dan voor specifieke toepassingen, zoals benzinedamptertugwinning bij benzinedepots. Het betreft installaties voor behandeling van enkele honderden m³/uur met zeer hoge VOS (=benzine)-concentraties (enkele tientallen g/m³). Terugwinning ten behoeve van hergebruik is in dergelijke gevallen mogelijk.

1.7 Voorconcentrerings met concentratierotor

Bij een concentratierotor wordt de VOS-concentratie van het te behandelen afgas met een factor 10 tot 20 verhoogd en daarmee het debiet met dezelfde factor verkleind. Het principe is gebaseerd op adsorptie aan gegranuleerde actieve kool (of actieve koolvezel), gevolgd door desorptie met verwarmde lucht met een ten opzichte van het oorspronkelijke afgas verlaagd debiet. Het desorptiegas moet vervolgens worden behandeld, bijvoorbeeld via naverbranding of diepkoeling. De concentratierotor wordt toegepast om bij lage VOS-concentraties een vóórconcentrerings te verkrijgen. In Duitsland zijn diverse installaties in bedrijf in combinatie met een nageschakelde naverbrander. Als ondergrens geldt een concentratie van ca. 50 mg/m³ in de te behandelen afgasstroom en als bovengrens ca. 1500 mg/m³. Belangrijke aan het afgas te stellen randvoorwaarden zijn gelijk aan die bij andere actieve kool installaties.

1.8 Literatuur

- [1] Onderzoek emissiebeperkende technieken bij puntbronnen met lage VOS-concentraties, deel 1,2 en 3, DHV Milieu en Infrastructuur, Ministerie van VROM, augustus 1993.
- [2] Monografieën informatiesysteem technieken Compartiment Lucht, TNO-MT en RIVM-LAE, rapportnr. 736101007, herziene uitgave, augustus 1992.
- [3] Projectbureau KWS 2000, diverse factsheets:
 1. Beschikbare nageschakelde technieken voor de beperking van VOS-emissies in de chemische industrie, 1991.
 2. Puntbronnen met een concentratie groter dan 0,5 gewichtsprocent vluchtige organische stoffen, 1991.
 3. Dampverwerking bij benzinedepots, 1991.
- [4] Handboek Modelvoorschriften Luchtverontreiniging, hoofdstuk 5.3, Ministerie van VROM, 1991.
- [5] Fortschritte bei der thermischen, katalytischen und biologischen Abgasreinigung, VDI Berichte, 1993.
- [6] Biologische abgasreinigung, VDI Berichte 1104, 1994.

2 Technieken voor beperking van stof-emissies

2.1 Algemeen

De werking van de standaardtechnieken voor beperking van stofemissies is gebaseerd op een aantal eigenschappen van het af te scheiden stof (deeltjesgrootte, dichtheid, geleidbaarheid, bevochtigbaarheid) en het benutten van verschillende krachten en effecten, waarvan de belangrijkste zijn: zwaartekracht, massatraagheid, elektrostatische krachten, zeefwerking en diffusie (= 'Brownse beweging') van stofdeeltjes. Bij de meeste stofafscheidingssystemen spelen meerdere basisprincipes een rol.

In deze § is beknopte informatie opgenomen over technieken voor beperking van stofemissies. Voor meer gedetailleerde informatie over dergelijke technieken wordt verwezen naar de literatuur.

In tabel 1 is de praktische toepasbaarheid weergegeven van de verschillende technieken.

Tabel 1 Toepasbaarheid stofafscheidingstechnieken

Techniek	Temperatuur		Stofvorm		Restemissie ¹⁾
	>200 °C	>300 °C	vast	vloeibaar	mg/m ³
Cycloon	x	x	x	x	100-300
Multicycloon	x	x	x	x	50-100
Hoge druk natte stofvanger	x	-	x	x	5-75
Elektrofilter (droog)	x	x	x	-	5-75
Elektrofilter (nat)	x	x	x	x	1-75
Doekfilter	x	-	x	-	1-25
Absoluut filter	-	-	x	-	<0,1
Mistfilter	x	-	-	x	10-50

¹⁾ In de praktijk realiseerbare waarden, die echter sterk afhankelijk zijn van de voorbelasting en de deeltjesgrootte van het stof.

2.2 Mechanische afscheiders

De belangrijkste mechanische afscheiders zijn cyclonen en multicyclonen. De werking van cyclonen is gebaseerd op de centrifugale werking (massatraagheid), zodat de soortelijke massa van het stof de afscheiding bepaalt. Cyclonen zijn goed toepasbaar voor deeltjes tot 10 µm (95% afscheidingsrendement). Voor deeltjes tussen 5 en 10 µm is het rendement ca. 80%, terwijl het rendement van deeltjes kleiner dan 5 µm gering is.

Multicyclonen bestaan uit een aantal parallel geschakelde cyclonen, waarbij de lucht-toe- en afvoer en de stofafvoer voor alle cyclonen gezamenlijk plaatsvindt. Het verwijderingsrendement is hoger dan van een cycloon met dezelfde capaciteit. In verband met de relatief hoge restemissie zijn (multi-)cyclonen in veel gevallen alleen als voorafscheider geschikt.

Algemeen zijn de voor- en nadelen van mechanische afscheiding:

Voordelen:

- relatief lage drukval;
- bedrijfszeker;
- hoge temperatuur toelaatbaar (tot 1000 °C);
- compact;
- geschikt voor vloeistof en kleverige stoffen;
- geen brandgevaar bij vonken;
- relatief lage investeringskosten en bedrijfskosten.

Nadelen:

- lage afscheidingsgraad, hoge restemissie;
- restemissie afhankelijk van het aanbod (goede verwijdering alleen gegarandeerd bij constante afgascondities).

2.3 Natte stofvangers

Er bestaan veel typen natte stofvangers, bijvoorbeeld ingedeeld op basis van de uitvoering van de wassactie:

- zonder inbouw : sproeitors, venturiwasser;
- met inbouw : gepakte kolom, rotatiewasser, wervelwasser;
- overig : combinatie van wervel- en venturiwasser, schoepenafscheider.

In natte stofvangers vindt afscheiding plaats door botsing van druppels met deeltjes en daarnaast botsing van deeltjes met het vloeistofoppervlak (massatraagheid en Brownse beweging). De deeltjes hechten zich aan de vloeistof. Een goed contact tussen gas en vloeistof (meestal water) verbetert de afscheiding. Dit kan plaatsvinden door vloeistof met hoge druk (fijn verdeeld) in het afgas te spuiten zoals bij sproeiwassers en venturiwassers of door het afgas met hoge snelheid (en daardoor hoge drukval) door de vloeistof te leiden (wervelwassers) of door de vloeistof over een pakking fijn te verdelen. In de meeste typen natte stofvangers zijn meerdere methoden van gas-vloeistof vermenging gecombineerd. Het rendement van lage- en middeldrukwassers is in het algemeen onvoldoende om aan de emissiegrenswaarde van 10 mg/m³ te voldoen.

Natte stofvangers kunnen goed worden toegepast bij erg vochtige afgassen en bij kleverige stoffen. Een voordeel is dat natte stofvangers tevens als koeler, bevochtiger en gaswasser, eventueel gelijktijdig, kunnen fungeren.

Algemeen zijn de voor- en nadelen van natte stofvangers:

Voordelen:

- compact;
- geschikt voor vochtige afgassen en kleverige stoffen;
- gelijktijdige afvangst van gasvormige componenten.

Nadelen:

- afvalwater;
- hoge energiekosten voor relatief hoog verwijderingsrendement;
- verwijderingsrendement afhankelijk van de bevochtigbaarheid.

2.4 Doekfilters

Doekfilters vangen stof af op een dicht weefsel (tegenwoordig voornamelijk kunststoffen), waarbij de belangrijkste afvangsprincipes zijn: botsing, Brownse beweging en zeefwerking. De laag stof, die zich op en in de buitenste laag van het weefsel opbouwt, fungeert ook als filter. Hierdoor neemt het afscheidingsrendement bij een schoon filter in eerste instantie enigszins toe en is het rendement onafhankelijk van de ingangconcentratie stof. Doekfilters zijn onder meer in te delen naar de vorm en aard van het filterweefsel:

- slangenfilter, bestaande uit verticale filterslangen bevestigd op een korfconstructie;
- enveloppen- of cassettefilter, bestaande uit horizontale filtercassettes (voorzien van een raamwerk);
- lamellenfilters, bestaande uit horizontale filterelementen ('lamellen') van gesinterd polyetheen (meestal met een PTFE-coating).

Daarnaast bestaan sinds enige jaren de 'compact filters'. Hierbij zijn, in een constructie vergelijkbaar met de enveloppenfilter, de filtercassettes vervangen door vormvaste compactfilterelementen zonder ondersteuningsraamwerk.

Bij doekfilters bestaan in principe 3 methoden voor verwijdering van de stoflaag: mechanisch kloppen, omkeren van de gastoevoer (terugblazen) en een persluchtpuls. In de praktijk wordt reiniging door middel van perslucht de laatste jaren steeds meer toegepast. Deze methode wordt ook bij de lamellen- en compactfilters gebruikt. Het vuile gas stroomt meestal van buiten naar binnen door het filterdoek. Het stof verzamelt zich dan aan de buitenzijde. De reiniging vindt 'on-line' plaats. Dit heeft als voordeel ten opzichte van off-line reiniging, dat er geen overdimensionering hoeft plaats te vinden van het benodigde filterdoekoppervlak. De doekbelasting van doekfilters wordt uitgedrukt in $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$ of $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{uur})$. De ontwikkeling van de laatste tijd is dat de belasting wordt verminderd, omdat dit diverse voordelen heeft: lagere restemissie, langere standtijd, lagere drukval. In het algemeen worden de volgende belastingen toegepast:

- slangen- en enveloppenfilters : 1,0-3,0 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$;
- lamellenfilters : 1,0-1,3 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$;
- compactfilters : 1,0-1,5 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$.

Doekfilters worden in een grote verscheidenheid van bedrijven toegepast. Speciale toepassingsgebieden zijn kleverige en/of vochtige stoffen, waarbij toeslagstoffen worden toegepast (bijvoorbeeld kalk) om 'plakken' te voorkomen.

Door toepassing van speciale materialen (zie tabel 3) kunnen doekfilters steeds vaker worden toegepast, waar dat in het verleden niet mogelijk was.

Met doekfilters zijn, ook voor fijn stof ($< 10 \mu\text{m}$), in het algemeen hoge afscheidingsrendementen te behalen (99% of meer).

Kosteneffectiviteit van milieumaatregelen in de industrie - Vaststellen van het referentiekader - Eindrapport

De emissiegrenswaarde van 10 mg/m^3 zal meestal goed haalbaar zijn, terwijl de feitelijke restemissies nog lager zijn. Voor lamellen- en compactfilters wordt vaak een restemissie van 1 mg/m^3 gegarandeerd.

De belangrijkste voor- en nadelen van doekfilters zijn in het algemeen:

Voordelen:

- hoog verwijderingsrendement;
- restemissie onafhankelijk van aanbod;
- relatief lage drukval.

Nadelen:

- temperatuurgevoelig;
- groot ruimtebeslag;
- problemen met kleverige stoffen en gasen met een hoog dauwpunt.

2.5 Elektrofilters

Elektrofilters ('elektrostatische afscheiders' of 'E-filters') maken gebruik van elektrostatische oplading van deeltjes.

Deeltjes worden door middel van oplaadings elektroden (of 'sproeielektroden') opgeladen en afgescheiden op de neerslagelektroden.

Ter verbetering van het totale afscheidingsrendement worden eventueel meerdere secties in serie geplaatst (bijvoorbeeld 2- of 3-veldsfilter). De gelijkspanning tussen de elektroden is ca. 20-100 kV. Bij afscheiding van droog stof wordt het stof van de neerslagelektroden verwijderd door periodiek te 'kloppen'.

Vloeistoffen en kleverige stoffen kunnen door middel van 'natte' E-filters (of 'condensatie'-elektrofilters) worden verwijderd. Hierbij wordt het inlaatgas meestal bevochtigd door versproeien van water. Afvoer van het stof vindt plaats via een vloeistoffilm op de neerslagelektroden en door regelmatig spoelen van de neerslagelektroden met water. E-filters kunnen bij hoge temperatuur worden toegepast (tot ca. $350 \text{ }^\circ\text{C}$). De elektrische stoffeigenschappen zijn van belang. Zowel een zeer lage als een zeer hoge geleidbaarheid is nadelig.

E-filters vinden toepassing in onder andere de staalindustrie, cementindustrie, kolen-gestookte elektriciteitscentrales en vuilverbrandingsinstallaties. In het algemeen worden E-filters bij grote afgasdebieten ($50.000 \text{ m}^3/\text{uur}$ of meer) toegepast, in verband met de hoge investeringskosten. De elektriciteitskosten voor opwekken van het elektrische veld en de ventilator zijn relatief laag ($0,2\text{-}0,4 \text{ kWh}/1000 \text{ m}^3$).

De haalbare restemissie is sterk afhankelijk van de belasting en de deeltjesgrootte. Eventueel kan de emissiegrenswaarde van 25 mg/m^3 worden gehaald door toevoeging van één of meer extra velden. Dit vereist echter hoge investeringskosten. Een ontwikkeling van de laatste jaren is de ombouw van E-filters voor specifieke toepassingen (bijvoorbeeld cementindustrie) naar doekfilters. De beschikbare ruimte is meestal ruim voldoende, zodat een relatief lage doekbelasting (bijvoorbeeld $1,0 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{min.}$) kan worden gebruikt. Hierdoor kan goed aan de gewenste emissiegrenswaarde worden voldaan.

Kosteneffectiviteit van milieumaatregelen in de industrie - Vaststellen van het referentiekader - Eindrapport

De voor- en nadelen van E-filters zijn in het algemeen:

Voordelen:

- lage drukval en laag (totaal) energieverbruik;
- toepasbaar bij hoge temperatuur;
- hoog afscheidingsrendement;
- toepasbaar voor zeer grote debieten.

Nadelen:

- restemissie afhankelijk van het stofaanbod;
- afscheidingsrendement afhankelijk van de stofgeleidbaarheid;
- groot ruimtebeslag voor hoge rendementen (meerveldsfilter).

2.6 Diepbedfilters

Bij diepbedfiltratie worden stof- en/of vloeistofdeeltjes afgescheiden met een filtermedium, waarbij de filterwerking zeer vaak wordt herhaald. Deze filters worden vooral voor vloeistofdeeltjes (inclusief vetdeeltjes) toegepast, de zogenaamde mistfilters of demisters. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van verwisselbare 'wegwerpfilters' of reinigbare filters.

Het filtermateriaal kan bestaan uit glasvezel of kunststof.

Bij mistfilters wordt meestal eerst het afgas gekoeld om een nevel te vormen om deze vervolgens in het vezelbed af te vangen. Het afgevangen materiaal loopt grotendeels vanzelf uit het filter, mits het voldoende vloeibaar is.

Het rendement van reinigbare filters is voor deeltjes groter dan $0,5 \mu\text{m}$ 99 tot 99,9% en voor deeltjes kleiner dan $0,5 \mu\text{m}$ ca. 95-99%. De restemissie is ca. 10 tot 50 mg/m^3 . De drukval varieert van 2 tot 5 kPa. Diepbedfilters, en met name mistfilters, worden in uiteenlopende bedrijfstakken toegepast, onder andere in bedrijven waar oliën en vetten worden verwerkt.

Voor- en nadelen van mistfilters zijn in het algemeen:

Voordelen:

- geschikt voor vloeistoffen;
- relatief lange standtijden;
- relatief lage investeringskosten.

Nadelen:

- reiniging vaak ingewikkeld;
- afvalwater (in geval van reiniging);
- afvalstoffen (in geval van eenmalig gebruik).

2.7 Oppervlaktefilters

Bij oppervlaktefiltratie wordt stof afgescheiden op een oppervlak, waarbij het werkingsprincipe de zeefwerking is. De belangrijkste uitvoeringsvormen zijn:

- 'conventionele' doekfilters voorzien van een membraan (meestal teflon);
- patronenfilters;
- absoluutfilters (of HEPA = High Efficiency Particulate Air filter).

Kosteneffectiviteit van milieumaatregelen in de industrie - Vaststellen van het referentiekader - Eindrapport

Patronenfilters bestaan uit cilinders waarin een niet geweven materiaal ('non-woven') is aangebracht. Per filterpatroon is de capaciteit meestal 2000-3000 m³/uur. Het filtermateriaal kan bestaan uit onder andere polyester en katoen. De maximum temperatuur is hierdoor beperkt. Het beschikbare oppervlak per volume-eenheid is hoger dan bij doekfilters, maar de filterbelasting is lager. De restemissie is minder dan 1 mg/m₀³, ook voor zeer fijn stof.

Reiniging is soms mogelijk door middel van perslucht. Indien dit niet kan, moeten de patronen regelmatig worden verwisseld (standtijden: 5000-10.000 uur).

Indien een nog hoger afscheidingsrendement wordt vereist met lagere restemissies spreekt men van 'absoluutfilters' of HEPA-filters. Meestal bestaat het filtermateriaal uit glasvezel, versterkt met steunweefsel (papier). Ook bij absoluutfilters is soms reiniging door middel van perslucht mogelijk. Per definitie dienen absoluutfilter een vangstrendement van 99,97% te hebben voor de moeilijkst vangbare fractie, dat wil zeggen 0,2-0,3 µm (= filterklasse S). Vaak worden in de praktijk nog hogere rendementen bereikt. Bij 1 g/m₀³ in de inlaat kan 0,001 mg/m₀³ als restemissie worden bereikt. Vaak wordt 0,01 mg/m₀³ als garantiewaarde gegeven. De inlaatconcentratie mag echter niet hoger zijn dan ca. 1 g/m₀³. De drukval is bij absoluutfilters ca. 2-3 kPa.

Absoluutfilters vinden toepassing in bedrijven waar de verwerkte producten zeer kostbaar of zeer schadelijk kunnen zijn of als de afgezogen lucht weer in de werkruimte wordt teruggevoerd om op energie voor ruimteverwarming te besparen.

Voorbeelden zijn de farmaceutische industrie, asbestproducten verwerkende bedrijven, pigmentindustrie. Daarnaast worden absoluutfilters gebruikt om stofvrije ruimten te creëren zoals bijvoorbeeld is vereist in de elektronische industrie.

Voor- en nadelen van oppervlakte filtratie zijn in het algemeen:

Voordelen:

- hoge afscheidingsrendementen en lage restemissies;
- eenvoudige bedrijfsvoering.

Nadelen:

- alleen geschikt voor relatief schone afgassen (met lage stofconcentraties);
- mechanisch kwetsbaar;
- hoge drukval;
- reiniging vaak moeilijk of niet mogelijk (afvalstoffen).

3 DeNO_x-technieken

3.1 Selectieve Katalytische Reductie (SCR/SKR)

Alle SCR-technieken zijn gebaseerd op het principe van reductie van NO_x (grotendeels NO en een gering deel NO₂) tot N₂ en waterdamp. Om de reactie snel en volledig te laten verlopen bij niet al te hoge temperatuur (ca. 350 °C) wordt een katalysator toegepast. Meestal wordt ammoniak (NH₃ als gas of opgelost in water) als reductiemiddel gebruikt. In sommige gevallen kunnen katalysatoren worden toegepast, die bij lagere temperatuur reeds een goede omzetting geven (bijvoorbeeld het Shell DeNO_x-proces). De meest toegepaste katalysatoren bestaan uit V₂O₅ op een TiO₂- of Al₂O₃-basis. Meestal wordt een vast katalysatorbed gebruikt, bijvoorbeeld het honingraat-type. Een NO_x-omzettingsrendement van 80 tot 90% is in het algemeen mogelijk. Doordat een gering deel van de ammoniak niet wordt omgezet, ontstaat een kleine ammoniak-emissie (NH₃-slip), die ca. 1-5 mg/m³ bedraagt. Overmatig stof kan een probleem zijn, bijvoorbeeld doordat de drukval over het bed toeneemt, zodat plaatsing van de SCR-installatie vaak na een stoffilter gebeurt.

SCR wordt veel toegepast bij (kolengestookte) energiecentrales en afvalverbrandingsinstallaties. Daarnaast vindt steeds meer toepassing bij behandeling van andere NO_x-emissies plaats.

3.2 Selectieve Niet-Katalytische Reductie (SNCR/SNKR)

Bij SNCR vindt eenzelfde reductiereactie plaats als bij SCR, maar zonder gebruik te maken van een katalysator. Dit betekent, dat een veel hogere temperatuur noodzakelijk is om een voldoende mate van omzetting te verkrijgen (ca. 850 tot 1000 °C). Vanwege deze vereiste temperatuur wordt deze vooral toegepast bij energiecentrales en afvalverbrandingsinstallaties, waarbij de ammoniak direct in de hete rookgassen wordt geïnjecteerd. Er is een relatief grote overmaat ammoniak nodig, zodat altijd een nageschakelde wasser nodig is en tevens een stripper om de ammoniak uit het waswater te verwijderen ten behoeve van hergebruik. Het haalbare verwijderingsrendement voor NO_x is veel lager dan van een SCR, namelijk ca. 50%.

3.3 Gaswasser

Gebruik van absorptie (gaswassing) in water is alleen toepasbaar voor een aantal industriële processen, waarbij geconcentreerde nitriet- en/of nitraatoplossingen nuttig in het proces kunnen worden toegepast. Dit is bijvoorbeeld mogelijk bij de salpeterzuurfabrikage. In het onderzoek is één gaswasser opgenomen. Het NO_x-verwijderingsrendement is relatief laag, terwijl de restconcentratie relatief hoog is. Indien nodig in verband met lage emissiegrenswaarden, kan een SCR-installatie worden nageschakeld.

3.4 Overige technieken

Naast de hierboven beschreven technieken, bestaan nog een aantal andere methoden om de NO_x-emissies te reduceren.

Tot deze categorie behoren methoden, waarmee door insputting van een inerte component de vlamtemperatuur wordt verlaagd, zoals:

- waterinjectie;
- stoominjectie.

Daarnaast kunnen 'droge' methoden worden onderscheiden. Bij deze methoden wordt de NO_x-emissiereductie bereikt door:

- getrapte verbranding;
- voormengen van brandstof en lucht;
- hybride (combinatie van beide technieken).

Deze DeNO_x-technieken zijn recentelijk gedemonstreerd bij onder meer gas-motoren en stookinstallaties [Senter, 1993], [Novem, 1993], [Novem, 1994].

4 Rookgasontzwavelingstechnieken

4.1 Haldor Topsoe proces (zwavelzuur)

Bij dit proces wordt SO_2 bij een temperatuur van ca. $400\text{ }^\circ\text{C}$ in een katalysatorbed omgezet in SO_3 . Vervolgens vindt koeling plaats tot ca. $100\text{ }^\circ\text{C}$, waarbij de SO_3 wordt gehydrolyseerd tot zwavelzuur (H_2SO_4 , 93-98 gew.%). De gereinigde afgassen worden tenslotte door een demister gevoerd om eventueel gevormde aerosolen af te voeren.

Het toepassingsgebied omvat onder andere energiecentrales en zwavelzuurfabrieken. In het onderzoek zijn twee industriële installaties opgenomen. Bij één installatie was sprake van een voorgeschakelde H_2S -oxidatie stap, die in de kostenberekening is meegenomen.

4.2 Lo-cat proces

Met het Lo-cat proces kunnen diverse zwavelverbindingen worden verwijderd, zoals H_2S , COS en CS_2 . Het belangrijkste onderdeel is een oxidatie in de vloeistoffase (Lo-cat vloeistof). Het gehele proces bestaat uit de volgende onderdelen:

- gaswassers;
- reactor voor verwijdering van zuurstof;
- hydrolysereactor;
- absorbers;
- Lo-cat reactor;
- zwavelsmelter;
- zwavelscheiding.

In de gaswasser worden hogere koolwaterstoffen, zand en cokes afgevangen (wassen met water). Vervolgens moet zuurstof worden verwijderd, omdat zuurstof storingen in het verdere proces kan veroorzaken. In een katalysatorbed reageert de zuurstof met waterstof bij ca. $150\text{ }^\circ\text{C}$ tot water. In de hydrolysereactor worden COS en CS_2 in aanwezigheid van een katalysator bij ca. 150 tot $300\text{ }^\circ\text{C}$ in H_2S omgezet. In de Lo-cat reactor wordt H_2S in een licht alkalische oplossing met Fe^{3+} geoxideerd tot elementair zwavel. Het gereduceerde Fe^{2+} wordt vervolgens met zuurstof geoxideerd tot Fe^{3+} , dat opnieuw wordt gebruikt. De zwavelhoudende slurry wordt verpompt naar een zwavelsmelter ($140\text{ }^\circ\text{C}$) en vervolgens naar een scheider (zwaartekracht). De afgescheiden zwavel kan worden verkocht of hergebruikt, terwijl de Lo-cat vloeistof wordt gerecirculeerd en hergebruikt in de Lo-cat reactor. Overigens is de marktprijs voor elementair zwavel momenteel gering.

4.3 Kalksteenwassing (gipsproduktie) bij energiecentrales

De installatie is gebaseerd op omzetting van kalksteen (CaCO_3) in gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) via het IFO-proces (in situ forced oxidation). Het gips wordt vervolgens afgevangen. Het totale proces omvat een kalksteensuspensie-aanmaak systeem, de eigenlijke rookgaswasser, de gipsontwatering en de afvalwaterbehandeling [Novem, 1992].

*Kosteneffectiviteit van milieumaatregelen in de industrie - Vaststellen van het referentiekader -
Eindrapport*

**Bijlage 5 Toelichtende brief van VROM ten behoeve van
inventarisatie**



Ministerie van Volkshuisvesting,
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer
Directoraat-Generaal Milieubeheer
Rijnstraat 8, 2515 XP DEN HAAG
Postbus 30945, 2500 GX DEN HAAG
Tel. 070-3393939/Fax. 070-3391322

DIRECTORAAT-GENERAAL MILIEUBEHEER
Hoofddirectie Milieukwaliteit en
Emissiebeleid
Directie Lucht en Energie
Afdeling Bedrijven

Uw kenmerk	Uw brief	Kenmerk	Datum
		DGM/LE/Bd/hBd STANDTEC.BR10 MBL	
Onderwerp			
Studie "Kosteneffectiviteit"			

Door het ministerie van VROM is de afgelopen jaren in samenspraak met andere overheden en bedrijfsleven uitvoeringsgericht beleid ontwikkeld, gericht op de toepassing van Stand der Techniek. Voorbeelden hiervan zijn de Nederlandse Emissie Richtlijnen (NER) en het programma Koolwaterstoffen 2000 (KWS 2000). In zowel onderdelen van de NER als van KWS 2000 is kosteneffectiviteit (KE) genoemd als een van de toetsingscriteria voor het bepalen van de redelijkheid van een milieuvoorziening.

Omdat voor toepassing van KE op het niveau van installaties bij een individueel bedrijf nog onvoldoende bekend is, is hiernaar door het ministerie een onderzoek gestart.

Doel van dit onderzoek is enerzijds het vaststellen van een eenduidige methodiek voor de berekening van KE en anderzijds het verzamelen van praktijkgegevens die - ingevuld in genoemde methodiek - een beeld scheppen van de KE van het huidige milieuvoorzieningsniveau in Nederland. Gezien de complexiteit van het onderzoek richt dit zich vooralsnog op installaties ter beperking van de emissies van stof, koolwaterstoffen, SO₂ en NO_x.

Het onderzoek zal vooral gericht zijn op nageschakelde technieken en (beperkte) aanpassingen aan installaties/proces-units, die als gebruikelijk kunnen worden aangemerkt. Echte proces geïntegreerde oplossingen vallen vooralsnog buiten de scope van deze studie.

Het onderzoek wordt verricht in opdracht van het ministerie van VROM. Voor de begeleiding van het onderzoek, dat is afgestemd met de Stuurgroep Lucht van VNO/NCW, is een begeleidingscommissie samengesteld waarin naast vertegenwoordigers van provincies, NER, KWS 2000 en Technische Universiteit Twente, het bedrijfsleven participeert met vertegenwoordigers van FME, VNCI en BMRO (VNO/NCW).

Bijlagen

Verzoeken bij beantwoording onderwerp, datum en kenmerk van deze brief te vermelden.

In verband met het overheidsbeleid om het aantal auto-kilometers terug te dringen wordt het zeer op prijs gesteld dat u bij bezoeken aan een VROM-kantoor gebruik maakt van het openbaar vervoer.



Kenmerk

Datum

Bladnummer

- 2 -

De uitvoering van het onderzoek is opgedragen aan TNO, die voor het praktijk-gedeelte samenwerkt met DHV. In overleg met vertegenwoordigers uit de branche-organisaties, is uw bedrijf geselecteerd voor deelname aan deze studie. U zult daartoe binnen afzienbare tijd door vertegenwoordigers van DHV benaderd worden met het verzoek in een of twee gesprekken informatie te verschaffen over kosten en prestaties van bij uw bedrijf geïnstalleerde milieuvoorzieningen.

Voor wat betreft de vertrouwelijkheid van aan u gevraagde gegevens staat mij het volgende voor ogen:

1. De door u verschaft informatie zal worden vastgelegd in een vertrouwelijke - en daarmee niet openbare - bijlage bij het eindrapport. Deze informatie is alleen beschikbaar voor de deelnemers in de begeleidingscommissie en mag daarbij uitsluitend in het kader van deze studie gebruikt worden.
2. De door u verschaft informatie zal na vastlegging ter verificatie aan u voorgelegd worden; na bewerking van deze gegevens zal dit nogmaals geschieden.
3. In het (openbare) eindrapport zullen geen gegevens worden gepresenteerd, waaruit individuele bedrijven herkenbaar zijn.

In verband met het grote belang van dit onderzoek verzoek ik u hieraan uw medewerking te willen verlenen.

Voor meer inhoudelijke informatie kunt u desgewenst contact opnemen met het ministerie van VROM en met onderstaande contactpersonen van de brancheverenigingen:

ir. B.W. Hoekstra (namens ministerie VROM)
tel. 070-3392202

ir. C. Welvaadt (namens FME)
tel. 02514-92643

drs. J.P.A. Derks (namens VNCI)
tel. 070-3378747

dr. C.E. Dutilh (namens BMRO van VNO/NCW)
tel. 015-606525

Hoogachtend,

het afdelingshoofd van de afdeling Bedrijven,

ing. L. de Jonge

*Kosteneffectiviteit van milieumaatregelen in de industrie - Vaststellen van het referentiekader -
Eindrapport*

Bijlage 6 Vragenlijst en begeleidende brief inventarisatie

**BIJLAGE 6 : VRAGENLIJST EN BEGELEIDENDE BRIEF
INVENTARISATIE**

xxx
xxx

Amersfoort, 24 februari 1995

ons kenmerk : MTRE94////
boekingsnummer : H-1221-81-001
project : kosteneffectiviteit van milieumaatregelen
betreft : bedrijfsbezoek

Geachte heer/mevrouw xx,

Zoals toegezegd sturen wij u enige informatie ter voorbereiding van het gesprek, dat wij met u willen voeren over de installatie ??????. Als bijlagen sturen wij een aanbevelingsbrief van het ministerie van VROM over het onderzoek "kosteneffectiviteit van milieumaatregelen" en een vragenlijst van DHV mee.

In opdracht van het Ministerie van VROM voert TNO ME in samenwerking met DHV Milieu en Infrastructuur een onderzoek uit naar de kosteneffectiviteit van emissiebeperkende maatregelen voor de volgende categorieën componenten:

- Stof
- Vluchtige organische stoffen
- Verzurende stoffen (SO₂, NO_x)

Het doel van het onderzoek is tweeledig:

- vaststellen van een éénduidige methodiek voor het berekenen van de kosteneffectiviteit, die bruikbaar is voor zowel vergunningverleners als voor bedrijven.
- een overzicht verkrijgen van de kosteneffectiviteit van reeds gerealiseerde milieumaatregelen ("referentiekader").

Voor een nadere toelichting op het onderzoek verwijzen wij tevens naar de aanbevelingsbrief van het ministerie van VROM.

Het project wordt begeleid door een begeleidingscommissie met vertegenwoordigers van het ministerie van VROM, IPO, Project KWS2000, stafbureau NeR, BMRO (VNO), FME, VNCI, TU Twente.

Het project wordt in drie fasen uitgevoerd:

1. Studie naar ontwikkelingen in binnen- en buitenland ten aanzien van kosteneffectiviteit van maatregelen ter beperking van luchtverontreiniging,
2. Opzetten en vastleggen van een éénduidige berekeningsmethodiek,
3. Inventariseren van reeds gerealiseerde milieumaatregelen in de praktijk en de kosten daarvan. Het gaat om installaties, die zijn te beschouwen als "Stand der techniek". De belangrijkste randvoorwaarden hierbij zijn : de installatie moet (bij voorkeur) voldoen aan de emissiegrenswaarden conform de NeR en het bouwjaar is bij voorkeur van ca. 1990 of recenter.

Op basis van de stand van zaken ten aanzien van de fasen 1 en 2 is door de begeleidingscommissie aangegeven, dat met fase 3 kan worden gestart. De gesprekken met de bedrijven zullen de komende maanden door DHV worden uitgevoerd. Wij zullen ons richten op de volgende technieken:

- VOS :
 - * naverbrander
 - * adsorber
 - * biologische technieken (biofilter, biowasser)
 - * condensatie (incl. cryogene systemen)
- stof :
 - * doekfilter
 - * electrofilter
 - * venturiwasser
- SO₂ :
 - * gaswasser
 - * semi-droge technieken
 - * droge technieken
- NO_x :
 - * SCR
 - * SNCR

Door DHV is een globale voorselectie gemaakt van mogelijk te bezoeken bedrijven. Het betreft bedrijven uit diverse branches (o.a. chemische industrie, metaalindustrie, rubber- en kunststofindustrie, op- en overslagbedrijven, voedingsmiddelenindustrie, textielindustrie). Er is afgesproken, dat bedrijven in eerste instantie zullen worden benaderd door de betreffende brancheverenigingen. Pas in tweede instantie worden uitsluitend die bedrijven, die medewerking willen verlenen, door DHV benaderd. Uit de ervaring met een aantal "voorbereidende" gesprekken is gebleken, dat het feitelijke gesprek per "case" ca. 2 tot 3 uur bedraagt. De totale tijdsbesteding van het bedrijf aan voorbereiding en nazorg kan worden geschat op maximaal 1 dag. De vragenlijst dient

blad 3 van brief ?, d.d. 24 februari 1995

daarbij vooral als handleiding te worden gezien, waarbij een deel van de informatie ter plaatse kan worden aangeleverd en een deel achteraf kan worden doorgegeven.

Na het gesprek wordt door DHV een verslag opgesteld in de vorm van de ingevulde vragenlijst. Dit verslag wordt ter goedkeuring aan het bedrijf gestuurd. Het verslag wordt uiteindelijk als vertrouwelijke (niet-openbare) bijlage bij het (openbare) hoofd-rapport opgenomen. Alle voor een specifiek bedrijf herkenbare gegevens worden niet in dit hoofd-rapport vermeld.

Wij vertrouwen erop u voldoende te hebben geïnformeerd en nemen binnenkort contact met u op.

Hoogachtend,
DHV Milieu en Infrastructuur B.V.

(ir. A. Jol -
Projectleider Luchttechnologie)

Bijlagen

1. vragenlijst (DHV)
2. aanbevelingsbrief van het ministerie van VROM

Bijlage 1 bij brief ////

Vragenlijst "Onderzoek kosteneffectiviteit emissiebeperkende technieken"

1. Beschrijving van de oorspronkelijke situatie

In veel gevallen betreft het de situatie waarbij geen speciale milieumaatregelen zijn getroffen. In een aantal gevallen kan het ook een situatie zijn waarbij een milieumaatregel reeds aanwezig was.

- 1.1 Beknopte beschrijving van de oorspronkelijke emissiesituatie
- 1.2 Onbehandelde massastroom (kg/jaar \pm afwijking) (VOS, stof, SO₂, NO_x)
- 1.3 Vragen die alleen relevant zijn indien er reeds een (oorspronkelijke) milieumaatregel aanwezig was:
 - * Behandelde massastroom (kg/jaar) (VOS, stof, SO₂, NO_x)
 - * Bedrijfsvoering van de oorspronkelijke reeds aanwezige milieumaatregel (verbruik van reststoffen, electriciteit, aardgas, stoom, water, perslucht, materialen, personeelskosten, emissie naar water)

2. Gerealiseerde nieuwe maatregelen

- 2.1 Welke maatregelen zijn gerealiseerd (welke techniek) ten behoeve van vermindering van de emissie, betreft het een vervanging of een aanvulling op een reeds genomen milieumaatregel ?
- 2.2 Waarom is specifiek voor deze techniek gekozen (voor- en nadelen bij de keuze) ?
- 2.3 Welke rol heeft de kosteneffectiviteit van maatregelen gespeeld bij de keuze ?
- 2.4 Positieve en negatieve ervaringen opgedaan met de techniek
- 2.5 Op welke punten kan deze maatregel in de toekomst verder verbeterd worden (bestaan er investeringsplannen ?)

3. Beschrijving van de nieuwe emissiesituatie

- 3.1 Omschrijving van de emissie (conform vergunning/ontwerpeisen installatie)

Afgasdebiet	m^3/u	(standaardomstandigheden, droog)
Bedrijfstijd/emissieduur	uur/jaar	(volgens vergunning en/of ontwerp)
Restemissie (VOS, stof, SO ₂ , NO _x)	kg/jaar	(inclusief nauwkeurigheid)

- 3.2 Wat zijn de jaarlijkse emissies tijdens storingen en onderhoud
- 3.3 Indien metingen zijn uitgevoerd op welke wijze vindt dit plaats en met welke nauwkeurigheid?
- 4. Investeringskosten nieuwe maatregel (excl. BTW)**
 - 4.1 Jaar van investering
 - 4.2 Aanschaffingsprijs milieuvoorziening (evt. opgesplitst in onderdelen)
 - 4.3 Welke belangrijke aanpassingen aan de bestaande proces-installaties zijn nodig geweest?
 - 4.4 Toegerekende investeringen (evt. uitgesplitst naar:)
 - a. Leidingwerk en schoorsteen
 - b. Electrotechnische voorzieningen
 - c. Instrumentatie
 - d. Bouwkundige voorzieningen
 - f. Isolatie
 - g. Bouw- en montagetoezicht
 - h. Engineering (incl. voorbereiding, ontwerp e.d.)
 - i. Overige
 - 4.5 Voor welk deel zijn deze kosten extern uitgevoerd
 - 4.6 Niet-installatiespecifieke bouwkundige investeringen
 - 4.7 Vaststelling van de gehanteerde aardgas- en electriciteitsprijs
 - 4.8 Is subsidie verkregen
 - 4.9 (Verwachte) technische levensduur

blad 6 van brief ?, d.d. 24 februari 1995

5. Vaste en variabele operationele kosten nieuwe maatregel

5.1 Jaar waarop de verstrekte gegevens betrekking hebben

5.2 Kosten onderhoud en bediening
Kosten voor uitvoeren van emissiemetingen
Kosten voor administratie en verzekering

5.3 Kosten voor utilities (electriciteit, aardgas, stoom, water, perslucht, hulpstoffen)

5.4 Reststoffen/overige emissies (naar water)

5.5 Opbrengsten/besparingen (bruikbare restwarmte, herbruikbare reststoffen)

Bijlage 7 Kostenbepalende parameters

7.1 Algemeen

In deze bijlage wordt ingegaan op de mogelijke relaties tussen de berekende kosteneffectiviteit en de belangrijkste bedrijfsspecifieke kostenbepalende factoren.

7.2 Bedrijfsspecifieke kostenbepalende factoren

Voor iedere installatie zijn specifieke factoren van belang, die de kosteneffectiviteit in belangrijke mate bepalen. Zoals overéengekomen in de methodiek zijn bij de berekening van de in het hoofdrapport weergegeven kosteneffectiviteiten deze factoren voor zover mogelijk niet in de berekening meegenomen.

Het is echter zinvol om de belangrijkste in de praktijk voorkomende factoren nader te analyseren om na te gaan hoe groot de gevolgen zijn op de kosteneffectiviteit van het niet meenemen van deze factoren.

Op twee niveaus kan naar verbanden worden gezocht. Ten eerste per stofcategorie en ten tweede binnen deze categorie per techniek. Gezien de beperkte gegevens per techniek is alleen gekeken naar relaties per stofcategorie (VOS, stof, SO₂, NO_x).

De volgende factoren zijn onderzocht als mogelijk het meest bepalend voor de kosteneffectiviteit:

- capaciteit (dat wil zeggen het debiet) (m³/uur);
- belasting (kg/jaar).

In de navolgende figuren zijn de diverse (mogelijke) relaties zichtbaar gemaakt, waarbij de kosteneffectiviteit is weergegeven versus diverse parameters.

figuur 1: kosteneffectiviteit VOS versus het debiet

figuur 2: kosteneffectiviteit VOS versus de belasting

figuur 3: kosteneffectiviteit stof (totaal) versus het debiet

figuur 4: kosteneffectiviteit stof (totaal) versus de belasting

figuur 5: kosteneffectiviteit SO₂ versus het debiet

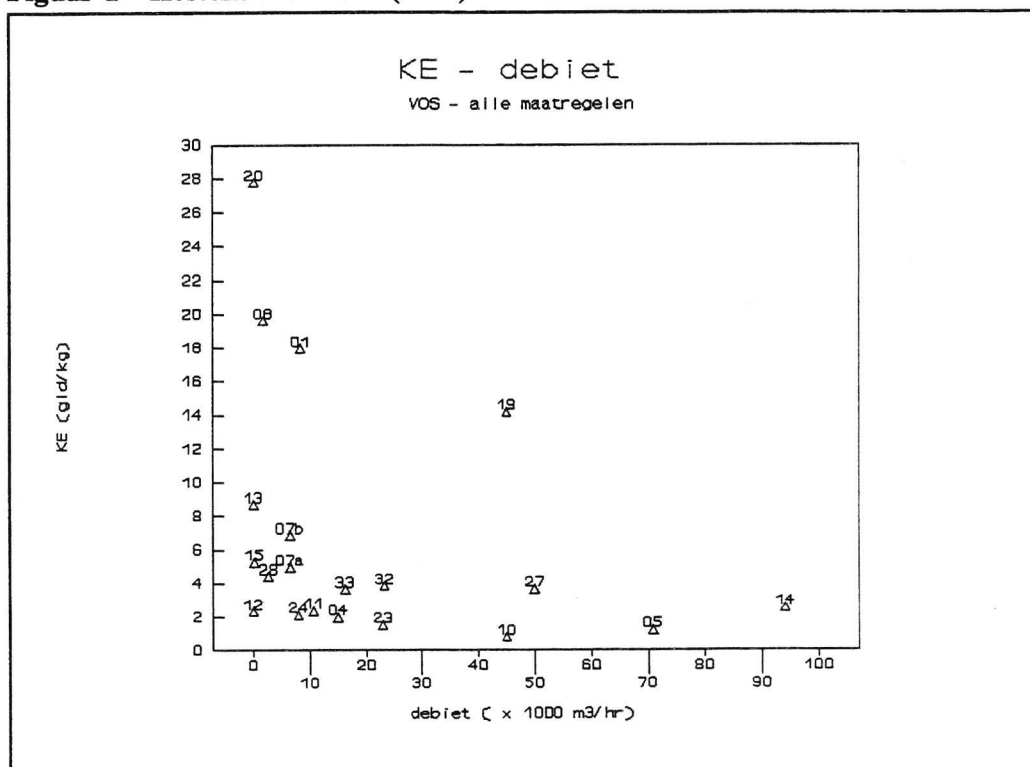
figuur 6: kosteneffectiviteit SO₂ versus de belasting

figuur 7: kosteneffectiviteit NO_x versus het debiet

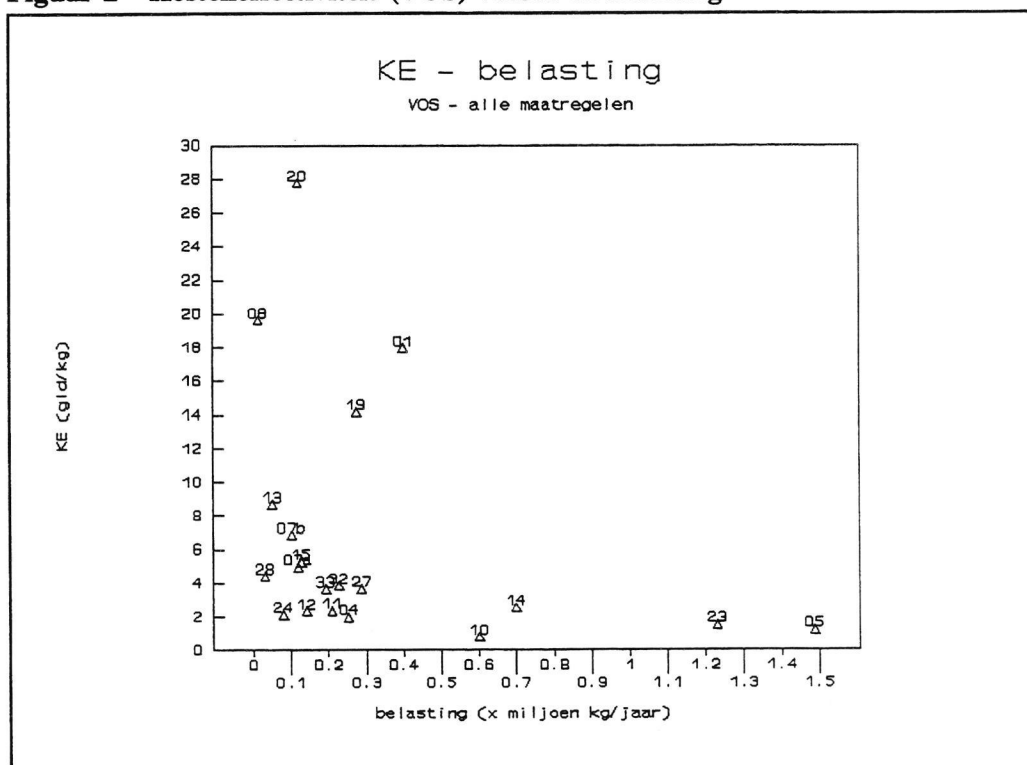
figuur 8: kosteneffectiviteit NO_x versus de belasting

Uit de meeste figuren blijkt, dat bij toenemende belasting en debiet de kosteneffectiviteit gunstiger wordt.

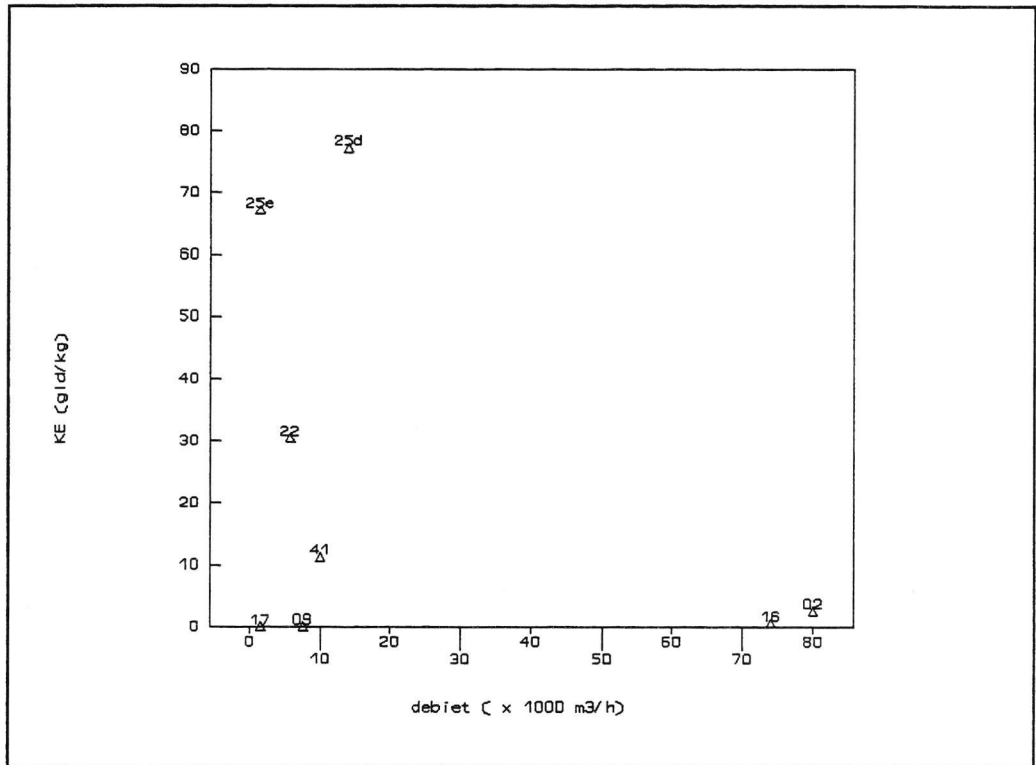
Figuur 1 - Kosteneffectiviteit (VOS) versus het debiet



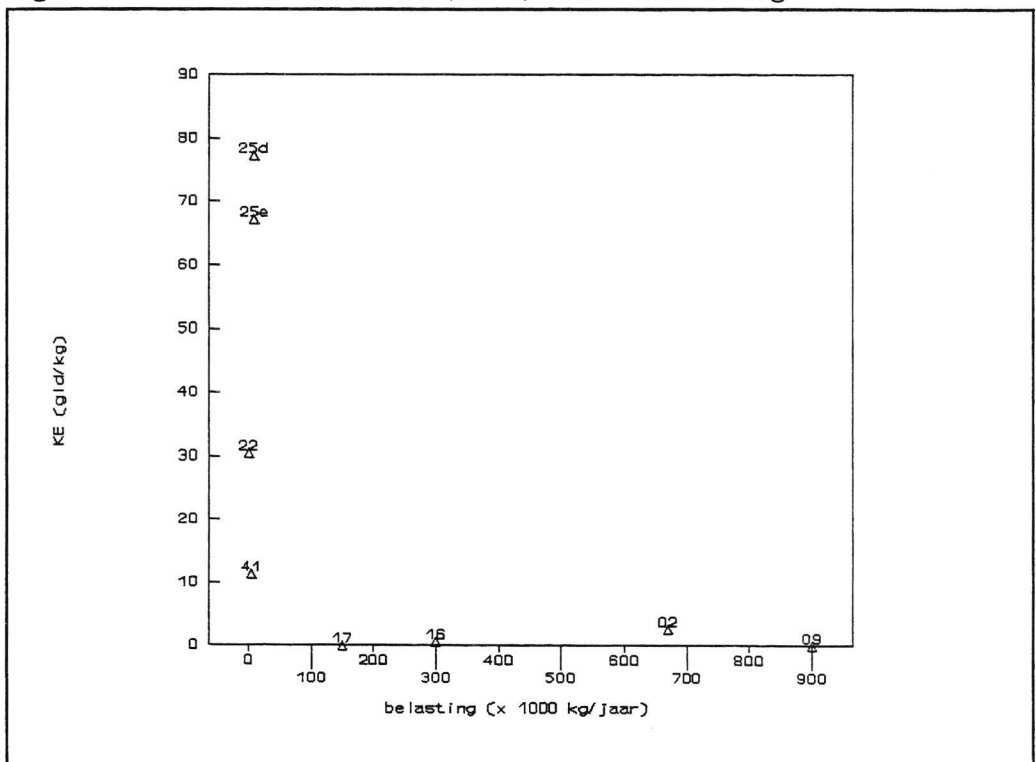
Figuur 2 - Kosteneffectiviteit (VOS) versus de belasting



Figuur 3 - Kosteneffectiviteit stof (totaal) versus het debiet



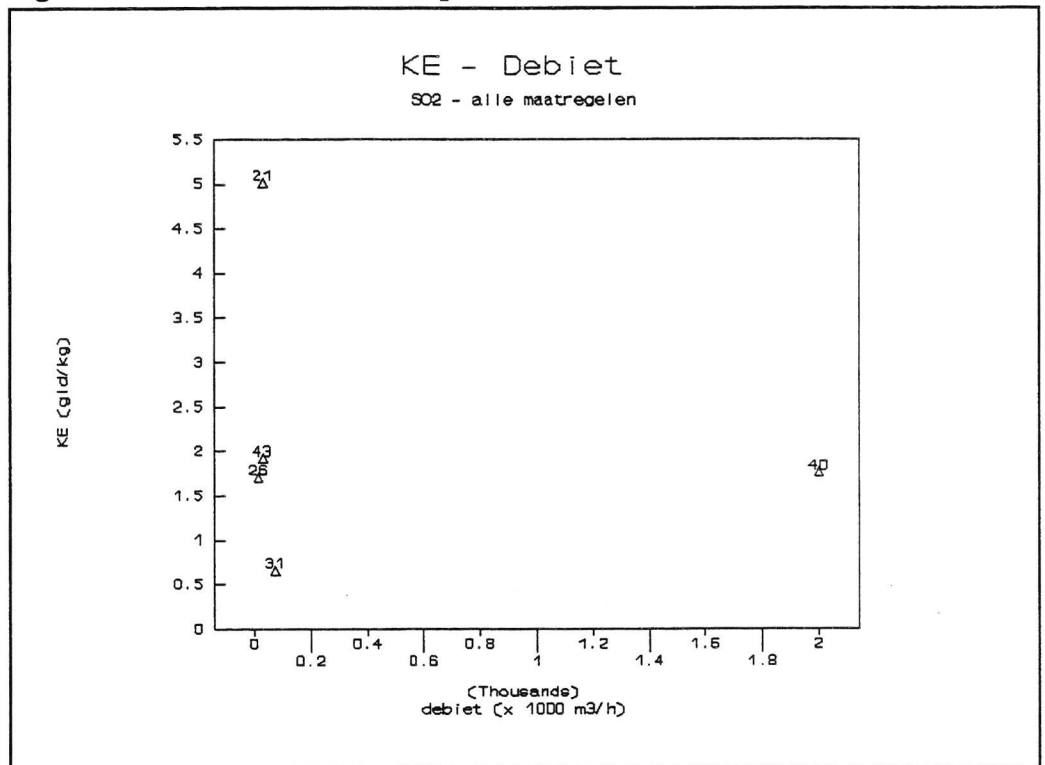
Figuur 4 - Kosteneffectiviteit stof (totaal) versus de belasting



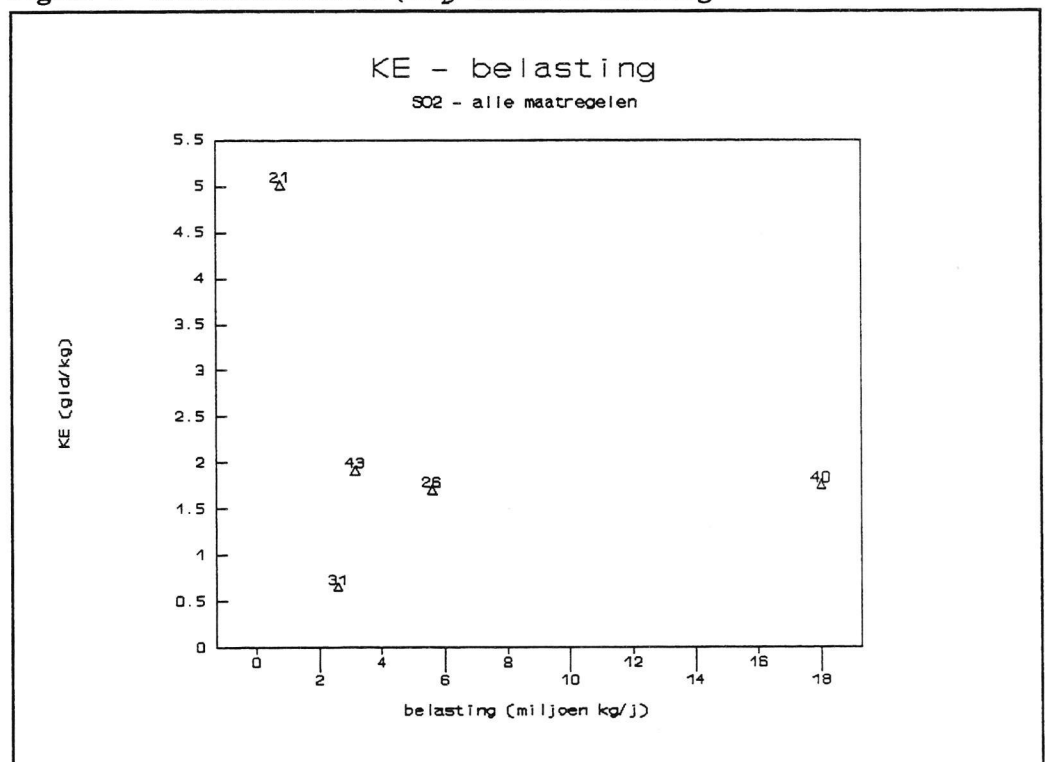
25d = doekfilter (bedrijfnr. 025)

25e = electrofilter (bedrijfnr. 025)

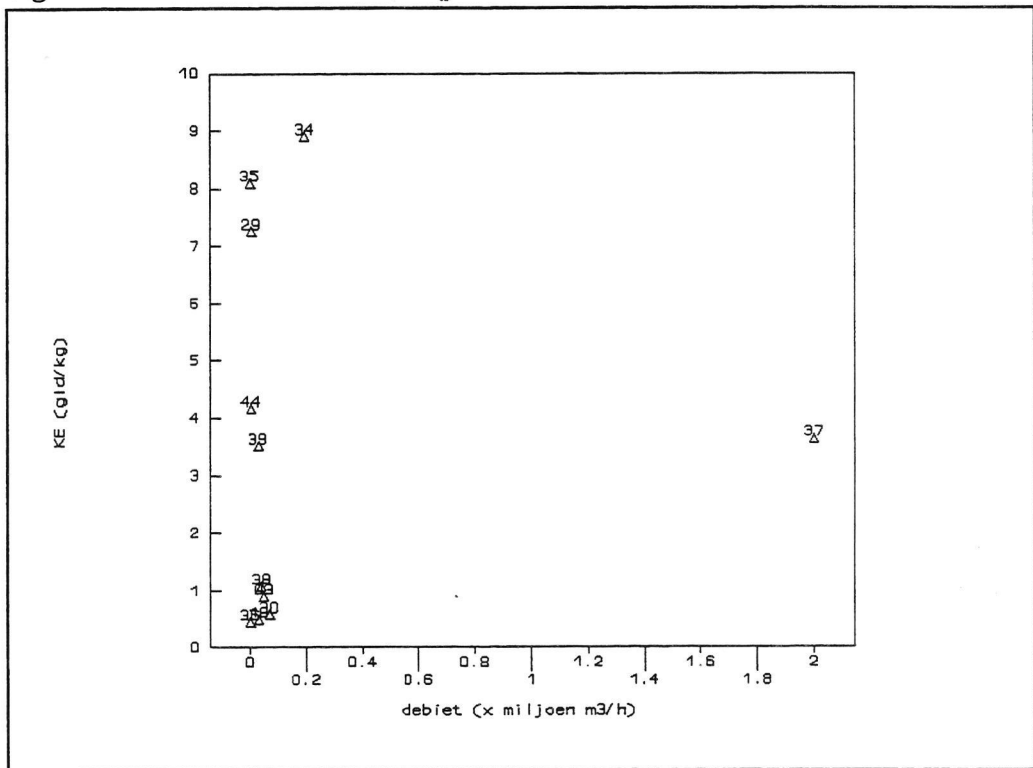
Figuur 5 - Kosteneffectiviteit (SO₂) versus het debiet



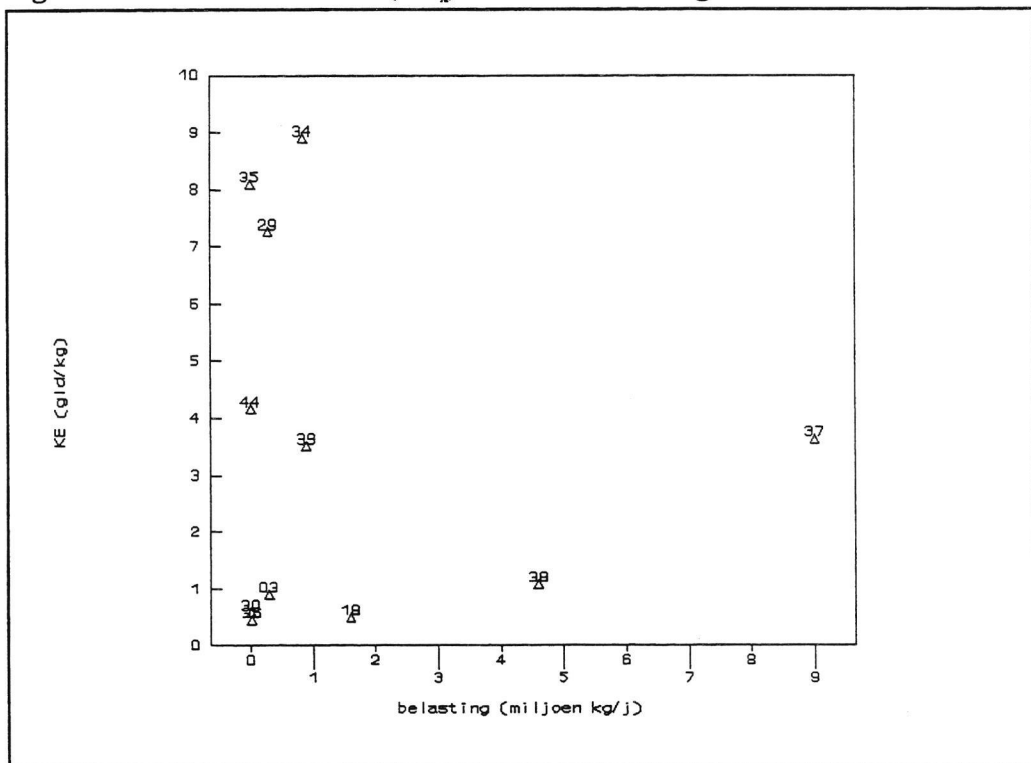
Figuur 6 - Kosteneffectiviteit (SO₂) versus de belasting



Figuur 7 - Kosteneffectiviteit (NO_x) versus het debiet



Figuur 8 - Kosteneffectiviteit (NO_x) versus de belasting



HBD