



# VU Research Portal

## Kosteneffectiviteit voor milieuthema's

Dellink, R.B.; van der Woerd, F.; de Boer, B.

2004

### **document version**

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in VU Research Portal](#)

### **citation for published version (APA)**

Dellink, R. B., van der Woerd, F., & de Boer, B. (2004). *Kosteneffectiviteit voor milieuthema's*. (IVM-rapport; No. R-97/10). Instituut voor Milieuvraagstukken.

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

### **E-mail address:**

[vuresearchportal.ub@vu.nl](mailto:vuresearchportal.ub@vu.nl)

Instituut voor Milieuvraagstukken / *Institute for Environmental Studies*

## **Kosteneffectiviteit van milieuthema's**

Rob Dellink en Frans van der Woerd, IVM-VU  
met medewerking van Bart de Boer, CBS

R-97/10

Juli 1997

*vrije* Universiteit      *amsterdam*



In opdracht van Centraal Bureau voor de Statistiek, Divisie Landbouw, Nijverheid en Milieu, Voorburg en Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Laboratorium voor Afvalstoffen en Emissies, Bilthoven

IVM

Instituut voor Milieuvraagstukken  
Vrije Universiteit  
De Boelelaan 1115  
1081 HV Amsterdam  
Tel. 020-4449 555  
Fax. 020-4449 553  
E-mail: [secr@ivm.vu.nl](mailto:secr@ivm.vu.nl)

ISBN: 90-5383-570-9

**Copyright © 1997, Instituut voor Milieuvraagstukken**

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de houder van het auteursrecht.

## Voorwoord

Voor u ligt de eindrapportage voor het project “Kosteneffectiviteitscurves Milieuthema’s”, dat is uitgevoerd in de periode April 1996 - Juli 1997. Het werk is uitgevoerd door het Instituut voor Milieuvraagstukken van de Vrije Universiteit Amsterdam, in samenwerking met en in opdracht van het Centraal Bureau voor de Statistiek en het Rijks-Instituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne.

Het belangrijkste doel van het project was om kosteneffectiviteitscurves op te stellen voor een aantal belangrijke milieuthema’s, te weten Verzuring, Vermesting en Verspreiding, en om een haalbaarheidsstudie te verrichten naar de (on)mogelijkheden om kosteneffectiviteitscurves op te stellen voor Verdroging en bodemsanering. Het project is uitgevoerd in het kader van de werkzaamheden voor het Duurzaam Nationaal Inkomen van het CBS.

Het project is begeleid door een commissie, waarin namens het CBS Bart de Boer, namens het RIVM Zilla van Lohuizen, Annemarth Idenburg, Robert Engelen en Aldert Hanemaaijer en namens het IVM Harmen Verbruggen en Huib Jansen zitting hadden. Wij danken de leden van de begeleidingscommissie voor hun hulp bij de totstandkoming van dit rapport.

Daarnaast danken wij alle medewerkers van het RIVM en het IVM die een bijdrage hebben geleverd aan het inventariseren van de technische maatregelen zoals die uiteindelijk in de verschillende curves zijn terecht gekomen.

De verantwoordelijkheid voor de inhoud van dit rapport blijft uiteraard bij de auteurs.

Frans van der Woerd en

Rob Dellink



## Inhoud

1. Inleiding	1
2. Methodiek	3
2.1 Algemene opmerkingen	3
2.2 Afhankelijkheid van maatregelen	4
2.2.1 Exclusiviteit van maatregelen	4
2.2.2 Volgtijdelijkheid van maatregelen	5
2.2.3 Interactie tussen stoffen en thema's	6
2.2.4 Interactie van maatregelen	6
2.2.5 Samenvatting gebruikte regels	7
3. Gebruikte gegevens	9
3.1 Algemene opmerkingen	9
3.2 MV-3 en NMP-2 gegevens	10
3.3 Gegevens per doelgroep: Verspreiding, Verzuring en Vermesting	10
3.3.1 Verkeer en vervoer	10
3.3.2 Industrie	11
3.3.3 Afvalverwijdering	12
3.3.4 Consumenten	13
3.3.5 Energie	13
3.3.6 Landbouw	13
3.3.7 Bouwnijverheid	14
3.3.8 Handel, diensten, overheid	14
3.3.9 Riolering / RWZI's	15
3.4 Verdroging	15
3.5 Bodemverontreiniging	17
3.5.1 Inleiding	17
3.5.2 Inschatting aantal locaties	18
3.5.3 Inschatting kosten per locatie	19
4. Duurzaamheid en doelstellingen	21
4.1 Normstelling voor duurzaam milieugebruik	21
4.2 Verspreiding van vluchtige organische stoffen in lucht	25
4.3 Verspreiding van fijn stof in lucht	25
4.4 Verspreiding van zink in water	26
4.5 Verzuring	27
4.6 Vermesting	28
4.7 Verdroging	29
4.8 Bodemverontreiniging	30
4.9 Samenvatting van gebruikte duurzaamheidsnormen	31

5. Resultaten voor Verspreiding	33
5.1 Een kosteneffectiviteitscurve voor VOS	33
5.2 Een kosteneffectiviteitscurve voor Fijn Stof	35
5.3 Een kosteneffectiviteitscurve voor Zink naar Water	37
6. Resultaten voor Verzuring	39
6.1 Een kosteneffectiviteitscurve voor Verzuring	39
6.2 Een deelcurve voor de doelgroep Energie	41
6.3 Een deelcurve voor de doelgroep Verkeer en Vervoer	43
7. Resultaten voor Vermesting	45
7.1 Vermesting inclusief emissies naar lucht	45
7.2 Vermesting exclusief emissies naar lucht	45
8. Resultaten voor Verdroging	49
9. Resultaten voor Bodemverontreiniging	51
9.1 Een kosteneffectiviteitscurve voor Bodemverontreiniging	51
9.2 Een specifieke locatie als voorbeeld	53
10. Gevoeligheidsanalyses	55
11. Conclusies	57

## Samenvatting

Deze studie presenteert een overzicht van de effecten en kosten van technische maatregelen om emissies te reduceren van de milieuthema's Verspreiding, Verzuring, Vermesting, Verdroging en Bodemverontreiniging. Per thema zijn de maatregelen gerangschikt naar kosteneffectiviteit en is een kosteneffectiviteitscurve geconstrueerd.

De kosteneffectiviteitscurves zoals die opgenomen zijn in dit rapport geven een bruikbare indruk van de technische mogelijkheden om duurzaamheid te bereiken voor verschillende milieuthema's. Hiertoe zijn de kosteneffectiviteitscurves voor een duurzaamheidsnorm geëvalueerd. Daarnaast geven de curves per thema aan tegen welke kosten deze maatregelen geïmplementeerd kunnen worden. In de curves valt op dat voor vrijwel alle milieuthema's de marginale kosten van emissiereductie na een bepaald punt sterk oplopen.

De kosten om tot duurzaamheid te komen verschillen sterk per thema. Voor Vluchtige Organische Stoffen, Verzuring, Bodemsanering en Verdroging kruist de duurzaamheidsnorm door de curve met technische maatregelen. De kosten om tot duurzaamheid te komen zijn het laagst voor Verdroging (860 miljoen gulden) en het hoogst voor (volledig duurzame) Bodemsanering (maximaal 450 miljard gulden). Voor Fijn Stof, Zink naar Water en Vermesting blijken de technische maatregelen onvoldoende om tot een duurzaam niveau van emissies te komen.

Actualisering van de kostencurves op basis van de meest recente gegevens, zoals die worden geïnventariseerd door het RIVM wordt zeer wenselijk geacht.



## 1. Inleiding

In dit rapport wordt een overzicht gegeven van de effecten en kosten van technische maatregelen om emissies te reduceren van enkele milieuthema's. Voor de thema's Verzuuring en Vermesting wordt een totale kosteneffectiviteitscurve geconstrueerd. Voor het thema Verspreiding is per compartiment (lucht, water en bodem) een of meerdere gidsstoffen geselecteerd waarvoor een kosteneffectiviteitscurve is opgesteld.

Naast deze drie milieuthema's zijn voor Verdroging en Bodemverontreiniging de mogelijkheden onderzocht om een kosteneffectiviteitscurve te berekenen. Deze twee milieuthema's verschillen fundamenteel van de andere thema's omdat het bij Verdroging en Bodemverontreiniging niet gaat om het terugdringen van emissies, maar om het oplossen van milieuproblemen die met name in het verleden zijn ontstaan (en momenteel nog steeds ontstaan).

De maatregelen zoals gebruikt voor de derde Nationale Milieuverkenning (RIVM, 1993) en het Milieurendement van het NMP-2 (RIVM, 1994) vormen de basis van deze studie. Daarnaast is gebruik gemaakt van informatie die rechtstreeks door het RIVM is verstrekt en is een beperkte literatuurstudie gedaan. Zoals blijkt uit dit rapport was het in de periode waarin de maatregelen zijn geïnventariseerd (april tot oktober 1996) niet mogelijk om een volledige lijst op te stellen van alle emissie-reducerende maatregelen met hun effecten en kosten. De missende informatie is in te delen in twee categorieën. Ten eerste zijn er maatregelen waarvan wel een beschrijving bekend is maar waarvan effecten en/of kosten ontbreken. In RIM+, dat op dit moment (nog) niet volledig gekoppelde bestanden bevat, is dit regelmatig het geval. Ten tweede zijn er maatregelen die volledig ontbreken in de inventarisaties zoals die tot nu toe beschikbaar zijn.

In het onderzoek is een aantal lacunes in kennis naar voren gekomen. Momenteel vinden binnen het RIVM echter een aantal activiteiten plaats die veel nieuwe inzichten kunnen verschaffen. Gedreven door met name de publikatie van de vierde Nationale Milieuverkenning (MV-4; RIVM, 1997) wordt binnen het RIVM getracht effecten en kosten van maatregelen zoveel mogelijk te integreren in RIM+. Deze integratiewerkzaamheden moeten met name meer inzicht geven in de eerste categorie missende informatie zoals die hierboven is geïdentificeerd. Daarnaast wordt binnen de doelgroepen volop aandacht gegeven aan een (hernieuwde) inventarisatie van maatregelen. Als gevolg hiervan zal ook de tweede vorm van missende informatie naar verwachting verminderen.

Gegeven de activiteiten die vanaf het najaar 1996 binnen het RIVM plaatsvinden kan dus gesteld worden dat de timing van dit project voor de uitvoerders verre van optimaal was. Als de berekeningen voor de MV-4 voltooid zijn kan een vollediger en actueler overzicht gegeven worden van de kosten om duurzaamheid te bereiken. Uitstel van het project was echter voor voortgang van de DNI-studie een probleem.

In deze studie is voor het eerst de kosteneffectiviteit op maatregelniveau van enkele belangrijke onderdelen van het Nederlandse milieubeleid in beeld gebracht. In feite behelst de studie een integratie en actualisatie van de Nationale Milieuverkenningen 3 en het Milieurendement van het NMP-2.

Gegeven de beperkingen in tijd en gegevens zijn de kosteneffectiviteitscurves die in dit rapport gepresenteerd worden niet volledig. Door de onvolledigheid van de gegevens kunnen de totale te vermijden emissies als ook de kosten onderschat worden. Binnen de aangegeven beperkingen is er nadruk op gelegd om de gepresenteerde cijfers zo consistent mogelijk te maken.

Deze studie presenteert kortom een globaal en voorlopig beeld van de technische mogelijkheden om duurzaamheid te bereiken voor de thema's Verspreiding, Verzuring, Vermesting, Verdroging en Bodemverontreiniging. Het verdient aanbeveling om de gepresenteerde curves te actualiseren en te complementeren, bijvoorbeeld met behulp van de gegevens uit de MV-4, zodra de integratie van het RIM+ voltooid is.

De resultaten van het onderzoek, bestaande uit de kosteneffectiviteitscurves met toelichting, staan vermeld in hoofdstukken 5 tot en met 9. Voor een goede interpretatie van de resultaten is het wenselijk om eerst de hoofdstukken 2 tot en met 4 te lezen. Deze hoofdstukken verschaffen inzicht in de gebruikte methodiek, de herkomst van de gebruikte informatie en de gehanteerde doelstellingen voor duurzaamheid. In hoofdstuk 10 wordt een korte gevoeligheidsanalyse op de curves gepresenteerd. Het slothoofdstuk 11 geeft een algehele beoordeling van de bereikte resultaten.

## 2. Methodiek

In het onderstaande wordt aandacht besteed aan de methodiek die gebruikt is om de kosteneffectiviteitscurves te berekenen. In grote lijnen komt de gebruikte methodiek overeen met de methodiek die het CBS en RIVM hanteren (zie CBS, 1994 en RIVM, 1996). Deze methodiek is gebaseerd op de Methodiek Milieukosten (VROM, 1994).

Het moet opgemerkt worden dat de methodiek die gebruikt is comparatief-statisch van aard is. Dit wil zeggen dat er geen aandacht wordt besteed aan het verloop in de tijd, maar dat alleen de effecten en kosten van maatregelen voor 2010 worden berekend, die nodig zijn om tot een duurzame ontwikkeling te komen. Eventueel kan de vraagstelling geformuleerd worden als: tegen welke kosten zou een duurzaam niveau voor de verschillende milieuthema's in 1990 bereikt kunnen worden, als afgezien wordt van aanpassingskosten en dynamische ontwikkelingen.

Dit betekent ook dat er geen volumegroei in de berekeningen is meegenomen. De omvang van de economische sectoren (productie en consumptie), blijft gelijk aan de uitgangssituatie in 1990.

Uit het onderstaande kan de conclusie getrokken worden dat kosteneffectiviteitscurves een aantal beperkingen kennen bij het weergeven van informatie. Wij hebben toch gepoogd om de problemen die zich bij deze methodiek voordoen zoveel mogelijk op te lossen. Het gebruik van kosteneffectiviteitscurves op zich staat hier niet ter discussie.

### 2.1 Algemene opmerkingen

Om de kosteneffectiviteitscurves voor de verschillende thema's te berekenen wordt gebruik gemaakt van een lijst met maatregelen. Van elke maatregel worden de jaarlijkse kosten en effecten berekend, waaruit de kosteneffectiviteit van de maatregel bepaald wordt. De kosteneffectiviteit van een maatregel wordt hier gedefinieerd als de kosten in gulden per eenheid vermeden emissie.

In de lijst zijn alleen technische maatregelen opgenomen, dat wil zeggen alleen maatregelen die erop gericht zijn om de milieudruk als gevolg van productie en consumptie te verminderen. Er wordt niet gekeken naar structurele maatregelen, zoals volumebeleid en organisatorische maatregelen (bijvoorbeeld kosten van handhaving en monitoring).

Betreffende de definitie van milieukosten wordt op één belangrijk punt afgeweken van de definitie in de Methodiek Milieukosten. In deze studie worden maatregelen die netto geld opbrengen wel meegenomen in de analyse. In de Methodiek Milieukosten worden milieukosten zeer stringent gedefinieerd: maatregelen die vanuit financieel-economisch perspectief rendabel zijn worden niet tot de milieukosten gerekend. Bij het berekenen van de kosteneffectiviteit (en bij het berekenen van de totale kosten om een doelstelling te halen) dienen deze kosteneffectieve maatregelen wel meegenomen te worden, omdat alleen zo een goed inzicht verkregen kan worden in de totale kosten om emissies te reduceren met behulp van technische maatregelen.

Bij het bepalen van de effecten van maatregelen wordt alleen gekeken naar de effecten van de maatregel op de emissies van verschillende stoffen (effecten op de milieudruk). De uiteindelijke effecten van maatregelen op de milieukwaliteit worden niet in oogen-schouw genomen.

Tot slot kan nog opgemerkt worden dat bij het berekenen van de kosteneffectiviteitscur-ve altijd een controle moet plaatsvinden op de emissies binnen de doelgroep als de maatregel volledig wordt doorgevoerd. Immers, de totale emissies binnen een doelgroep kun-nen nooit negatief worden. Deze controle wordt in het programma uitgevoerd door ver-gelijking van de totale vermeden emissies met de verwachte emissies in 2010 volgens het basispad (dat wil zeggen zonder dat de technische maatregelen genomen worden, of-tewel bij huidig beleid).

## 2.2 Afhangelijkheid van maatregelen

Soms komt het voor dat de maatregelen niet onafhankelijk zijn: bijvoorbeeld maatreg-e-len *a* en *b* kunnen niet beide genomen worden (exclusiviteit); maatregel *a* moet geno-men worden voor maatregel *b* genomen kan worden (volgtijdelijkheid); maatregel *a* heeft effecten op milieutekortens *i* en *j* (interactie tussen stoffen en thema's). In onder-staande paragrafen zal besproken worden hoe met deze afhankelijkheid van maatregelen omgegaan kan worden. Eerst wordt aan de hand van een voorbeeld een en ander toege-licht.

Veronderstel dat er een indeling van voertuigen is in drie klassen: klasse 1 ("vies"), klas-se 2 ("beetje schoon") en klasse 3 ("heel schoon") en dat het hele wagenpark zich in eer-ste instantie in klasse 1 bevindt. Drie maatregelen kunnen geïdentificeerd worden: "van klasse 1 naar klasse 2" (maatregel *a*), "van klasse 2 naar klasse 3" (maatregel *b*) en "van klasse 1 naar klasse 3" (maatregel *c*). Duidelijk is dat maatregel *b* na maatregel *a* geno-men moet worden (volgtijdelijkheid) en dat maatregel *c* de andere twee maatregelen uit-sluit (exclusiviteit). Als verder verondersteld wordt dat deze maatregelen gericht zijn op het terugdringen van CO<sub>2</sub>, maar ook een effect hebben op NO<sub>x</sub>, dan is voor alle maatreg-e-len sprake van interactie tussen stoffen en thema's (in dit geval CO<sub>2</sub> / klimaatverande-ring en NO<sub>x</sub> / verzuring). Tenslotte kan het voorkomen dat het effect van de combinatie van twee maatregelen kleiner is dan het gecombineerde effect van beide maatregelen af-zonderlijk. In het voorbeeld: maatregel *a* brengt een emissiereductie van 30% teweeg, maatregel *b* heeft een effect van 40%, terwijl maatregel *c* een effect heeft van 50% (in plaats van 70%). Dit verminderde effect van gecombineerde maatregelen wordt behan-deld in de paragraaf "Interactie van maatregelen".

Geen aandacht wordt besteed aan de problemen die zich voordoen als de effecten van een maatregel afhankelijk zijn van het emissieniveau of van de concentratie van de mili-eudruk.

### 2.2.1 Exclusiviteit van maatregelen

In het geval van exclusiviteit van maatregelen wordt de volgende aanpak voorgesteld. Eerst wordt de kosteneffectiviteit van de elkaar uitsluitende maatregelen berekend en

vervolgens wordt alleen de meest kosteneffectieve maatregel meegenomen in de procedure.

Nadeel van deze aanpak is dat het totaal aan te vermijden emissies wellicht onderschat wordt. Immers, de minder kosteneffectieve maatregel zou een groter effect (met hogere kosten) kunnen hebben dan de geselecteerde maatregel. Dit kan een probleem worden indien met het totaal van alle (geselecteerde) maatregelen de doelstelling niet gehaald wordt. Na uitputting van alle technische maatregelen moet dan immers overgegaan worden op het inkrimpen van de totale productie. Aangezien deze krimp wellicht minder kosteneffectief is dan de technische maatregelen, kan de doelstelling dus eventueel gehaald worden met lagere kosten indien niet de meest kosteneffectieve maatregel was gekozen, maar de maatregel met het grootste effect. Hiermee is in onderstaande berekeningen geen rekening gehouden, maar is, zonder naar de effecten te kijken, de meest kosteneffectieve maatregel geselecteerd. Overigens zijn in de totale lijst met maatregelen alle maatregelen opgenomen, ook degene die elkaar uitsluiten.

### 2.2.2 Volgtijdelijkheid van maatregelen

Als sprake is van volgtijdelijkheid van maatregelen, dan moet dit in principe expliciet naar voren komen in de berekeningen. Nadeel hiervan is echter dat het verloop van de kosteneffectiviteitscurve niet meer monotoon stijgend is. Dit komt omdat volgtijdelijke maatregelen niet meer individueel naar kosteneffectiviteit gerangschikt kunnen worden, maar als pakket in een vooraf opgelegde volgorde in de curve terecht komen.

Er zijn meerdere manieren denkbaar waarop met volgtijdelijkheid van maatregelen kan worden omgegaan. Ten eerste kunnen de maatregelen herdefinieerd worden, zodanig dat ze de effecten en kosten aangeven om van de startsituatie naar een bepaalde eindsituatie te komen. In het voorbeeld hierboven worden maatregelen *a* en *c* gekozen, en wordt maatregel *b* niet in de analyse meegenomen. Uiteindelijk volgen hieruit pakketten maatregelen die oplopen in zowel kosten als effecten, en die elkaar uitsluiten.

Deze procedure wordt ook gebruikt in het project Optimalisatie Milieurendement van het RIVM (Bakema, 1995); daar kan de keuze afhangen van de vraag- en doelstelling van de gebruiker en wordt bepaald binnen het model, dat tot doel heeft het "optimale" pakket (*i.e.* dat pakket waarmee de doelstelling tegen de laagste kosten wordt gehaald) te selecteren. Voor de Milieubalans is de afweging tussen de verschillende exclusieve pakketten niet aan de orde, daar heeft de volgtijdelijkheid alleen betrekking op de vaststelling van de effecten van individuele maatregelen, dus de omgekeerde procedure.

Een andere mogelijkheid is om geen rekening te houden met de volgtijdelijkheid. Deze procedure geeft geen problemen indien de totale kosten en totale effecten van alle maatregelen onderwerp van analyse is. Problemen doen zich echter met name voor als enkele maatregelen niet geselecteerd worden (als de doelstelling al bereikt is voor deze maatregel gekozen wordt), terwijl andere (wel geselecteerde) maatregelen op de niet geselecteerde maatregel volgen.

In onderstaande berekeningen zal in eerste instantie gekeken worden of de maatregelen in de verkeerde volgorde in de curve terecht komen. Als dat het geval is, dus als de eerste maatregel minder kosteneffectief is dan de tweede, dan wordt de eerste methode ge-

nomen, waarin in de maatregel ligt opgesloten welke maatregelen aan de maatregelen vooraf dienen te gaan, en waarin de resulterende pakket-maatregelen elkaar uitsluiten.

In het voorbeeld wordt bij volgtijdelijkheid dus binnen de analyse een afweging gemaakt tussen maatregel *a* en maatregel *c*, en wordt maatregel *b* niet in de analyse betrokken. Ter vergelijking: bij exclusiviteit wordt de afweging gemaakt tussen maatregel *a* en/of *b* enerzijds en maatregel *c* anderzijds. Combinatie van deze twee posities levert op dat in de uiteindelijke curve dus hetzij maatregel *a*, hetzij maatregel *c* opgenomen wordt.

### 2.2.3 Interactie tussen stoffen en thema's

Indien een bepaalde maatregel een effect heeft op meerdere stoffen, dan wordt een 'primair milieutekort' aangegeven. Dit primair milieutekort geeft aan waar de maatregel in eerste instantie op gericht is. Deze systematiek is ook in RIM+ opgenomen. De kosten van een maatregel worden toegerekend aan dit primair milieutekort.

Als het tweede milieutekort waarop de maatregel effect heeft binnen hetzelfde thema valt, dan kan de maatregel ongewijzigd opgenomen worden. Immers, de kosten van de maatregel wordt slechts een keer meegenomen.

Indien het tweede milieutekort een ander thema betreft, dan moeten de kosten bij beide thema's opgevoerd worden. Indien het beleid namelijk gericht is op terugdringen van het tweede milieutekort, dan is de maatregel beschikbaar tegen de totale kosten van de maatregel. De maatregel wordt dus voor beide milieutekort opgevat alsof het primair op dat milieutekort gericht is. Deze aanpak leidt tot problemen als meerdere thema's gecombineerd worden. Een dubbel telling van de kosten vindt dan plaats. De kosten van gecombineerd beleid worden op deze manier overschat.

In dit onderzoek wordt geen rekening gehouden met deze dubbel tellingen. De uitkomsten van de kosteneffectiviteitscurves zijn dus alleen geldig binnen het thema. De berekende kostencurves kunnen niet zonder meer geaggregeerd worden<sup>1</sup>.

### 2.2.4 Interactie van maatregelen

Indien het effect van twee gecombineerde maatregelen kleiner is dan het gecombineerde effect van de twee maatregelen afzonderlijk, dan wordt het totaaleffect overschat als beide maatregelen onafhankelijk van elkaar in de curve worden opgenomen.

Theoretisch gezien is dit probleem relatief makkelijk oplosbaar: naast de beide maatregelen afzonderlijk wordt een nieuwe maatregel toegevoegd, waarin het effect van de gecombineerde maatregelen is opgenomen. Deze nieuwe maatregel sluit de andere twee maatregelen uit. In het voorbeeld dat hierboven is beschreven is deze oplossing al opgenomen: naast maatregelen *a* en *b* is ook maatregel *c* gedefinieerd. Hoe de zo geconstrueerde uitsluiting van maatregelen behandeld dient te worden staat in paragraaf 2.2.1 beschreven.

---

<sup>1</sup> In de codering van de maatregelen is een sterretje toegevoegd bij alle maatregelen die op meerdere thema's betrekking hebben, zodat de curves ten behoeve van aggregatie aangepast kunnen worden.

Deze theoretische oplossing kan praktisch gezien echter al snel tot problemen leiden. Immers, hoe groter het aantal maatregelen waartussen interactie optreedt, hoe groter het aantal combinaties dat als aparte maatregelen opgenomen dient te worden. Bij twee maatregelen ( $a, b$ ) is het aantal combinaties 1 ( $ab$ ), bij drie maatregelen is het aantal combinaties 4 ( $ab, ac, bc, abc$ ), bij vier maatregelen 11 en bij vijf maatregelen zijn al 24 combinaties mogelijk.

Dit probleem kan op een praktische manier opgelost worden door de effecten van de maatregelen te definiëren als ‘additionele’ effecten. Het effect van maatregel  $b$  wordt in dit geval het verschil tussen de effecten van maatregelen  $c$  en  $a$ . Hoewel in deze oplossing niet expliciet rekening wordt gehouden met de interactie tussen maatregelen, en de berekeningen in strikte zin niet meer correct zijn, zal naar alle waarschijnlijkheid de foutmarge relatief gering zijn. Dit komt onder andere omdat deze systematiek ook gevolgd wordt voor de berekeningen voor effecten van maatregelen in het verleden (eerst wordt de volgorde van de maatregelen vastgesteld, daarna worden de effecten van de maatregelen bepaald). Veel maatregelen zijn dus al in deze systematiek berekend. Overigens werkt deze praktische oplossing minder goed wanneer de complexiteit toeneemt in het geval van meerdere afhankelijke maatregelen.

### 2.2.5 Samenvatting gebruikte regels

Samenvattend kan het volgende overzicht gegeven worden van de rekenregels die gebruikt zijn:

- Bij exclusiviteit van maatregelen wordt de meest kosteneffectieve maatregel in de berekeningen meegenomen;
- Bij volgtijdelijkheid worden meegenomen in de berekeningen de eerste (onafhankelijke) maatregel, en de combinatie van de eerste en de volgtijdelijke maatregel. Deze twee maatregelen sluiten elkaar uit;
- Bij een maatregel worden altijd alle kosten meegenomen, ook al valt het primaire milieutekort buiten het thema;
- De effecten van de opgenomen maatregelen worden onafhankelijk van andere maatregelen verondersteld. Bij de berekening van deze effecten wordt eventueel uitgegaan van “additionele” effecten van een maatregel.

### 3. Gebruikte gegevens

In het onderstaande worden allereerst enkele algemene opmerkingen over de gebruikte gegevens gemaakt. Vervolgens zal besproken worden welke gegevens gebruikt zijn en hoe deze gegevens geïnterpreteerd zijn. De volgende aanpak is gevolgd bij het verzamelen van de informatie. Uitgangspunt is de set met maatregelen zoals die geïnventariseerd zijn ten behoeve van de Milieuverkenning 3 (MV3) en het Milieurendement van het NMP-2 (zie paragraaf 3.2). Vervolgens zijn deze gegevens voor zover mogelijk in samenspraak met de doelgroepen geactualiseerd. In sommige gevallen is ook gebruik gemaakt van aanvullende literatuur. Tenslotte is gepoogd om met behulp van RIM+ de effecten en kosten van een aantal maatregelen te bepalen.

#### 3.1 Algemene opmerkingen

De omzetting van stoffen naar thema's geschiedt met behulp van thema-equivalenten. Emissies van een bepaalde stof in kilogrammen worden zo omgezet in emissies in thema-equivalenten. Voor de thema's Verzuring en Vermesting zijn eenduidige thema-equivalenten beschikbaar. Voor verspreiding zijn in principe geen thema-equivalenten beschikbaar.

Voor Vermesting zijn de omrekenfactoren: 1 miljoen kilo P = 1 mestequivalent; 1 miljoen kilo N = 0,1 mestequivalent. Voor Verzuring zijn de omrekenfactoren: 1 miljoen kilo NH<sub>3</sub> = 0.059 zuurequivalenten; 1 miljoen kilo NO<sub>x</sub> = 0.022 zuurequivalenten; 1 miljoen kilo SO<sub>2</sub> = 0.031 zuurequivalenten. Deze factoren zijn gebaseerd op de molecuulgewichten van de stoffen, waarbij het gewicht van SO<sub>2</sub> verdubbeld moet worden vanwege de 2 protonen.

Voor sommige maatregelen is het effect op de vermeden emissies negatief. Dit kan met name voorkomen voor maatregelen die niet primair gericht zijn op deze stof, maar die als bijeffect een verhoogde emissie van de stof hebben. Een bekend voorbeeld is de driewegkatalysator, die een vermindering van de verzuring tot gevolg heeft, maar die tegelijkertijd leidt tot een verhoging van broeikasgasemissies. In de curves zijn deze maatregelen wel opgenomen, voornamelijk ter illustratie. De standaardberekening van de kosteneffectiviteit leidt ertoe dat deze maatregelen vooraan in de curve terecht komen. Immers, indien de kosten van de maatregel positief zijn, zal de kosteneffectiviteit negatief zijn, net als de kosteneffectiviteit van maatregelen met negatieve kosten en positieve effecten. Om toch het onderscheid te laten zien zijn de maatregelen met negatieve effecten opgenomen aan het eind van de curve.

De kosten van de maatregelen zijn in (miljoenen) guldens van 1995; investeringskosten zijn omgerekend naar jaarkosten met behulp van een annuïteitenberekening, zoals die wordt voorgesteld in de Methodiek Milieukosten. Het voordeel van het gebruik van een annuïteitenmethode ten opzichte van de gebruikelijker lineaire afschrijvingsmethode is dat de jaarlijkse kosten bij een annuïteitenberekening constant zijn. De uitkomsten worden daarmee minder afhankelijk van het gekozen zichtjaar.



In het volgende zal regelmatig sprake zijn van aannames die niet volledig correct zijn. Er zijn echter verschillende redenen aan te voeren waarom deze aannames desondanks gemaakt zijn. Ten eerste kon, gegeven de beperkte tijd die voor de berekeningen beschikbaar was, geen alomvattende analyse van de benodigde gegevens plaatsvinden. Daarnaast geldt in een aantal gevallen ook dat dergelijke gegevens helemaal niet beschikbaar zijn. Regelmatig moest gekozen worden voor een praktische oplossing, waardoor in afzienbare tijd resultaten te berekenen waren. Uiteraard is geprobeerd de fouten die onvermijdelijk optreden door deze benaderingen zo klein mogelijk te houden.

Voor de vraagstelling van het project zoals die is geformuleerd door het CBS is het niet noodzakelijk een economisch achtergrond-scenario te kiezen. Immers, doel is te berekenen tegen welke kosten duurzaamheid te bereiken zou zijn geweest in een bepaald basisjaar (1992), waarbij geabstraheerd wordt van aanpassingskosten. Voor de vraag in hoeverre duurzaamheid in een bepaald zichtjaar (bijvoorbeeld 2010) bereikbaar is door implementatie van technische maatregelen is een dergelijk achtergrondscenario wel nodig. Deze laatste vraag valt buiten het kader van het huidige project.

### **3.2 MV-3 en NMP-2 gegevens**

Als eerste bron van gegevens is de inventarisatie gebruikt zoals die gemaakt is voor het doorrekenen van het milieurendement van het NMP-2 (RIVM, 1994). Deze lijst met maatregelen is een aanvulling op de maatregelen die gebruikt zijn voor de Nationale Milieuverkenning 3 (MV-3, RIVM, 1993). De combinatie van deze beide bronnen geeft dus een volledig overzicht van de bekende maatregelen zoals dat in 1994 beschikbaar was.

Probleem bij het gebruik van de gegevens uit de MV-3 is het feit dat de kosten en effecten van maatregelen in verschillende bestanden van RIM+ te vinden zijn. Zowel de bron als de definitie van de maatregelen verschilt tussen beide bestanden. Koppeling (integratie) van beide bestanden is nog niet volledig tot stand gekomen.

De maatregelen uit de MV-3 zijn voor zover mogelijk als pakket opgenomen in de berekeningen van de kosteneffectiviteitscurves. Er is gepoogd een zo laag mogelijk aggregatieniveau te bereiken. Daarnaast is in een aantal gevallen gepoogd om de belangrijkste maatregelen binnen een pakket te identificeren, zodat deze als aparte punten in de curves opgenomen kunnen worden. Uitgangspunt voor de indeling van de MV-3 maatregelen is de indeling zoals die is gemaakt door TME bij het berekenen van de kosten.

### **3.3 Gegevens per doelgroep: Verspreiding, Verzuring en Vermesting**

#### **3.3.1 Verkeer en vervoer**

Door de doelgroep Verkeer en Vervoer is een volledig overzicht gegeven van maatregelen die beschikbaar zijn om de emissies van VOS, Fijn Stof, NO<sub>x</sub> en SO<sub>2</sub> terug te dringen. De opzet van deze lijst wijkt af van de oude maatregelen zoals die opgenomen zijn in de MV-3 en het Milieurendement van het NMP-2. Deze nieuwe lijst vervangt dus de oude maatregelen, behalve die maatregelen die op geen enkele manier in de nieuwe lijst

voorkomen (waaronder het beperken van de maximum snelheid voor verschillende voertuigen).

De aangeleverde gegevens van de doelgroep VEV bevat (afhankelijk van de maatregel):

1. emissiereductie en kosten per voertuig;
2. emissiereductie en kosten per PJ energieverbruik.

Deze gegevens zijn vermenigvuldigd met de aantallen voertuigen, resp. het energieverbruik om de totale jaarlijkse emissiereductie en kosten te berekenen. Deze aantallen voertuigen en energieverbruik zijn eveneens aangeleverd door de doelgroep VEV (van der Brink, 1996) en zijn gebaseerd op gegevens van het CBS, de NS en het RIVM<sup>2</sup>.

Voor zover beschikbaar zijn de gegevens voor 1995 gebruikt.

De maatregelen die beschikbaar zijn vertonen een duidelijke volgtijdelijkheid: het behelst de overgang van een voertuig van 'klasse i' naar 'klasse j'. In de berekeningen is uitgegaan van de indeling van het wagenpark in 1995 over de verschillende klassen. Door vermenigvuldiging van de effecten en kosten per voertuig met het aantal voertuigen dat vuiler is dan 'klasse j' worden de totale effecten en kosten van de maatregelen verkregen. Voor de kosten is geen rekening gehouden met eventuele vervroegde afschrijving van gedeeltes van het wagenpark. De uitkomst van de berekening is derhalve op te vatten als "de evenwichtssituatie na enige tijd". Deze "enige tijd" kan hier opgevat worden als 20 jaar. Aangezien deze termijn duidelijk langer is dan de levensduur van de voertuigen, zal de rekenfout als gevolg van deze aanpak beperkt blijven.

In paragraaf 2.2.2 is beschreven hoe in de berekeningen omgegaan is met de volgtijdelijkheid van de maatregelen. Daarnaast sluiten sommige maatregelen elkaar uit: bij een aantal maatregelen is een indeling gemaakt in "mild", "middel" en "streng".

### 3.3.2 Industrie

De doelgroep Industrie (IND) is belangrijk voor vrijwel alle milieuthema's en tegelijk zeer heterogeen. Op dit moment bestaat geen goed inzicht in de kosten en effecten van milieupakketten (Thomas, 1996). Begin 1996 heeft TAUW een brede inventarisatie gemaakt van effecten en kosten van milieumaatregelen in de industrie (TAUW, 1996a). Dit onderzoek, vooral gebaseerd op analyse van Bedrijfsmilieuplannen, bleek slechts partiële informatie op te leveren.

Recentelijk zijn studies verschenen waarin de kosteneffectiviteit wordt geschetst voor emissiebeperkende maatregelen naar lucht voor SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, VOS en Fijn Stof (VROM, 1995; TAUW, 1996b). Deze studies geven een "range" in kosteneffectiviteit aan van thans gangbare maatregelen in de industrie. Nadeel is dat ze geen schatting geven voor het maximaal effect van deze maatregelen in kiloton. RIVM/LAE wil in oktober 1996 een expert-oordeel vormen over de totale effectiviteit (Thomas, 1996). Dit oordeel kon niet meer meegenomen worden in de berekeningen van deze studie.

---

<sup>2</sup> De mobiele werktuigen omvatten graafmachines, heftrucks (excl. LPG, vanwege karakter van de maatregelen), hijskranen, laadschoppen, overig grondverzet en wegenbouw. Niet meegenomen in deze categorie zijn de speciale voertuigen en tractoren.

Tussen 1985 en 1991 zijn de grote verzurende procesmissies aangepakt, met name in de basismetaal ( $\text{SO}_2$ ) en kunstmestindustrie ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$ ). Voor zover bekend bedroeg voor  $\text{SO}_2$  de kosteneffectiviteit fl. 2 á fl. 4 per kg, voor  $\text{NO}_x$  fl. 0,50 á fl. 0,60 per kg (Peek, 1995). TAUW, 1996a vermeldt twee maatregelen in de kunstmestindustrie na 1992, één voor  $\text{NO}_x$  en één voor  $\text{NH}_3$ . Het NMP-2 pakket bevat twee specifieke maatregelen voor  $\text{NO}_x$ , gericht op aanpassen van ovens in de glasindustrie en op verdergaande toepassing van Selectieve Katalytische Reductie. Genoemde maatregelen zijn in de curve opgenomen.

Maatregelen, gericht op beperking van  $\text{NO}_x$ -emissies bij decentraal opgestelde gasinstallaties en gasmotoren worden bij de doelgroep Energie behandeld.

De aandacht bij industriële procesmissies verschuift in de richting van VOS en Fijn Stof. Voor VOS zijn de schattingen voor het KWS-2000 pakket uit de MV-3 gebruikt. Voor Fijn Stof bleken noch historische, noch actuele inschattingen beschikbaar. Daarom zijn voor Fijn Stof in de industrie geen maatregelen opgenomen.

### 3.3.3 Afvalverwijdering

De doelgroep Afvalverwijdering omvat met name de afvalverwerkende bedrijven (AVI's) en de stortplaatsen. Voor de stortplaatsen zijn geen specifieke maatregelen beschikbaar; in het algemeen zijn instrumenten voor stortplaatsen gericht op onder- en bovenafdichting. Aangezien de stortplaatsen slechts een beperkt deel van de totale emissies voor de in dit project onderscheiden thema's voor hun rekening nemen, wordt hier verder geen aandacht aan besteed.

Voor de AVI's zijn bijvoorbeeld maatregelen beschikbaar voor emissiereductie voor dioxine, die een neveneffect hebben op emissies van zware metalen. Deze maatregelen, die vanaf 1989 beschikbaar zijn, hebben ertoe geleid dat de emissies van dioxine door de AVI's gereduceerd zijn tot vrijwel nihil.

In 1996 is een rapport beschikbaar gekomen van het TME, waarin de kosten van afvalverwijdering zijn berekend (TME, 1996). Helaas zijn voor de maatregelen die in dit rapport worden onderscheiden voornamelijk geen emissie-effecten bekend. Net als bij het oude TME-bestand (het milieukostenbestand van RIM+, TME, 1993) zijn effecten en kosten van maatregelen niet gekoppeld. Mede ten behoeve van de milieubalans 1996 (MB96, bijlage 2) en het milieuprogramma is geprobeerd de verschillende bestanden te integreren. De resultaten van deze integratie konden echter niet in de analyse worden meegenomen, aangezien de extrapolatie van de data naar de toekomst met te grote onzekerheid is omgeven. Naar verwachting worden er wel maatregelen met effecten en kosten meegenomen in de berekeningen voor de MV4.

Tenslotte moet opgemerkt worden dat betreffende afvalverwijdering preventiemaatregelen een grote rol spelen. Deze preventiemaatregelen, die genomen worden bij andere doelgroepen zijn zeer slecht te monitoren. Hierdoor zijn de kosten en effecten van preventiemaatregelen niet beschikbaar. Overigens betreft het vaak maatregelen die vrijwel geen (of zelfs negatieve) milieukosten met zich meebrengen. Indirect hebben deze preventiemaatregelen tot gevolg dat minder afval wordt aangeboden aan de AVI's en/of op de stortplaatsen terecht komt. Dit leidt op zijn beurt weer tot verminderde emissies bij

de AVI's en stortplaatsen. Hiermee kan geen rekening worden gehouden bij de berekeningen.

### 3.3.4 Consumenten

Voor de doelgroep Consumenten zijn vrijwel geen aparte maatregelen beschikbaar. Er zijn wel een aantal maatregelen te verzinnen die ook betrekking hebben op de doelgroep Consumenten. Deze maatregelen betreffen energiebesparingsmaatregelen, die via de doelgroep Energie beschikbaar zijn gekomen, en maatregelen die aangeleverd worden via de doelgroep Riolering/RWZI's. Zie voor deze maatregelen bij de betreffende doelgroepen.

Andere maatregelen die specifiek betrekking hebben op de doelgroep Consumenten zijn maatregelen als schone Cv-ketels (vermindering NO<sub>x</sub>-uitstoot) en maatregelen in het kader van het KWS-2000 programma voor consumenten (met name vermindering van de emissies van VOS door het gebruik van verf). Deze maatregelen zijn overgenomen uit de MV-3 en het Milieurendement van het NMP-2.

### 3.3.5 Energie

Door de doelgroep Energie is een lijst aangeleverd met alle maatregelen die beschikbaar zijn (Honig, 1996). Deze lijst omvat niet alleen die maatregelen die met het aanbod van energie te maken hebben, maar ook maatregelen aan de vraagzijde van de energiemarkt. Deze tweede categorie maatregelen, waaronder bijvoorbeeld maatregelen die gericht zijn op beperking van NO<sub>x</sub>-emissies bij decentraal opgestelde gasinstallaties en gasmotoren, zijn niet meegenomen in de gegevens van de andere doelgroepen, zodat geen sprake is van dubbelstellingen. Deze indeling, waarin alle energiemaatregelen door de doelgroep Energie worden aangeleverd, komt overeen met de standaard taakverdeling binnen het RIVM.

De operationele kosten die behoren bij de 'CLAUS-maatregelen' (voor de raffinaderijen) zijn onbekend. Bij gebrek aan enige indicatie zijn deze op nul gesteld.

Er is een behoorlijk forse lijst maatregelen aangeleverd door de doelgroep Energie. Veel energiebesparingsmaatregelen hebben een effect op NO<sub>x</sub> of op SO<sub>2</sub>, binnen het thema Verzuring. Daarnaast spelen koolwaterstoffen (VOS) een redelijk grote rol binnen de doelgroep. Helaas bleek het niet goed mogelijk om, binnen de beperkte tijd van het onderzoek, een goed inzicht te krijgen in de interactie tussen de maatregelen.

### 3.3.6 Landbouw

Bij de doelgroep Landbouw (LDB) is in 1995 de eerste fase van het plan van aanpak ammoniakbestrijding gerealiseerd. NH<sub>3</sub> emissiebeperking door het onderwerken van dierlijke mest op bouw- en grasland en door het afdekken van mestopslag is voor 100% gepenetreerd. Gerealiseerde emissiebeperking en kosten zijn verstrekt door de RIVM-doelgroep (Van Egmond, 1996).

Verdergaande maatregelen tegen NH<sub>3</sub> betreffen met name de bouw van emissiearme stallen. Voor deze maatregelen zijn kosten en effectiviteit op hoog aggregatieniveau be-

naderd in MV-3 en opgenomen in de curve voor Verzuring. In het NMP-2 pakket is een NH<sub>3</sub>-heffing voor graasdieren opgenomen. Omdat zo'n heffing expliciet gericht is op volumebeleid (minder dieren), worden deze maatregelen hier niet meegenomen (RIVM, 1994).

Door behandeling van de Integrale Notitie Mest en Ammoniakbeleid in de Tweede Kamer begin 1996, is het mestbeleid flink veranderd. Medio 1996 bestaat voor het nieuwe pakket nog geen actueel kostenoverzicht (Van Egmond, 1996). In MV-3 zijn mestopslag, -vervoer en verwerking, minder gebruik van kunstmest en veevoederaanpassingen als één samenhangend pakket beschouwd. In het NMP-2 pakket is aangenomen dat P-evenwichtsbemesting leidt tot extra noodzaak van mestverwerking en extra N-kunstmestgebruik. Beide gecompliceerde pakketten zijn opgenomen in de curve voor Vermesting. Vooral voor het MV-3 pakket is toedeling naar individuele maatregelen gewenst en bij het RIVM gepland.

Voor verspreiding van koper naar landbouwbodems zijn geen kwantitatieve kosten- en emissieschattingen beschikbaar. Dit thema lift deels mee in het mest- en ammoniakbeleid via het volumebeleid (Van Egmond, 1996).

### 3.3.7 Bouwnijverheid

Voor de doelgroep Bouwnijverheid geldt dat voor de thema's Verspreiding, Verzuring en Vermesting momenteel geen goede inventarisatie beschikbaar is van maatregelen met kosten en effecten. Met name voor Verzuring en Vermesting is dit logisch, aangezien de emissies in de Bouw voor deze thema's niet significant zijn (Smit, 1996).

In 1996 is aan TNO opdracht verleend om een model te ontwikkelen (genaamd BOUW/MODEL). Met dit model zal de evaluatie van de Plan van Aanpak Duurzaam Bouwen in 1997 plaatsvinden. Een eerste prototype, waarin de effecten van verschillende maatregelen worden berekend, zal in november 1996 beschikbaar zijn. De oplevering van het model is gepland voor januari 1997. Met het definitieve model kunnen de kosten en effecten van DUBO-maatregelen in de Bouw berekend worden tot 2020. Momenteel is nog niet zeker hoe de emissies in de wegebouw (van belang voor onder andere VOS en Zink naar water, bijvoorbeeld voor vangrails) in het model geïncorporeerd worden.

De emissies voor de doelgroep Bouw betreffen voornamelijk VOS door het gebruik van verf. Doordat voor maatregelen geen penetratiegraad valt vast te stellen, en er bovendien een afbakeningsprobleem speelt, is niet goed vast te stellen wat de effecten en kosten zijn.

Wel zijn de KWS-2000 maatregelen opgenomen. Voor dit project kan evenwel gebruik gemaakt worden van de maatregelen zoals die zijn geïnventariseerd voor het NMP-2. Er zijn echter een aantal vraagtekens te plaatsen bij deze maatregelen. Daarom verdient het aanbeveling om deze maatregelen in samenspraak met de doelgroep te herevalueren.

### 3.3.8 Handel, diensten, overheid

Voor de doelgroep Handel, Diensten en Overheid (HDO) zijn geen maatregelen opgenomen buiten het KWS-2000 programma. Reden hiervoor is dat er binnen de doelgroep

momenteel onvoldoende inzicht is in de effecten en kosten van maatregelen (Aalbers, 1996). Vanaf oktober 1996 zal door TME een inventarisatie plaatsvinden van maatregelen voor deze doelgroep.

Voor VOS, binnen deze studie het enige belangrijke milieutekort dat voor deze doelgroep telt, zijn een aantal maatregelen bekend in het kader van KWS-2000. Deze zijn opgenomen in de lijst voor de MV-3.

### 3.3.9 Riolering / RWZI's

Sinds 1992 is door de waterkwaliteitsbeheerders geïnvesteerd in de defosfatering en denitrificering van RWZI's. Uit een overzicht van de Unie van Waterschappen blijkt dat in 1995 de geplande fosfaatbeperking van 75% gehaald zal worden (UvW, 1995). De geplande stikstofverwijdering van 75% zal later dan gepland - in 2005- bereikt worden. Wegens ruimtegebrek moet een aantal grote stedelijke installaties verplaatst worden. Dit leidt volgens de UvW na 2000 tot relatief hoge kosten. Het RIZA gebruikt in de WaterSysteemVerkenningen (WSV; RIZA, 1996) forfaitaire bedragen per inwoner-equivalent. Het RIZA komt voor defosfatering hoger uit dan de UvW, voor denitrificering lager. In dit rapport worden de RIZA-cijfers gebruikt. In het NMP-2 pakket zijn verdergaande maatregelen voor RWZI opgenomen: defosfatering tot 95% en denitrificering tot 85%. Deze cijfers zijn overgenomen.

Renovatie, uitbreiding en optimalisatie van rioleringsstelsels hebben vele doelstellingen, waarvan emissiebeperking van N en P naar water één van de vele is. In overleg met de doelgroepcoördinator zijn maatregelen voor riolering niet in de curves verwerkt (Elzenaga, 1996).

In het kader van de WaterSysteemVerkenningen (RIZA, 1996) heeft het RIZA actuele overzichten gemaakt van emissiebestrijdingsmaatregelen naar water. Effecten en kosten van deze maatregelen zijn ingevoerd in Promise, het door het RIZA beheerde deelsysteem van RIM+. Uit Promise zijn die maatregelen geselecteerd die in het scenario Systeem2015 op lange termijn relevant zijn voor wateremissies van nutriënten (P en N) en Zink. Verwerking in de curves is binnen dit project alleen voor de RWZI's mogelijk gebleken.

## 3.4 Verdroging

In de MV-3 en het Milieurendement van het NMP-2 zijn een beperkt aantal maatregelen geïdentificeerd om de Verdroging tegen te gaan. Daarnaast heeft het RIZA in het kader van de WaterSysteemVerkenningen (RIZA, 1996) voor een aantal alternatieve scenario's berekend welke technische opties beschikbaar zijn om het areaal verdroogd natuurgebied terug te dringen. Aangezien de scenario's van het RIZA totaaleffecten en -kosten weergeven, vervangen deze de maatregelen uit de MV-3 en Milieurendement van het NMP-2. In feite is de WSV een herziene, verbeterde schatting van de effecten en kosten van Verdroging zoals die gemaakt is in Beugelink en Claessen (1995). Met name de afstemming van het instrumentarium is verbeterd.

Hoewel achter de scenario's die in de WSV gebruikt worden specifieke maatregelen te identificeren zijn, is het niet mogelijk gebleken voor deze afzonderlijke maatregelen ef-

fecten in termen van reductie verdroogd areaal vast te stellen. Daarom is noodzakelijkerwijze gewerkt met de pakketten van maatregelen zoals die gebruikt zijn bij de verschillende scenario's. Deze maatregelen zijn ingedeeld in de volgende categorieën: waterhuishoudkundige maatregelen, beperkingen in het grondwatergebruik ten behoeve van de industrie en de drinkwatervoorziening en vermindering van de beregening in de landbouw. De kosten van deze pakketten maatregelen zijn voor verschillende scenario's door het RIZA geraamd.

De scenario's die in de WSV gebruikt worden zijn "Huidig Beleid 2000" (HB00), "Huidig Beleid 2015" (HB15), "Systeem 2015" (S15) en "Trendbreuk 2045" (T45). Deze scenario's lopen op in de mate waarin verdergaande maatregelen worden geïmplementeerd om Verdroging terug te dringen. De effecten en kosten van het HB00-scenario komen rechtstreeks uit de WSV. De effecten en kosten van die maatregelen die wel opgenomen zijn in het scenario HB15, maar niet in het scenario HB00, kunnen berekend worden als het verschil in totaaleffect respectievelijk totaalkosten tussen beide scenario's. Met andere woorden, de effecten en kosten van het scenario HB15 worden gedefinieerd als additionele effecten en kosten ten opzichte van het scenario HB00. Evenzo kunnen de scenario's S15 en T45 additioneel gedefinieerd worden ten opzichte van respectievelijk HB15 en S15. Aldus ontstaan vier pakketten maatregelen die in vaste volgorde genomen moeten worden. In tegenstelling tot de algemene methodiek zoals beschreven in paragraaf 2.2.2 worden deze vier pakketten apart opgenomen in de kosteneffectiviteitscurve voor Verdroging, ongeacht de kosteneffectiviteit van de pakketten.

Een probleem dat zich voordoet bij het berekenen van de effecten en kosten van de pakketten maatregelen is de verschillende context van de scenario's. Niet alleen gaan de verschillende scenario's uit van verschillende economische achtergrondscenario's, maar ook verschilt de tijdshorizon per scenario (zoals in de naamgeving is weergegeven). Wat de invloed is van deze verschillende context per scenario is niet goed duidelijk. Hiermee kan in de berekeningen noodzakelijkerwijs geen rekening gehouden worden. Wel dienen de resultaten om deze reden met extra voorzichtigheid geïnterpreteerd te worden. De twee "Huidig Beleid" scenario's hebben overigens wel dezelfde economische achtergrond.

Bij de definitie van de maatregelen in de WSV zijn kleinschalige projecten zoals die in praktijk vaak voorkomen gegeneraliseerd tot de volgende standaardvormen: "aanpassing waterhuishouding", "ontpolderen", "drinkwateronttrekkingen", "reallocatie drinkwater", "industriewateronttrekkingen", "reallocatie industrieel water", "industriële waterwinning naar diepe pakketten", "reductie beregening in de landbouw", "verloofing" en "bebouwing afkoppelen van riool". De effecten en kosten van deze maatregelen verschillen per scenario, aangezien er voor verdergaande scenario's grotere effecten en kosten optreden, onder andere omdat de maatregelen op grotere schaal worden ingevoerd.

Het effect van een maatregel kan in het geval van Verdroging op meerdere manieren gedefinieerd worden. Gewerkt wordt met een procentuele daling van het areaal verdroogd gebied. Hierbij kan echter nog onderscheid gemaakt worden tussen het aangepakte areaal exclusief buffer (hydrologisch effect), het aangepakte areaal inclusief buffer (idem), het areaal met een verandering van de grondwatertrap met 1 klasse (ecologisch significant) en de verandering in natuurwaarde (ecologisch effect). Om in lijn te blijven met de

definitie van effecten voor de andere milieuthema's (die alleen de directe effecten op milieudruk, niet het effect op milieukwaliteit meenemen) zal in dit rapport verder gerekend worden met het hydrologisch effect (exclusief buffer).

Bij het berekenen van de kosten van de verschillende pakketten maatregelen dient onderscheid gemaakt te worden tussen de waterhuishoudkundige kosten en de extra kosten voor landbouw, industrie en drinkwatervoorziening. De waterhuishoudkundige kosten betreffen eenmalige kosten, terwijl de andere kostenposten jaarlijkse kostenposten zijn. De kosten van waterhuishoudkundige maatregelen worden omgezet in jaarkosten door een 25-jarige annuïteit te berekenen (de standaard aflossingstermijn voor bouwkundige investeringen). Voor gedetailleerde informatie over de behandeling van bijvoorbeeld vervroegde afschrijvingen en de (extra) aankoop van grond wordt verwezen naar de WSV.

De extra kosten voor industriewater waren voor het scenario T45 vooralsnog niet bekend. In de berekeningen is daarom gewerkt met extra jaarkosten van 270 miljoen gulden, zoals deze kosten in een voorlopige versie van de WSV waren ingeschat.

Opgemerkt kan nog worden dat de verschillende scenario's uit de WSV niet geoptimaliseerd zijn qua kosten. Hieruit volgt dat de verschillende pakketten niet per definitie de goedkoopste methode aangeven om een bepaalde doelstelling te bereiken. Gegeven de informatie die bekend is, is het echter wel de enige beschikbare schatting.

De relatie tussen de maatregelen om Verdroging tegen te gaan vertonen in werkelijkheid een duidelijke interactie met de andere milieuthema's, met name Verzuuring en Vermesting. Met bovenstaande gegevens kan echter geen inschatting gemaakt worden van deze interacties. In de berekeningen wordt daarom verondersteld dat het milieuthema Verdroging volledig los staat van de andere thema's.

### **3.5 Bodemverontreiniging**

#### **3.5.1 Inleiding**

De kosten van het schoonmaken van een locatie hangen af van verschillende factoren. De belangrijkste hiervan zijn de omvang van het areaal, de mate van vervuiling, de aard van de vervuiling (welke stoffen) en het type locatie (bijvoorbeeld soort bodem, ligging en functie). Daarnaast zijn de kosten van sanering sterk afhankelijk van de doelstelling die gekozen wordt (zie ook paragraaf 4.8 en Versluys, 1996)). De kosten voor sanering van een locatie zijn daarom sterk afhankelijk van de situatie.

Idealiter zou voor elke locatie apart een kosteneffectiviteitscurve gemaakt moeten worden, waarin de kosten weergegeven worden voor verschillende niveaus van de doelstelling. Deze curves kunnen dan gecombineerd worden tot een totaalcurve voor het thema Bodemverontreiniging. Aangezien echter nog geen inventarisatie beschikbaar is van het aantal vervuilde locaties, laat staan van de kosten om deze locaties te saneren, is dit niet mogelijk. Daarom wordt in deze studie de volgende methode toegepast:



1. Er wordt een indeling van locaties gekozen naar mate van vervuiling.
2. Er wordt een inschatting gemaakt van het aantal vervuilde of verdachte locaties per categorie.
3. Per categorie wordt een inschatting gemaakt van de kosten voor sanering, bij verschillende doelstellingen.
4. De hieruit verkregen gegevens worden geëxtrapoleerd tot een totale 'kosteneffectiviteitscurve' voor Bodemverontreiniging.

Voor de indeling in categorieën wordt onderscheid gemaakt tussen niet ernstig vervuilde locaties, urgente ernstig vervuilde locaties en niet-urgente ernstig vervuilde locaties. Al deze drie categorieën omvatten zowel onderzochte locaties (waarvan de verdeling over de categorieën bekend) als niet-onderzochte, verdachte locaties. Helaas is deze indeling nogal grof, en zullen de kosten tussen verschillende locaties binnen dezelfde categorie sterk verschillen. Op dit moment is een verfijning van deze indeling echter niet mogelijk.

Alternatief zou het mogelijk moeten zijn om een indeling te maken naar de (voormalige) functie van de locatie, waarna de kosten per soort locatie geschat kunnen worden. Uit de (voormalige) functie van de locatie volgt de aard van de vervuiling; dit kan gecombineerd worden met de omvang, het bodemtype etcetera tot een inschatting van de effecten en kosten van bodemsanering. Dit levert een kosteneffectiviteitscurve op die aangeeft welk soort locaties het meest kosteneffectief gesaneerd kunnen worden. Deze alternatieve curve kon vanwege gebrek aan informatie en tijd niet nader onderzocht worden.

### 3.5.2 Inschatting aantal locaties

Wellicht het grootste probleem is het feit dat er tot nu toe nog geen volledige inventarisatie beschikbaar is van alle vervuilde locaties. Er is slechts een ruwe inschatting te maken van het aantal 'verdachte locaties', maar tot op heden worden de schattingen van het aantal vervuilde locaties regelmatig fors bijgesteld. Sinds de eerste grote bodemsanering bij Lekkerkerk in 1980 is besloten om alle vervuilde locaties binnen een generatie schoon te maken. Inmiddels lijkt een realistischer doelstelling om binnen een generatie de inventarisatie van alle vervuilde locaties te voltooien. In de afgelopen jaren is het aantal verdachte locaties met een factor 200 toegenomen van ongeveer 3 duizend naar 600 duizend.

Over de mate van vervuiling van niet-onderzochte locaties is weinig te zeggen. Het lijkt logisch dat eerst die locaties onderzocht worden waarvan vermoed wordt dat ze ernstig vervuild zijn. Dit zou betekenen dat er onder de niet-onderzochte locaties relatief veel licht-vervuilde locaties zitten. Momenteel is de inventarisatie van verdachte locaties echter nog zo incompleet, dat het niet mogelijk is aan te geven hoeveel van deze locaties ernstig vervuild zijn. De verwachting is echter dat het aandeel van ernstig vervuilde locaties in de loop der tijd af zal nemen, aangezien deze locaties het eerst aangepakt worden. De gevoeligheid van deze aanname kan geanalyseerd worden door als alternatieve aanname de verhouding tussen de ernstig en niet-ernstig vervuilde locaties constant te houden.

Een ander probleem is dat bodemsanering uitgevoerd wordt door verschillende instanties. Over het algemeen zijn provincies bezig met het reinigen van voormalige bedrijfsterrainen, terwijl bedrijfsterrainen die nog in gebruik zijn vaak door het bedrijf zelf gereinigd worden. Daarnaast reinigt het ministerie van Defensie zijn eigen terreinen, doen de grote gemeentes zelf ook aan reiniging, bestaan er allerlei stimuleringsfondsen en zijn er de zogenaamde VINEX-locaties. Binnen de beperkte tijd die voor deze studie beschikbaar was, en gegeven de beperkte beschikbaarheid van gegevens, is alleen onderzoek gedaan naar de locaties die onder verantwoordelijkheid van de provincies vallen. Ook is een korte analyse gemaakt van de kosten van (vrijwillige) sanering van terreinen in eigen beheer. De uitkomsten van deze analyse worden vervolgens met een aantal correcties geëxtrapoleerd naar alle locaties.

### 3.5.3 Inschatting kosten per locatie

De kosten van sanering van verschillende locaties hangen af van zoveel factoren, dat het niet goed mogelijk is de kosten voor een 'gemiddelde locatie' te bepalen. Desondanks is gepoogd een inschatting te maken, hoe beperkt ook. Hiertoe zijn twee paden gevolgd.

Allereerst is op basis van geleverde cijfers van de provincies een expert-oordeel gemaakt over de kosten van sanering per categorie. Deze kosten zijn gebaseerd op de in het verleden gemaakte kosten van de provincies.

Als tweede pad voor het inschatten van de kosten is onderzoek gedaan naar (de mogelijkheden voor het bepalen van) de kosten van maatregelen voor een specifieke locatie. Deze analyse wordt besproken in paragraaf 9.2.

Een probleem is dat meestal op voorhand bepaald wordt of de locatie geïsoleerd, afgegraven of gereinigd wordt. Impliciet gebeurt deze keuze mede op basis van de kosteneffectiviteit van de verschillende maatregelen. Hierdoor is het echter niet mogelijk te bepalen wat de kosten zouden zijn geweest als een andere maatregel gekozen was. Voor elke locatie zijn slechts de kosten voor een bepaalde doelstelling, met bijbehorende maatregel(en), bekend.

Het is niet altijd duidelijk tot welk jaar de kosten van sanering gerekend moeten worden. Allereerst moet bepaald worden of de onderzoeks- en saneringskosten investeringen zijn of operationele kosten, en indien de kosten opgevat worden als operationele kosten moeten ze toegerekend worden aan een bepaald jaar (bijvoorbeeld het startjaar van de sanering). In dit project is hier als volgt mee omgegaan: de totale kosten voor bodemsanering worden berekend (als eenmalige kosten). Vervolgens worden de jaarlijkse kosten die verbonden zijn aan deze totale kosten berekend als de rentekosten van een eeuwigdurende annuïteit die voor dit totaalbedrag wordt aangegaan. Deze rentekosten zijn gelijk aan het rentepercentage vermenigvuldigd met de totale kosten, aangezien op een eeuwigdurende annuïteit niet afgelost hoeft te worden. Op deze wijze blijven de jaarlijkse kosten constant in de loop der tijd, hetgeen overeenkomt met het idee dat toekomstige generaties even goed af moeten zijn als de huidige (de gedachte achter duurzaamheid).

Ten behoeve van de Milieubalans 1996 is een inventarisatie gemaakt van de stand van zaken in de provincies Utrecht, Noord- en Zuid-Holland. Voor deze provincies zijn cijfers bekend van het aantal oriënterende (OO) en nadere onderzoeken (NO) en van het

aantal (deel-)saneringen (inclusief saneringsonderzoeken). Opgemerkt moet worden dat het mogelijk is dat per locatie meerdere nadere onderzoeken en deelsaneringen plaatsvinden. Daarom zijn de cijfers aangepast tot het aantal betrokken locaties. Naast deze aantallen zijn ook de reeds gemaakte kosten bekend. Lopende OO en NO worden geacht voor 50% te zijn uitgevoerd en lopende saneringen voor 70%.

## 4. Duurzaamheid en doelstellingen

(Paragrafen 4.1 tot en met 4.6 zijn geschreven door ir. B. de Boer van het CBS.)

Een kosteneffectiviteitscurve voor een thema kan worden gebruikt om bij benadering de kosten te bepalen van het overbruggen van de afstand tussen de milieudruk en een norm daarvoor. In dit rapport wordt gewerkt met duurzaamheidsnormen zoals gedefinieerd in het CBS-onderzoek Berekening duurzaam nationaal inkomen (DNI) en met beleidsnormen, voor zover beschikbaar uit het NMP-2 (VROM, 1993). Een achtergrondrapport daarover is in voorbereiding. Het gaat hier primair om de gevolgde methodiek, niet om de juistheid van de getalswaarden van de normen. De benodigde emissiegegevens zijn uiteraard ook vermeld.

### 4.1 Normstelling voor duurzaam milieugebruik

Duurzame ontwikkeling is door de World Commission for Environment and Development (WCED, 1986) gedefinieerd als een ontwikkeling die voorziet in de behoeften van de huidige generatie zonder de mogelijkheden van toekomstige generaties om in hun behoeften te voorzien in gevaar te brengen. Die mogelijkheden omvatten onder andere de gebruiksmogelijkheden of functies van het milieu. Het behoud van alle milieufuncties in de nabije en verre toekomst is een noodzakelijke voorwaarde voor duurzame ontwikkeling of "duurzaamheid"<sup>3</sup>. Milieugebruik en daarmee gepaard gaande invloed op het milieu (milieudruk) worden in deze studie daarom zodanig begrensd dat alle in het basisjaar bestaande milieufuncties behouden blijven<sup>4</sup>. Dit doel stelt eisen aan de toestand van

---

<sup>3</sup> Daarbij worden dus ook de milieufuncties betrokken die afhankelijk zijn van snel reagerende, reversibele milieuproblemen zoals stof in lucht, geluid- en stankhinder. In het DNI-onderzoek wordt alleen het behoud van functies beschouwd die zich in minder dan een menselijke generatie langs natuurlijke weg niet volledig kunnen herstellen. Dat zijn functies die bedreigd worden door trage of onomkeerbare milieuprocessen, zoals cumulatie van gifstoffen of het verdwijnen van soorten.

<sup>4</sup> Een andere, veel gebruikte definitie van duurzaamheid is het niet overschrijden van het niveau van intertemporele welvaart dat bij verder constante omstandigheden in theorie eeuwig kan worden volgehouden (zie bijvoorbeeld Mäler, 1990 en Vellinga en Withagen, 1996). Aan de welvaart dragen zowel huidig en toekomstig milieugebruik als huidig en toekomstig verbruik van door mensen geproduceerde goederen bij. Deze definitie leidt tot een elegante modelvoorstelling waaruit blijkt dat een duurzaam ontwikkelingspad kan worden berekend als alle relevante relaties in het consumptie-, productie- en milieusysteem bij benadering bekend zijn en de preferenties voor duurzame ontwikkeling zeer sterk zijn. Als al aan deze voorwaarden is voldaan, is het model in een praktisch geval met vele activiteiten, maatregelen, milieuproblemen en milieufuncties vooralsnog onoplosbaar.

het milieu, die na het maken van enkele aannemelijke veronderstellingen bij benadering kunnen worden bepaald<sup>5</sup>.

Centraal staan de functies die voor het voortbestaan van planten, dieren en mensen nodig zijn (vitale functies), en daarmee ook de mogelijkheden om over het (voort)bestaan van soorten en het functioneren van ecosystemen te worden geïnformeerd en de functies van ecosystemen die nodig zijn bij de produktie en consumptie van goederen door mens. Dat zijn bovendien ook functies die door de natuur slechts zeer langzaam of in het geheel niet kunnen worden hersteld. Verondersteld wordt nu dat deze functies behouden blijven *als biologische soorten op wereldschaal niet uitsterven*. Uitgaande van deze voorwaarde kunnen op grond van onderzoek grenzen aan verschillende milieutoestandsvariabelen (zoals concentraties van sommige stoffen) worden gesteld. Voor andere toestandsvariabelen (zoals ultraviolette straling of de ozonconcentratie op leefniveau) is dat niet duidelijk, maar kunnen wel de niveaus worden aangegeven waarbij fysiologische schades aan bepaalde soorten optreden. Verondersteld wordt dan dat *het voorkómen van fysiologische schades aan soorten* belangrijk is voor hun overlevingskansen. Dit criterium kan ook zelfstandig van belang zijn, namelijk als veel mensen daarvoor zwaarwegende preferenties hebben; daarvan is hier niet uitgegaan. De eisen die voor het overleven van soorten aan het milieu worden gesteld kunnen er overigens op neerkomen dat de oppervlakten van verschillende soorten ecosystemen moeten worden vergroot en dat de systemen moeten worden gekoppeld. *Het beperken van schade aan de gezondheid van de mens* is gebruikt als criterium om daarvoor noodzakelijke functies te behouden. De te beschermen milieufuncties moeten tenslotte *voor iedereen redelijk bereikbaar* zijn. Deze eis komt deels voort uit de behoefte aan functies die voor de gezondheid van de mens noodzakelijk zijn en die dus direct beschikbaar moeten zijn, maar ook uit de door ons vrij algemeen veronderstelde behoefte aan de nabijheid van een diversiteit aan ecosystemen, waaronder landbouwgebieden.

Bij ieder criterium zijn in de literatuur normen voor de fysische, chemische en biologische toestand van het milieu gezocht. De strengste norm voor een thema is dan de duurzaamheidsnorm.

Duurzaamheidsgrenzen worden in dit project maar voor één milieuprobleem tegelijk gebruikt. Als daarbij zou worden verondersteld dat andere milieuproblemen niet tot duurzame niveaus worden gereduceerd, wat voor de hand ligt, zouden combinatie-effecten

---

<sup>5</sup> De grenzen aan de verschillende vormen van milieudruk zijn in theorie afhankelijk van de milieutoestand en de technologie, en daarmee van elkaar en van de tijd. De belasting van een langzaam reagerend ecosysteem kan bijvoorbeeld vaak langzaam worden afgebouwd zonder dat functies verdwijnen. Als met alle afhankelijkheden rekening moet worden gehouden wordt de berekening van een duurzaam ontwikkelingspad en een daarbij behorend duurzaam nationaal inkomen erg lastig. Door vermoedelijk minder belangrijke afhankelijkheden te verwaarlozen zijn de grenzen aan het milieugebruik echter zo goed mogelijk benaderd. Voor het gebruik van niet-vernieuwbare natuurlijke hulpbronnen zijn de grenzen alleen afhankelijk gesteld van de veronderstelde technologische ontwikkelingen in de verbetering van de efficiëntie van het gebruik van de hulpbron en de productie van substituten ervoor (Bosch, 1995). De grenzen van andere typen milieugebruik zijn alleen afhankelijk van de toestand en herstellvermogens van het milieu verondersteld.

een grote rol spelen. Soorten zouden dan bijvoorbeeld toch kunnen uitsterven. Dat moet worden voorkomen. Daarom is bij de *vaststelling* van de normen toch verondersteld dat duurzaamheid in alle milieuproblemen tegelijk wordt bereikt<sup>6</sup>. Combinatie-effecten moeten daarbij worden geminimaliseerd; ze kunnen niet geheel worden vermeden en dat is ook niet nodig. Zo is in deze studie voor duurzaam ruimtegebruik de geplande Nederlandse Ecologische Hoofdstructuur als norm gesteld (Tweede Kamer, 1990; RIVM *et al.* 1997). Daarmee is verondersteld dat de EHS een bijdrage aan een Europese en mondiale ecologische structuur levert, die voldoende voorwaarden (namelijk habitats) voor het overleven van soorten schept, mits andere milieuthema's in die gebieden aan de duurzaamheidsnormen voldoen. Deze duurzaamheidsnorm heeft grote invloed op de emissienormen voor milieuthema's met regionaal zeer gedifferentieerde emissie- en verspreidingspatronen, zoals Verzuring, Vermesting en Verspreiding. De stoffen mogen in de nieuw aan te leggen, vaak onderling verbonden natuurgebieden immers in maar zeer beperkte hoeveelheden voorkomen.

Voor de effecten van stoffen in het milieu is in Nederland een wetenschappelijk zo goed mogelijk onderbouwd stelsel van risicogrenzen en daarop aansluitende beleidsnormen ontwikkeld, voorlopig in hoofdzaak voor toxische, kankerverwekkende en anderszins "milieugevaarlijke" stoffen (zie bijvoorbeeld Beek, 1995). Voor Vermesting geldt een vergelijkbaar systeem. De relevante risicogrenzen zijn het Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau (MTR) en het Verwaarloosbaar Risiconiveau (VR) van een stof. Bij het MTR is 95% van de potentieel aanwezige soorten in de betreffende ecosystemen beschermd, mits de andere toestandsvariabelen geen bedreigingen vormen; met name soorten die zich hoger in de voedselketen bevinden kunnen in een aantal gebieden gevaar lopen. De VR's houden wel rekening met combinatietoxiciteit van alle problematische stoffen die aan de MTR's voldoen. Het VR van een variabele is in principe 100 maal strenger (lager) dan het MTR. De factor staat ter discussie; zo kan het VR kleiner zijn dan het natuurlijke achtergrondniveau. De onzekerheid in de VR's is dan ook aanmerkelijk groter dan in de MTR's. Streef- en grenswaarden zijn praktische normen ten behoeve van het beleid. De streefwaarde van een variabele is gelijk aan het VR of het natuurlijke achtergrondniveau, als dat groter is dan het VR. De grenswaarden zijn niet groter dan de MTR's en worden per planperiode aangescherpt tot ze uiteindelijk de streefwaarden benaderen.

De VR's zijn vastgesteld met het oog op het minimaliseren van de effecten van combinatietoxiciteit. Daarom ligt keuze van de VR's c.q. streefwaarden als duurzaamheidsnormen voor de hand. De onvermijdelijk ruwe inschatting van combinatie-effecten leidt echter tot grote onzekerheden in de normen. Een gevolg daarvan kan bijvoorbeeld zijn dat de streefwaarde voor de concentratie bijvoorbeeld kleiner dan of gelijk is aan de natuurlijke achtergrondwaarde, waardoor de toegestane milieudruk nul is. Het is onwaarschijnlijk dat dit nodig is om aan de hier gehanteerde criteria voor duurzaamheid te voldoen. Een van de oorzaken van dit probleem kan zijn, dat duurzaamheid wordt geïdentificeerd met ecosystemen waarvan het aantal, de onderlinge verscheidenheid, de soorten-samenstelling en andere "potenties" aanmerkelijk verder zijn ontwikkeld dan in de hui-

---

<sup>6</sup> Bovendien kunnen de normen daardoor ook direct in het DNI-project worden gebruikt, waar ze wel simultaan worden gebruikt.

dige situatie. Deze doelstelling is volgens het hier gehanteerde duurzaamheidsbegrip niet aan de orde, tenzij het noodzakelijk is voor het overleven van bepaalde soorten (eerste criterium); dat kan zonder nadere gegevens niet worden beoordeeld. In principe is daarom uitgegaan van streefwaarden, tenzij de conclusies onrealistisch lijken. In dat geval is het gemiddelde van de streefwaarde en de grenswaarde als norm gebruikt.

Als eenmaal een norm voor een milieutoestandsvariabele is gevonden, is verondersteld dat de norm in 90 procent van de locaties moet gelden. Het overschrijdingspercentage is enerzijds nodig om rekening te houden met de natuurlijke variatie in de toestandsv variabelen in de ruimte; dat maakt de norm realistischer. Anderzijds is daarmee verondersteld dat soorten mondiaal overleven als ze in die systemen overleven die overblijven als de normen van verschillende variabelen op verschillende plaatsen worden overschreden. Deze veronderstelling is niet aan de werkelijkheid getoetst en kan dus onjuist zijn.

Met behulp van de zojuist besproken benaderingen voor duurzaamheidsgrenzen aan de milieutoestand zijn grenzen aan de milieudruk berekend. Dat is gebeurd aan de hand van relaties tussen milieudruk en milieutoestand, zo mogelijk verklarende modellen van de belangrijkste processen. Voor een milieuprobleem waarbij snelle maar blijvende veranderingen van de milieudruk pas na tientallen jaren of meer tot veranderingen van de milieutoestand leiden, is een dynamisch model gebruikt; de berekende norm voor de milieudruk houdt een geleidelijke reductie over een langere periode in (voorbeeld: klimaatverandering). In andere gevallen is met de statische variant van het model gewerkt, die relaties tussen evenwichtstoestanden beschrijft. Er wordt dan een constante grens aan de milieudruk gevonden, die neerkomt op een reductie ineens. Meestal is gebruik gemaakt van de uitkomsten van modelberekeningen die in de literatuur zijn beschreven. Waar die niet beschikbaar waren zijn eenvoudige benaderingen toegepast.

Door ruimtelijke verspreiding van milieubelastende activiteiten en processen in het milieu kan een grote ruimtelijke variatie in de effecten op de milieutoestand optreden. De emissies zijn in die gevallen in onderlinge samenhang gemaximaliseerd, met als beperking dat de normen voor de toestand niet mogen worden overschreden. Sommige emissies worden daardoor groter dan ze nu zijn, maar de totale emissie wordt gereduceerd. Deze benadering moet eigenlijk tot andere kosteneffectiviteitscurves leiden dan die welke in dit rapport zijn afgeleid, maar dergelijke curven zijn nog niet berekend. De afwijking is geaccepteerd.

Bij een grensoverschrijdend milieuprobleem zoals verzuring is de grens aan emissies op mondiale of continentale schaal omgezet in een grens op nationale schaal. Daartoe is verondersteld dat alle bij het milieuprobleem betrokken landen tegelijk maatregelen nemen om duurzaamheid te bereiken. De optimale verdeling is die waarbij het totaal van de kosten van de bestrijding van het milieuprobleem over de betrokken landen minimaal is. De bestrijding van de milieudruk moet daarom zodanig over de landen worden verdeeld dat de marginale kosten in alle landen gelijk zijn. De kosteneffectiviteitscurven voor het milieuprobleem zijn echter niet in alle betrokken landen bekend. Daarom is verondersteld dat de landen binnen het verspreidingsgebied van het milieuprobleem hun milieudruk verminderen naar mate van hun bijdragen aan de huidige milieudruk. Omdat deze aanpak sub-optimaal is kan de norm voor een land te streng uitpakken. Zowel de kosteneffectieve oplossing als de benadering zullen wellicht resulteren in vergelijkbare

relatieve emissiereducties in binnen- en buitenland. De invloed van “import” en “export” van stoffen via het milieu op de duurzaamheidsnorm is daarom verwaarloosd. Het is echter aan te bevelen, een gevoeligheidsanalyse naar het belang van deze veronderstelling uit te voeren.

## 4.2 Verspreiding van vluchtige organische stoffen in lucht

In de troposfeer kan bij voldoende zonlicht een complex van reacties optreden waarin vluchtige organische stoffen (VOS) en koolmonoxide worden geoxideerd, waarbij de aanwezigheid van stikstofoxiden essentieel is. Van de reactieproducten heeft ozon de meeste effecten. Doorlopend verhoogde ozonconcentraties veroorzaken schade aan natuurlijke vegetatie en landbouwgewassen (geschatte opbrengstreductie 3-4%). De piekconcentraties die bij mooi zomerweer optreden hebben een negatieve invloed op de longfunctie en veroorzaken irritaties van de slijmvliezen van ogen, neus en keel van de mens en wellicht een groot aantal dieren. Functieverlies is dus duidelijk; effecten op de gezondheid van de mens en planten- en diersoorten vervullen daarbij een sleutelrol. De norm voor het gemiddelde van de 98-percentielen van de ozonconcentratie op leefniveau over het groeiseizoen, april-september, ter bescherming van ecosystemen, is in 1990 met 13% overschreden, de norm voor deze grootheid ter bescherming van (de gezondheid van) de mens met 3,5% (RIVM, 1995).

Uit toepassingen van een model van het RIVM (De Leeuw en Van Rheineck Leyssius, 1991) is afgeleid, dat de combinaties van de emissies van  $\text{NO}_x$  en NMVOS (VOS zonder methaan) onder een bepaalde curve moeten blijven om de seizoensgemiddelde piekconcentratie met 13% te verlagen. In dit rapport worden de duurzaamheidskosten voor een milieuprobleem weergegeven alsof andere milieubelastingen (hier de  $\text{NO}_x$ -emissie) niet worden bestreden. De gebruikte norm voor NMVOS is dan 260 mln kg/jaar, het betrouwbaarheidsinterval 210 ... 310 mln kg/jaar. Het tussendoel van het NMP-2 voor 2010 is strenger: 117 mln kg/jaar (VROM, 1993). De oorzaak daarvan moet worden onderzocht. De emissie is 440 mln kg in 1990 en 422 mln kg in 1992. De NMVOS-emissie die voor het bereiken van duurzaamheid moet worden bestreden zou in 1990 dus 180 (130 ... 230) mln kg zijn geweest; in 1992: 162 (112 ... 212) mln kg.

## 4.3 Verspreiding van fijn stof in lucht

De effecten van het voorkomen van vaste en vloeibare deeltjes in de lucht zijn afhankelijk van de samenstelling van de deeltjes. Irritatie van de slijmvliezen kan bij hoge doseringen optreden. Stof uit bronnen als het wegverkeer heeft kankerverwekkende bestanddelen zoals polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) en asbest, des te meer naarmate de stofdeeltjes kleiner zijn. De aandacht richt zich in het beleid daarom vooral op fijn stof, waarmee tegenwoordig deeltjes kleiner dan enkele micrometers worden bedoeld. De hier gebruikte emissies en normen hebben nog betrekking op deeltjes tot 10  $\mu\text{m}$  (PM10).

Stof cumuleert niet of nauwelijks in de atmosfeer; het probleem kan daarom statisch worden benaderd. Dit milieuprobleem brengt daarom de beschikbaarheid van milieufuncties alleen in het heden en de nabije toekomst in gevaar. Zoals in 4.1 is uitgelegd, is



daarmee toch een opvatting van duurzaamheid in het geding en geldt de hier af te leiden norm als duurzaamheidsnorm.

Er zijn grenswaarden gesteld aan de concentraties van fijn stof in de lucht met het doel de gezondheidsrisico's te beperken (Eerens, 1991). De grenswaarde voor het jaarlijkse gemiddelde van de concentratie van fijn stof is  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (RIVM, 1995 en 1996). De concentratie in een stad als Amsterdam is door Eerens (1991) met een model uit metingen afgeleid; deze bedraagt in 1990 en 1992 circa  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ruim de helft van deze hoeveelheid is volgens het model natuurlijke oorsprong, stel 25 tot  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Uitgaande van een lineaire relatie tussen emissie en het antropogene deel van de concentratie moet de emissie met 40% tot 50% worden gereduceerd. De emissies zijn volgens het CBS (1992) in 1990 en 1992 respectievelijk 77 en 70 mln kg/jaar groot en wijken voor 1992 niet veel af van latere gegevens van de Emissieregistratie (Berdowski *et al.*, 1993, 1994). De emissienorm zou daarmee uitkomen op  $40 \pm 5$  mln kg/jaar.

Het NMP-2 gaat veel verder (VROM, 1993). De concentratienorm is conform de Europese richtlijnen gesteld op  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; de emissiedoelstelling ligt bij 20 mln kg/jaar. De concentratienorm is kleiner dan de natuurlijke achtergrondconcentratie die hierboven in verband met het model van Eerens (1991) is genoemd. Ervan uitgaande dat de nieuwe resultaten op nieuwe inzichten en dus op een gewijzigd model stoelen is  $20 \pm 5$  mln kg/jaar als duurzaamheidsnorm gekozen. De duurzame emissiereductie komt daarmee uit op  $57 \pm 5$  mln kg/jaar in 1990 en  $50 \pm 5$  mln kg/jaar in 1992.

Een en ander betekent niet dat bij de emissienorm een drempel in de dosis-effectrelatie is waargenomen; de WHO (1995) kon daarvoor althans geen aanwijzingen vinden. Ook zonder een drempel kan een duurzaamheidsnorm dienen als benadering van de (hoogst toelaatbare) milieudruk in duurzame situaties; zie 4.1. Het is aan te bevelen de schatting in de toekomst te verbeteren.

#### 4.4 Verspreiding van zink in water

De grens- en streefwaarden voor totaal zink in oppervlaktewater zijn 30 en  $9 \mu\text{g}/\text{l}$  (V&W, 1993, 1995). De relatie tussen de emissies en de 90-percentielen van de evenwichtsconcentraties van totaal zink in de Nederlandse rijkswateren is geschat met een dynamisch model voor de verspreiding van zink, een versie van Horizon (De Boer en Van der Meijden, 1990). Dit is gedaan door de zinkemissies constant te houden en het model in evenwicht te laten komen. Herhaling van deze berekening voor verschillende totale zinkemissies met behoud van de verdeling over het land levert de gezochte relatie op. De uitkomsten zijn aangepast aan meer recente meetgegevens voor rijkswateren en regionale wateren (CIW/CUWVO, 1996). Vervolgens is berekend hoever de totale emissie moet worden gereduceerd opdat het 90-percentiel van de ruimtelijk nog variërende evenwichtsconcentratie aan de grenswaarde voldoet. Volgens het model kan de 90-percentielconcentratie tot  $20 \mu\text{g}/\text{l}$  worden gereduceerd door de emissie terug te brengen tot 70 ton/jaar. De streefwaarde,  $9 \mu\text{g}/\text{l}$ , kan in het model niet kan worden gehaald. Er zijn verschillende oorzaken mogelijk. De binding van zink aan zwevend stof en bodemdeeltjes is in het model beschreven als een irreversibel gebonden deel dat een achtergrondconcentratie in water en waterbodemp veroorzaakt, naast een reversibel gebonden deel dat met lineaire adsorptieformules wordt beschreven; wellicht is deze beschrijving

te grof. De achtergrondconcentratie kan op verschillende locaties te hoog zijn ingeschat. Het model is wellicht aan verouderde gegevens gekoppeld. Hoe het ook zij, de duurzame emissie is voorzichtigheidshalve geschat op 100 ton/jaar, met een (onbetrouwbaar) betrouwbaarheidsinterval van 50 tot 250 ton/jaar. De schatting moet in de toekomst worden verbeterd.

De emissie en de norm zijn exclusief atmosferische depositie, maar inclusief oppervlakkige afvoer en afvoer van verhard oppervlak via riolen, omdat de belangrijkste maatregelen betrekking hebben op zink van dakgoten, vangrails en dergelijke dat via deze weg het oppervlaktewater bereikt. De emissie bedroeg in 1990 en 1992 respectievelijk 625 en 457 ton. De benodigde emissiereducties zouden voor die jaren dus 525 (375 ... 575) ton en 257 (107 ... 407) ton zijn.

#### 4.5 Verzuring

De geraadpleegde literatuur geeft niet aan of door verzuring soorten zijn uitgestorven of zullen uitsterven. De norm daarvoor is nochtans gelegd bij het depositieniveau waarbij na verloop van tijd soorten uit het ecosysteem verdwijnen. Dat is voor ecosystemen op het land waarschijnlijk het niveau waarbij opname van nutriënten door planten ernstig wordt geremd door schade aan de wortels, en/of het niveau waarbij uitloging van de bodem plaatsheeft, voor aquatische ecosystemen het depositieniveau waarbij de pH lager dan 6 à 6,5 wordt. Deze kritische belastingen zijn afhankelijk van het type water of bodem en de daarin voorkomende fysische, chemische en biologische processen, dus ook van de vegetatie. Bij overschrijding kan een vorm van functieverlies optreden.

Een berekening waarin de lokale emissies zijn gemaximaliseerd onder de beperkingen dat de kritische deposities in de natuurgebieden niet mogen worden overschreden, is door Erisman *et al.* (1996) uitgevoerd voor stikstofemissies in lucht in verband met eutrofiëring. Het gebruikte model voor het transport door de atmosfeer is lineair en statisch. De emissies en deposities worden per kaartvak berekend. De kritische deposities op bodem en oppervlaktewater zijn met eenvoudige modellen berekend. De emissienormen zijn bepaald voor de situatie waarin de Ecologische Hoofdstructuur is verwezenlijkt (zie 4.1). Verder is voorkomen dat onrealistische emissiedichtheden worden berekend, door de verschillen tussen de emissiereducties in aangrenzende roostervakken te beperken tot 10% á 20% van de grootste reductie. De toelaatbare ammoniakemissie met het oog op Vermesting komt dan uit op circa 105 mln kg/jaar, met als betrouwbaarheidsinterval 65 tot 145 mln kg/jaar. Het interval is berekend door alle kritische deposities tegelijk te verhogen of te verlagen en de grenzen aan de verschillen tussen de emissiereducties in aangrenzende kaartvakken te variëren.

De Vries (1993, 1995) laat zien dat de kritische stikstofdeposities in naald- en loofbossen op goed ontwaterde zandgronden in verband met verzuring 1,6 tot 1,8 maal minder strenger zijn dan de kritische stikstofdeposities in verband met eutrofiëring, terwijl die voor oppervlaktewater 2,4 maal strenger zijn. De laatste hebben vermoedelijk weinig invloed op de maximaal toelaatbare emissie. De norm voor de totale verzurende emissie naar lucht is daarom 1,5 tot 1,7 maal ruimer gekozen dan de norm voor de stikstofemissie naar lucht in verband met Vermesting, omgerekend 10 (6...15) mld Zeq/jaar. De schatting van de duurzaamheidsnorm moet te gelegener tijd worden verbeterd. De doel-

stelling van het NMP-2 voor het jaar 2010 is bijvoorbeeld strenger: 4,3 ... 8,6 mld Zeq/jaar (VROM, 1993). De uitstoot van verzurende stoffen in lucht is in 1990 en 1992 respectievelijk 33,9 en 29,7 mld Zeq/jaar (CBS, 1996). Deze moeten dus worden verminderd met 23,9 (19...28) en 19,7 (15...24) mld Zeq/jaar.

#### 4.6 Vermesting

Voor normstelling moeten de effecten van eutrofiëring op ecosystemen via processen in lucht, bodem en water in onderlinge samenhang worden berekend. Een daartoe strekkend model is door ons niet aangetroffen. Er is gekozen voor een aanpak per milieucanponent, waarbij aan de onderlinge samenhang aandacht is besteed.

##### Lucht

De door Erisman *et al.* (1996) berekende norm voor de ammoniakemissies in lucht (zie verzuring) is hier voor emissies van ammoniak en stikstofoxiden gebruikt, uitgaande van de (onjuiste) veronderstelling dat de drie betrokken stoffen op dezelfde manier door de atmosfeer worden verplaatst. Een vergelijkbaar model voor stikstofoxiden is volgens onze informatie namelijk nog niet beschikbaar. Ook voor de verspreiding van fosfor via de lucht is dat het geval. De fosforemissies in lucht belopen echter maar een half procent van de totale fosforemissie in water, bodem en lucht. Daarom is hier de ruwe benadering gebruikt dat de norm voor de fosforemissie naar lucht zich tot de totale emissie verhoudt als de norm voor de stikstofemissie naar lucht tot de totale stikstofemissie. De benadering moet in de toekomst eigenlijk worden verbeterd. Voor de uitkomsten zie tabel 1.

##### Bodem

De berekeningen van Erisman *et al.* voor de bodem hebben betrekking op stikstofmeststoffen in de bodem in natuurgebieden. Wij hebben de berekeningen uitgebreid met een grovere benadering voor landbouwgronden, waar directe belasting met meststoffen de belangrijkste nutriëntenbron is. De emissie van stikstof of fosfor naar de Nederlandse bodem als geheel is hier gedefinieerd als het totaal van de toevoegingen als gevolg van de toediening van dierlijke mest, kunstmest, zuiveringsslib en compost, het afsterven van landbouwgewassen of delen daarvan en de infiltratie van water uit afvalstorten in de bodem, verminderd met de onttrekking door opname van meststoffen door landbouwgewassen. In het gebruikte model is verder rekening gehouden met processen als het ontwijken van gassen naar de atmosfeer en uitspoeling naar de bodem. Het model is gebaseerd op nutriëntbalansen van het CBS (1989, 1992, 1994) voor bodemvocht en grondwater in heel Nederland en benadert de gemiddelde nutriëntconcentraties in de bovenste 10 meter van het grondwater. Duurzame bemesting is benaderd door evenwichts-bemesting, gedefinieerd als de bemesting waarbij de vermindering van de gewasopbrengst per hectare in de landbouw door mestbeperking (in evenwicht) niet groter dan 5% is. Deze voorwaarde komt in plaats van de voorwaarde dat de uitspoeling naar het grondwater moet worden beperkt; de grens daaraan is zonder uitgebreider grondwatermodel namelijk moeilijk te schatten. Door de grofheid van het model is het niet goed mogelijk om de uitkomst te corrigeren voor ruimtelijke variatie van de belasting en de milieutoestand, opdat 90% van de concentraties aan de streefwaarden voldoet. De geschatte duurzame emissies naar bodem zijn in tabel 1 gegeven.

## Water

De CIW/CUWVO (1996) toetst het landelijk en jaarlijks gemiddelde van de plaatselijke totaal-stikstofconcentraties en het landelijk gemiddelde van de jaarlijkse 90-percentielen van de plaatselijke totaal-fosfaatconcentraties aan grens- en streefwaarden. Deze gegevens zijn gebruikt in plaats van de 90-percentielen van de concentraties in (statisch) evenwicht. De relatie van deze aggregaten met de totale belasting van het oppervlaktewater in heel Nederland is bovendien lineair verondersteld. De emissienormen worden dan gevonden door toepassing van de relatieve overschrijdingen van de streefwaarden op de emissies. Deze ruwe vereenvoudigingen zijn aanvaardbaar geacht omdat de emissies van de nutriënten naar oppervlaktewater kleiner zijn dan die naar lucht en bodem. De mede daardoor veroorzaakte onnauwkeurigheden zijn geschat door de verhouding tussen de grenswaarden en de streefwaarden als onzekerheidsmarge op de benodigde emissiereductie toe te passen. De verkregen normen en marges zijn in tabel 4.1 met de emissies in 1990 vergeleken.

## Totale emissies

Tabel 4.1 geeft ook de totale emissies van N en P en de totale mestemissie, de normen voor deze grootheden en de te verwijderen mestemissies. De gewichten van N en P in de totale mestemissie zijn in navolging van de Milieubeleidsindicatoren (Adriaanse, 1993) en de Emissieregistratie (Berdowski *et al.*, 1993, 1994) gelijk gesteld aan 0,1 en 1.

Tabel 4.1 Nutriëntemissies en emissienormen.

	emissie '90	duurzaamheidsnorm	benodigde emissie-reductie '90	norm NMP-2
Totaal (mln Meq/jaar)	208	19 ( 13 - 18 )	189 ( 13 - 18 )	
Stikstof (mln kg N/jaar)	970	135 ( 90 - 190 )	835 ( 90 - 190 )	
lucht	395	85 ( 55 - 120 )	310 ( 55 - 120 )	
bodem	519	30 ( 25 - 40 )	489 ( 25 - 40 )	
oppervlaktewater	56	20 ( 10 - 30 )	36 ( 10 - 30 )	25 - 75
Fosfor (mln kg P/jaar)	111	5,6 ( 3,5 - 9,2 )	106 ( 3,5 - 9,2 )	
lucht	0,5	0,1 ( 0,0 - 0,2 )	0,4 ( 0,0 - 0,2 )	
bodem	93	2,5 ( 2,0 - 3,5 )	91 ( 2,0 - 3,5 )	
oppervlaktewater	18	3,0 ( 1,5 - 5,5 )	15 ( 1,5 - 5,5 )	3 - 8

## 4.7 Verdroging

Aangezien de effecten van maatregelen om Verdroging tegen te gaan worden gedefinieerd in termen van een reductiepercentage verdroogd areaal, moet voor dit project de doelstelling voor Verdroging omschreven worden als een percentuele reductie van het verdroogd areaal. Hierbij wordt uitgegaan van het hydrologisch effect van maatregelen (zie paragraaf 3.4). Gemakshalve is, bij gebrek aan een goede duurzaamheidsdoelstelling, gekozen voor een reductie van het percentage verdroogd areaal (hydrologisch effect) met 100%. Met andere woorden, alle verdroogde gebieden moeten aangepakt worden. De uiteindelijke verandering in natuurwaarde zal bij deze duurzaamheidsdoelstelling naar alle waarschijnlijkheid beneden de 100% liggen (zie ook RIZA, 1996). Met

andere woorden, deze doelstelling behelst dat wel alle verdroogde gebieden aangepakt worden, maar niet dat alle gebieden zich ecologisch volledig herstellen.

Voor Verdroging is in het NMP-2 een doelstelling voor 2010 opgenomen van 40% reductie van het totaal areaal verdroogd gebied ten opzichte van 1985.

Volgens het RIZA (RIZA, 1996) kan ruwweg gesteld worden dat het areaal verdroogd gebied momenteel ongeveer even groot is als in 1985. Het gaat dan om 305 duizend hectare verdroogd gebied met een hoofdfunctie natuur en 255 duizend hectare verdroogd gebied met een nevenfunctie natuur. Een reductie van het verdroogd areaal met 40% komt derhalve overeen met een reductie van 224 duizend hectare. Overigens zijn in de Milieubalans 1996 de uitkomsten opgenomen van een nieuwe inventarisatie, waarin het verdroogd areaal met hoofd-, resp. nevenfunctie natuur ingeschat wordt op 299, resp. 325 duizend hectare.

#### 4.8 Bodemverontreiniging

In principe is het niet goed mogelijk om een duurzaamheidsniveau aan te geven voor Bodemverontreiniging. Een definitie zou uit kunnen gaan van het saneren van de locatie tot deze geschikt is voor 'multifunctioneel gebruik'. Hoewel deze definitie op het eerste gezicht aanspreekt kleven er een aantal nadelen aan. Ten eerste geldt in veel gevallen dat het technisch niet mogelijk is om de grond te reinigen tot deze streefwaarde. Bij reiniging van de grond volgt vaak dat de kwaliteit van de grond afneemt, zodat deze niet meer geschikt is voor de originele functies van de locatie. Daarnaast geldt dat bij het storten van de verontreinigde grond een nieuwe, zij het gecontroleerd met behulp van allerlei beschermingsmaatregelen, vervuilde locatie wordt gecreëerd, namelijk de stortplaats. Vanuit milieu-oogpunt is dit dus geen wezenlijke verbetering.

Voor het vaststellen van duurzaamheid is het nodig om de functionaliteit van de locatie te bepalen. Deze is echter ook sterk afhankelijk van de ligging van de locatie. Op deze manier speelt het ruimtelijke ordeningsbeleid een grote rol, en bepaalt het ruimtelijke ordeningsbeleid indirect de doelstelling voor bodemsanering.

Recentelijk is gekozen voor een andere, bescheidener aanpak: (licht) verontreinigde locaties worden beheerd, waarbij het risico voor mensen en omliggende locaties geminimaliseerd wordt. Er is echter nog geen uitgekristalliseerd beleid geformuleerd en discussies lopen nog. Voor de toekomst wordt verwacht dat de doelstellingen eerder minder ambitieus worden dan dat ze opschuiven in de richting van een duurzaam beleid.

De keuze van de doelstelling bepaalt ook in grote mate het type maatregelen dat gebruikt kan worden: bij een doelstelling die zich beperkt tot het minimaliseren van risico's is het isoleren van de locatie de te hanteren techniek, terwijl voor verdergaande doelstellingen afgravingen plus verwerkingen en *in situ* reiniging in aanmerking komt.

In het kader van deze studie lijkt het te prefereren om toch vast te houden aan de duurzaamheidsdefinitie zoals die hierboven is vermeld. Dit houdt in dat niet alleen de locatie, maar ook de afgegraven grond moet worden gesaneerd tot multifunctioneel gebruik. Waar mogelijk zal deze doelstelling worden gehanteerd.

De doelstelling uit het NMP-2 kan als volgt worden weergegeven: de omvang van bodemsanering moet in beeld zijn gebracht; de urgent te saneren locaties moeten zijn gesaneerd of beveiligd; en de niet urgente locaties moeten zijn beveiligd.

#### 4.9 Samenvatting van gebruikte duurzaamheidsnormen

In tabel 4.2 zijn de duurzaamheidsnormen omgezet naar doelstellingen voor te vermijden emissies. Hierbij is uitgegaan van de emissies in 1990.

*Tabel 4.2 Samenvatting van gebruikte normen voor te vermijden emissies.*

Thema	Doelstelling	Eenheid
Vluchtige Organische Stoffen	180	kiloton
Fijn Stof	57,3	kiloton
Zink naar Water	525	ton
Verzuring	23,9	zuurequivalenten
Vermesting	88 (59,5 excl. emis. naar lucht)	mestequivalenten
Verdroging	100%	reductie verdroogd areaal
Bodemverontreiniging	volledige sanering	n.v.t.

## 5. Resultaten voor Verspreiding

Zoals in sectie 3.1 aangegeven is zijn voor het thema Verspreiding de maatregelen voor vier gidsstoffen onderzocht. Voor de verspreidende emissies naar lucht zijn VOS en Fijn Stof gekozen. De resultaten van de analyse voor VOS staan beschreven in paragraaf 5.1, de resultaten voor Fijn Stof in paragraaf 5.2. Voor Verspreiding naar water (paragraaf 5.3) is gekozen voor Zink als gidsstof en voor de verspreidende emissies naar bodem tenslotte is in eerste instantie gekozen voor Koper-emissies. Helaas zijn voor deze laatste gidsstof geen maatregelen gevonden, zodat hiervoor geen kosteneffectiviteitscurve samengesteld kan worden. Dit gebrek aan maatregelen voor Verspreiding naar bodem geldt niet alleen voor Koper, maar in feite voor alle stoffen. Een belangrijke reden hiervoor is het gebrek aan beleidsdoelstellingen voor Verspreiding naar bodem.

Wegens gebrek aan tijd is niet geprobeerd om te extrapoleren van de individuele gidsstoffen naar het totaal voor Verspreiding naar lucht en water.

Nogmaals moet erop gewezen worden dat de gepresenteerde curves onvolledig en onzeker zijn (zie ook paragrafen 1 en 3.1). De curves en met name ook de totale kosten van emissiereductie dienen daarom niet opgevat te worden als “enig juiste” uitkomst. De onzekerheidsmarges van de cijfers zijn groot.

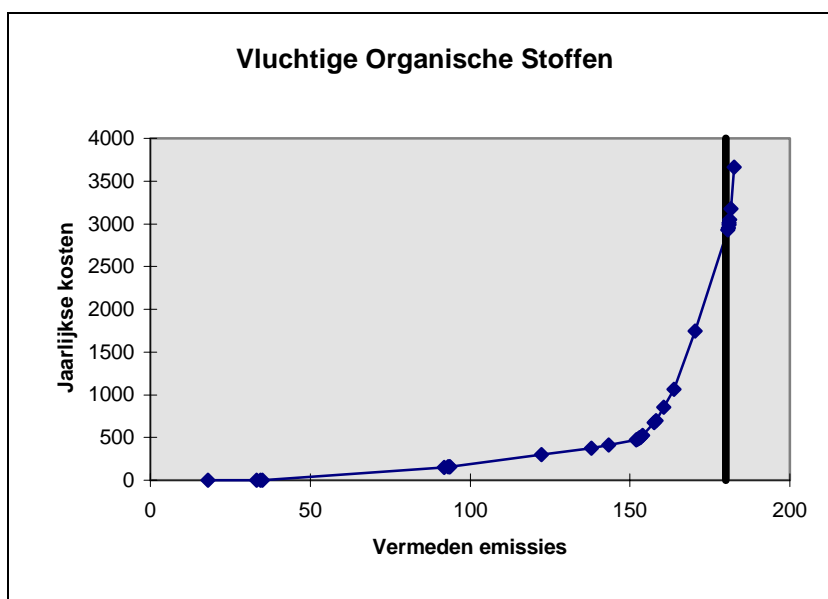
### 5.1 Een kosteneffectiviteitscurve voor VOS

Bij het berekenen van een kosteneffectiviteitscurve voor VOS (Vluchtige Organische Stoffen, met name koolwaterstoffen) is gebruik gemaakt van een set van 39 maatregelen. Binnen deze set is echter bij een aantal maatregelen sprake van exclusiviteit en volgtijdelijkheid van maatregelen. Acht maatregelen zijn niet in de curve opgenomen omdat ze uitgesloten zijn door andere maatregelen met een betere kosteneffectiviteit; daarnaast zijn tweemaal twee maatregelen samengevoegd omdat ze anders in de verkeerde volgorde in de curve zouden zijn terecht gekomen. Uiteindelijk bevat de curve 29 punten (zie Figuur 5.1).

De bronnen voor de punten in onderstaande curve zijn tweeledig: enerzijds zijn de maatregelen in het kader van het programma KWS-2000 opgenomen, waarbij gebruik gemaakt is van de gegevens uit de MV-3. Anderzijds zijn maatregelen binnen de doelgroep Verkeer en Vervoer (VEV) opgenomen. Deze tweede soort maatregelen zijn allemaal primair gericht op het terugdringen van de emissies van  $\text{NO}_x$ , maar hebben als neveneffect een vermindering van VOS-emissies tot gevolg. Overeenkomstig hoofdstuk 2 zijn deze maatregelen opgenomen in de curve voor VOS.

Uit de figuur en de achterliggende cijfers blijkt dat in totaal ruim 180 kiloton VOS-emissies vermeden kan worden, tegen de bijbehorende kosten van ruim 3.500 miljoen gulden. Aan het begin van de curve zijn twee KWS-2000 maatregelen weergegeven: voor Huishoudens en Bouwnijverheid blijken de VOS-emissies kosteloos met 18, respectievelijk 15 kiloton te vermijden. Ook de andere KWS-2000 maatregelen komen redelijk aan het begin van de curve terecht. Deze maatregelen hebben een veel grotere vermeden emissie dan de VEV-maatregelen. Ze zijn dan ook makkelijk herkenbaar in de

curve als de lange, licht oplopende lijnen. Hoewel voor de Industrie, de Diensten en de Energiesector de VOS-emissies niet kosteloos teruggedrongen kunnen worden, zijn deze maatregelen kosteneffectiever dan de meeste maatregelen die binnen de doelgroep VEV beschikbaar zijn. De logische verklaring hiervoor is dat de maatregelen binnen de doelgroep VEV niet specifiek op VOS gericht zijn. Uitzonderingen zijn de (relatief kleine) maatregelen voor emissienormstellingen voor binnenschepen, mobiele werktuigen, locomotieven en bestelauto's op LPG (zie ook paragraaf 3.3.1 voor een beschrijving van deze maatregelen).



Vermeden emissies in kilotonnen; jaarlijkse kosten in miljoenen gulden.

*Figuur 5.1 Kosteneffectiviteitscurve VOS.*

De kosteneffectiviteit van de VEV maatregelen loopt uiteen van ruim 1 gulden per kilogram vermeden emissies voor de emissienormstelling voor binnenschepen tot 322 en 466 gulden per kilogram vermeden emissies voor maatregelen betreffende het gebruik van diesel in het wegverkeer. Deze twee laatste maatregelen (in de figuur helemaal aan het eind rechts) hebben vrijwel geen effect op de VOS-emmissies maar kosten wel vele miljoenen gulden (130 en 485 respectievelijk).

Tenslotte kan nog worden gewezen op twee maatregelen die een redelijk groot effect hebben, maar ook zeer kostbaar zijn (in de figuur is dit herkenbaar door de sprongen omhoog die de curve maakt rond de 175 kiloton vermeden emissies). Deze maatregelen betreffen emissienormstellingen voor personenauto's op benzine en diesel. Aangezien het om grote aantallen voertuigen gaat, zijn zowel de effecten als kosten van deze maatregelen relatief fors.

Al met al vertoont Figuur 5.1 een verloop waarbij tegen relatief geringe kosten de emissies van VOS gedeeltelijk teruggedrongen kunnen worden. Als na dit punt de VOS-emissies nog verder teruggedrongen moeten worden, dan lopen de bijbehorende kosten snel op. Met andere woorden, er is sprake van sterk toenemende marginale kosten als de

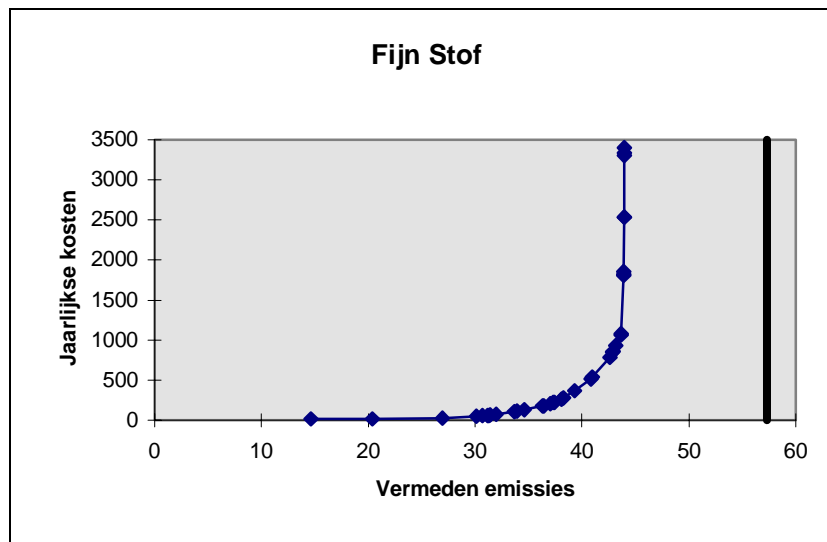


emissies met meer dan 150 kiloton teruggedrongen worden. De laatste 12 maatregelen nemen slechts 16% van de totale vermeden emissies voor hun rekening, maar wel 86% van de kosten.

Om tot een duurzaam niveau van emissies van VOS te komen moeten de emissies gereduceerd worden met 180 kiloton. De kosteneffectiviteitscurve snijdt door de lijn die het duurzaamheidsniveau aangeeft heen, hetgeen betekent dat de emissies voldoende gereduceerd kunnen worden met behulp van technische maatregelen (volume-maatregelen zijn dus niet noodzakelijk). De kosten om tot duurzaamheid te komen voor VOS bedragen 2900 miljoen gulden. Er blijken dus een aantal relatief dure maatregelen noodzakelijk te zijn. Wellicht kunnen de benodigde emissiereducties goedkoper bereikt worden indien afgezien wordt van de implementatie van de laatste, dure maatregelen op de curve en overgegaan wordt op volume-maatregelen. Binnen het huidige project is het echter niet mogelijk gebleken om een inschatting te maken van de kosten van volume-maatregelen.

## 5.2 Een kosteneffectiviteitscurve voor Fijn Stof

Er zijn in totaal 52 maatregelen ter reductie van de emissies van Fijn Stof geïnventariseerd. Van deze maatregelen zijn er 16 niet in de curve opgenomen omdat ze worden uitgesloten door andere maatregelen die een betere kosteneffectiviteit hebben. De overblijvende 36 maatregelen zijn in volgorde van kosteneffectiviteit in de onderstaande Figuur 5.2 weergegeven. Helaas konden in de curve geen maatregelen uit de doelgroep Industrie worden opgenomen (zie paragraaf 3.3.2). De industrie is verantwoordelijk voor 40% van de Fijn Stof emissies in Nederland (zie TAUW, 1996b).



Vermeden emissies in kilotonnen; jaarlijkse kosten in miljoenen gulden.

*Figuur 5.2 Kosteneffectiviteitscurve Fijn Stof.*

Het begin van de curve wordt gevormd door drie maatregelen die specifiek op Fijn Stof zijn gericht. Alle drie betreffen maatregelen in de Energiesector (emissiebeperking stof

bij KVSTEG, stoffilters nieuwe centrales en stoffilters bestaande centrales). Deze drie maatregelen kunnen gezamenlijk de emissies van Fijn Stof terugdringen met 27 kiloton (ruim 60% van de totaal vermijdbare emissies buiten de industrie). De kosten van deze maatregelen zijn beperkt: een emissiereductie van 1 kilogram kost ongeveer 1 gulden.

Alle overige maatregelen die opgenomen zijn in de curve zijn maatregelen in de doelgroep Verkeer en Vervoer. Net als bij de kosteneffectiviteitscurve voor VOS hebben de maatregelen in deze doelgroep naast het primaire effect op  $\text{NO}_x$  ook een effect op de emissies van Fijn Stof (zie ook paragraaf 5.1). Het is niet verbazend dat de kosteneffectiviteit van deze maatregelen minder is dan van de maatregelen die specifiek op emissiereductie van Fijn Stof zijn gericht. Voor Fijn Stof zijn de maatregelen voor het gebruik van bunkerolie in de zeescheepvaart en de emissienormstellingen voor mobiele werktuigen het meest kosteneffectief. Daarna komen normstellingen voor trekkers en dieselbussen.

Zoals uit de curve blijkt is het overgrote deel van deze maatregelen van de doelgroep VEV relatief klein in termen van effecten en (in beperktere mate) kosten. Er is een duidelijke kromming in de figuur te ontdekken, waar veel maatregelen een plaats hebben. De marginale kosten van emissiereductie lopen langzaam op: de curve loopt steeds steiler omhoog.

Het eind van deze 'bocht' in de curve wordt gemarkeerd door de emissienormstelling voor vrachtwagens van klasse EURO3 naar EURO4. De kosten van deze maatregel bedragen 723 miljoen gulden, terwijl het effect beperkt blijft tot 216 ton (geen kiloton!) vermeden emissies Fijn Stof. Na deze maatregel zijn nog een aantal maatregelen in de curve te vinden die betrekking hebben op voertuigen die op benzine rijden. Deze maatregelen hebben een zeer gering effect op de emissies van Fijn Stof, maar mede door het grote aantal voertuigen zijn de kosten hoog.

Het eind van de curve wordt gevormd door vier maatregelen waarvan het effect is ingeschat op nul. Dit zijn maatregelen die primair gericht zijn op het terugdringen van  $\text{NO}_x$ . De kosteneffectiviteit van deze maatregelen is feitelijk niet vast te stellen (maar wordt benaderd door oneindig). Ze zijn ter illustratie aan het eind van de curve opgenomen. De curve loopt hier dus exact verticaal. Indien deze maatregelen niet toegevoegd zouden zijn aan de curve, dan zouden de totale kosten van alle maatregelen samen niet 3.400 maar 2.500 miljoen gulden bedragen. De totaal te vermijden emissies bedragen, ongeacht deze vier maatregelen, 44 kiloton Fijn Stof.

De doelstelling voor de te vermijden emissies bedraagt 57,3 kiloton. Dit blijkt onhaalbaar, zelfs als alle technische maatregelen geïmplementeerd worden. De kosten om tot de duurzaamheidsnorm te komen zijn niet in te schatten; 77% van de te reduceren emissies zijn terug te dringen tegen 2.535 miljoen gulden aan kosten. Hierbij moet in het achterhoofd worden gehouden dat er geen maatregelen voor de doelgroep Industrie in de curve opgenomen konden worden.

Uit het verloop van de curve blijkt duidelijk dat het stijgen van de marginale kosten voor Fijn Stof veel gelijkmatiger gaat dan bij de kosteneffectiviteitscurve voor VOS het geval was. Dit is des te opmerkelijker als gerealiseerd wordt dat het grotendeels dezelfde maatregelen betreft. De effecten van deze maatregelen op VOS en Fijn Stof blijken fors

te verschillen per maatregel. Dit blijkt ook uit het feit dat de maatregelen in een andere volgorde in de curve terecht komen. Met andere woorden, het is niet zo dat bepaalde maatregelen op alle fronten superieur zijn aan andere maatregelen.

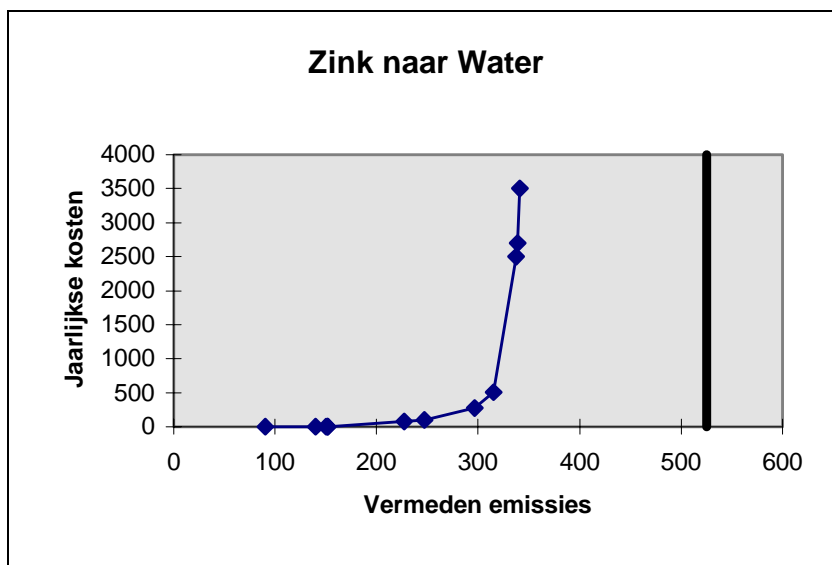
Uit vergelijking van beide curves blijkt verder dat de kosteneffectiviteit van de minst kosteneffectieve maatregelen bij Fijn Stof vele malen slechter is dan bij VOS. Deze constatering is vooral van belang als de doelstelling niet gehaald wordt: het is zeer de vraag of het reëel is om de uiterst kostbare maatregelen (in relatieve termen!) die aan het eind van de Fijn Stof curve zijn opgenomen mee te nemen in de analyse van de kosten om duurzaamheid te bereiken. Ruim 99% van de totaal te vermijden emissies is te bereiken bij 32% van de kosten (of 43% van de kosten als de laatste vier maatregelen niet worden meegeteld). Uit de huidige berekeningen blijkt echter dat de kostbare maatregelen voor Fijn Stof niet genomen hoeven te worden.

### 5.3 Een kosteneffectiviteitscurve voor Zink naar Water

Als gidsstof voor Verspreiding naar water is gekozen voor Zink, aangezien het merendeel van de verspreidende emissies naar water zware metalen betreft. Een andere, praktische reden om Zink te kiezen als gidsstof is de beschikbaarheid van maatregelen in de Bijlage E-H van het Milieurendement van het NMP-2. Helaas zijn geen maatregelen uit andere bronnen beschikbaar gekomen om deze set aan te vullen (zie paragraaf 3.3). Zoals bijvoorbeeld ook blijkt uit paragraaf 3.3.7 moeten de in het Milieurendement van het NMP-2 vermelde maatregelen niet allemaal even betrouwbaar worden geacht. Ondanks deze waarschuwing vooraf is gerekend met de gegevens zoals die in het Milieurendement van het NMP-2 staan vermeld.

Van de 13 maatregelen die beschikbaar waren is er 1 uit de curve gelaten vanwege de exclusiviteit van deze maatregel met een andere maatregel. Van de overige 12 maatregel zijn er 5 waarvan de kosten nul zijn of niet ingeschat konden worden (en vervolgens op nul gesteld). Deze 5 maatregelen vormen het begin van de curve zoals die is weergegeven in Figuur 5.3. Het betreft zeer uiteenlopende maatregelen, waaronder het aanpassen van dakgoten en vangrails bij nieuwbouw (kosten nihil) en een stop van de lozing van P-zuurgips (kosten onbekend).

De eerste maatregel waaraan zowel kosten als effecten zijn verbonden betreft het gebruik van coatings in de Bouwnijverheid. Het aanpassen van kassen in de Landbouw levert een forse emissiereductie op, maar de bijbehorende kosten zijn ook dusdanig dat deze maatregel halverwege de curve terecht komt. Aan de andere kant levert de zeer dure 4e zuiveringsstap van het riool zoveel vermeden emissies op dat deze maatregel ook halverwege de curve komt. De minst kosteneffectieve maatregelen zijn de wegdekbezinktanks binnen de doelgroep Verkeer en Vervoer. Hier geldt duidelijk niet de vuistregel dat maatregelen die primair op het betreffende milieutekort gericht zijn kosteneffectiever zijn dan maatregelen waarvoor het betreffende milieutekort slechts van secundair belang is.



Vermeden emissies in tonnen; jaarlijkse kosten in miljoenen gulden.

*Figuur 5.3 Kosteneffectiviteitscurve Zink naar Water.*

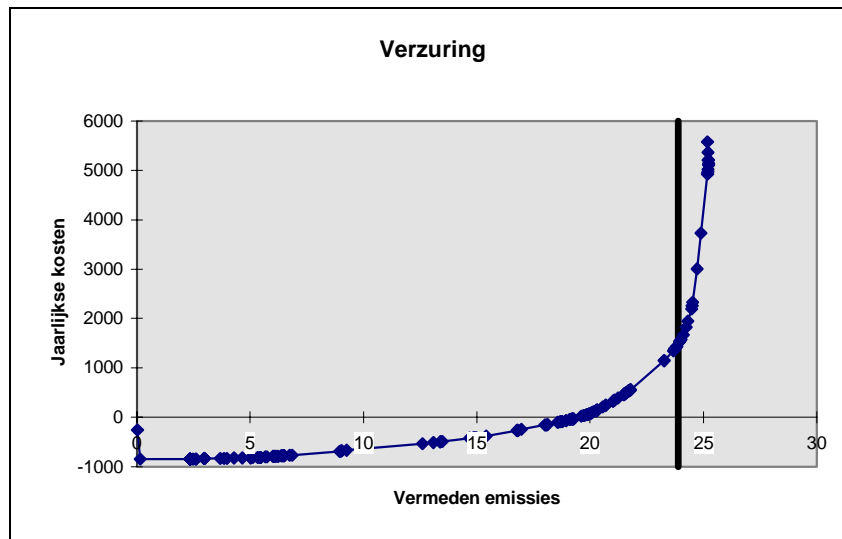
Alle maatregelen samen kunnen de emissies van Zink naar Water terugdringen met 341 ton, tegen totale kosten van 3.500 miljoen gulden. Ook voor dit milieutekort geldt dat een groot gedeelte van de emissies teruggedrongen kunnen worden tegen relatief lage kosten waarna nog een beperkt aantal zeer dure maatregelen resteert. In dit geval kan 92% van de vermijdbare emissies gerealiseerd worden met 14% van de kosten. Het verloop van de curve is goed te vergelijken met de kosteneffectiviteitscurve voor VOS: er zit een duidelijke 'knik' in de curve en de kosteneffectiviteit loopt uiteen van 0 (kosteloze maatregelen) tot pakweg 400 gulden per vermeden emissie.

Alle maatregelen samen blijken niet voldoende om de emissies van Zink naar Water te reduceren tot een duurzaam niveau. Slechts 65% van de te vermijden emissies kan gerealiseerd worden met de geïnventariseerde maatregelen. Naast technische maatregelen dienen derhalve ook volume-maatregelen genomen te worden.

## 6. Resultaten voor Verzuring

### 6.1 Een kosteneffectiviteitscurve voor Verzuring

Bij het berekenen van de kosteneffectiviteitscurve voor Verzuring is gebruik gemaakt van 171 maatregelen. Hiervan zijn er een aantal uiteindelijk niet in de curve terechtgekomen, met name vanwege exclusiviteit en volgtijdelijkheid van maatregelen. Uiteindelijk bevat de curve, zoals weergegeven in Figuur 6.1 148 punten. Dit grote aantal maatregelen (zeker in vergelijking met de andere curves in dit onderzoek) zorgt voor een vloeiend verloop van de curve. Met name het stuk van de curve waar de marginale kosten van emissiereductie toenemen bevat een groot aantal maatregelen. Dit heeft als voordeel dat de accuratesse van de curve relatief groot is, althans binnen (vrij ruime) grenzen.



Vermeden emissies in zuurequivalenten; jaarlijkse kosten in miljoenen gulden.

*Figuur 6.1 Kosteneffectiviteitscurve Verzuring.*

Aan het begin van de curve zijn twee maatregelen opgenomen die geld opbrengen in plaats van kosten. Daarom loopt de curve aan het begin beneden de nullijn. Deze twee maatregelen betreffen de beperking van de maximale snelheid voor het wegverkeer en leveren samen 840 miljoen gulden op. Het effect van deze maatregelen voor Verzuring is zeer klein (de maatregelen zijn in eerste instantie bedoeld om broeikasgasemissies terug te brengen).

Na deze twee maatregelen volgt een maatregel met kosten die nihil zijn. Het betreft het onderwerken van mest op bouwland in de doelgroep Landbouw. Het effect van deze maatregel is fors: een vermindering van de verzurende emissies met 2,2 zuurequivalenten.

In de curve zijn ook een aantal maatregelen opgenomen die (vrijwel) geen effecten en kosten hebben. Het gaat in alle (7) gevallen om maatregelen in de doelgroep Energie (inclusief Raffinaderijen), gericht op het terugdringen van emissies van  $\text{NO}_x$ . In een aantal gevallen is het effect van deze maatregelen in 2010 reeds uitgedoofd en in de andere gevallen penetreert de maatregel pas na 2010. Op het verloop van de curve hebben deze maatregelen uiteraard geen effect.

De eerste maatregelen in de curve waarvan zowel de kosten als de effecten positief zijn zijn energie-maatregelen. Met name Leanburn en rookgascirculatie van bestaande gasmotoren (binnen de doelgroepen Landbouw, HDO en Industrie) hebben een relatief hoge kosteneffectiviteit.

Zoals in paragraaf 3.3.5 vermeld, kon van een aantal maatregelen bij de raffinaderijen de operationele kosten niet bepaald worden. De kosten van deze maatregelen worden dus onderschat. Mede door deze onderschatting komen deze maatregelen vrij aan het begin van de curve terecht. Hoewel het geen kleine maatregelen betreft (het gezamenlijke effect op  $\text{SO}_2$  is 26 kiloton, omgerekend 0,8 zuurequivalenten; de kosten zijn 13 miljoen gulden), zal het effect van deze onderschatting op de totale curve niet groot zijn, aangezien ze slechts 3 procent van de totaal te vermijden emissies uitmaken en 0,2 procent van de totale jaarkosten.

Na het beperken van de maximumsnelheid is de eerste maatregel van de doelgroep Verkeer en Vervoer die in de curve komt de emissienormstelling voor binnenschepen (ter herinnering, deze maatregel was ook relatief kosteneffectief voor het terugdringen van VOS-emissies). Ook de SELA-normstelling van trekkers, dieselbussen en vrachtwagens zijn relatief kosteneffectief (hoewel er in totaal 29 maatregelen nog kosteneffectiever zijn).

Van veel maatregelen loopt de kosteneffectiviteit niet veel uiteen. Dit blijkt in de figuur uit de redelijk recht doorlopende lijn tussen de 5 en 15 zuurequivalenten vermeden emissies. In dit gedeelte van de curve komen allerlei verschillende soorten maatregelen voor, die betrekking hebben op verschillende doelgroepen. Twee maatregelen in dit stuk van de curve vallen op. Allereerst levert het onderwerken van mest op grasland een vermindering van verzurende emissies met ruim 2 zuurequivalenten op, tegen 80 miljoen gulden aan kosten. Daarnaast kunnen de emissies met 3,3 zuurequivalenten teruggedrongen worden door een emissiebeperking van  $\text{SO}_2$  bij KVSTEG energieproductie. Deze maatregel kost 143 miljoen gulden, en is daarmee iets minder kosteneffectief dan het onderwerken van mest op grasland. In het algemeen geldt dat maatregelen die primair gericht zijn op het terugdringen van  $\text{SO}_2$ -emissies een groot effect hebben op de totale zuuremissies (uitzonderingen daargelaten). Deze maatregelen, waaronder rookgasontzwaveling van energiecentrales en  $\text{SO}_2$  procesemissies in de industrie, kunnen echter alleen tegen forse kosten geïmplementeerd worden. Daarom is de kosteneffectiviteit van deze maatregelen niet beter dan van andere maatregelen.

Er kunnen in totaal 79 maatregelen genomen worden, met een gezamenlijk effect van 19,5 zuurequivalenten, voordat de totale kosten positief worden. Ruim driekwart van de totaal vermijdbare emissies kan in theorie dus kosteloos bereikt worden! Deze conclusie geldt uiteraard alleen voor Nederland als geheel. Voor individuele doelgroepen kunnen

er wel degelijk kosten zijn. Daarnaast zijn de marginale kosten van de meeste maatregelen wel degelijk positief.

Het doorsnijden van de nullijn door de curve vindt plaats op het punt dat de curve steeds steiler op begint te lopen. Deze 'bocht' in de curve bevat veel maatregelen die een vrij klein effect hebben, maar waarvan de kosten ook beperkt zijn. Een uitzondering is de maatregel "emissie-arme stallen", waarmee bijna 1,5 zuurequivalenten vermeden kunnen worden en waarvan de kosten 580 miljoen gulden bedragen.

Na het bereiken van de circa 25 zuurequivalenten vermeden emissies wordt de curve verder gevormd door een aantal maatregelen met forse kosten en beperkte effecten. Deze maatregelen hebben vooral betrekking op emissienormstellingen voor auto's die op benzine rijden. Daarnaast bevindt de beperking van de maximum snelheid voor bestelauto's zich in dit gedeelte van de curve. Dit is des te opmerkelijker, omdat de beperking van de maximum snelheid voor het overige wegverkeer zeer kosteneffectief is.

Tot slot zijn in de curve een aantal maatregelen opgenomen die in praktijk nooit ingevoerd zullen worden (althans als de kosteneffectiviteit van verzuring doorslaggevend is). Deze maatregelen hebben geen of zelfs een negatief effect op vermeden emissies, maar kosten wel geld. De maatregelen met een effect van nul betreffen LowNox-branders voor combi-centrales (doelgroep energie) en twee maatregelen voor personenauto's op benzine of LPG (introdactie koude start test en vermindering van verdampende emissies). De maatregelen met negatieve effecten betreffen de verplaatsing van boerderijen (geen kosten aan verbonden, wel overdrachten van 60 miljoen gulden) en de derde en vierde fase van de introductie van gereformeerde benzine voor het wegverkeer. Deze laatste maatregelen vermijden overigens wel de VOS-emissies door het gebruik van benzine.

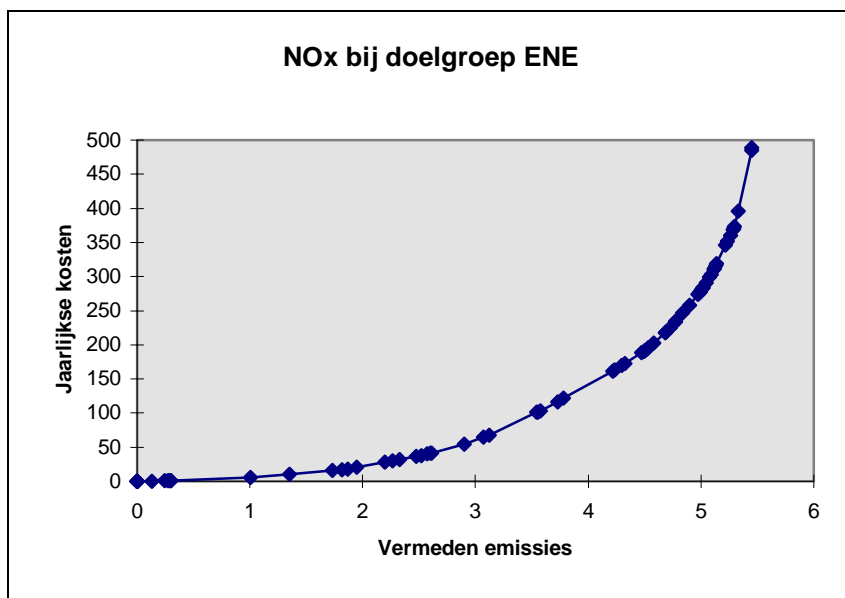
Zonder de laatstgenoemde maatregelen kunnen 25,5 zuurequivalenten verzurende emissies vermeden worden, tegen totale jaarlijkse kosten van 5.100 miljoen gulden. Uiteraard moeten deze cijfers met de nodige omzichtigheid bekeken worden. Zoals vermeld zijn de onzekerheden in de berekeningen groot en zijn de curves onvolledig.

De relatief strenge norm voor de verzurende emissies (en dus strenge norm voor te vermijden emissies) leidt ertoe dat 125 technische maatregelen daadwerkelijk geïmplementeerd moeten worden om tot een duurzaam emissieniveau te komen. De kosten van deze maatregelen zijn 1.500 miljoen gulden. Aangezien de norm door de curve snijdt op een punt dat de curve snel steiler begint te lopen, is de inschatting van de totale kosten om tot duurzaamheid te komen zeer gevoelig voor de precieze normstelling. Zo betekent een 1% ruimere norm 10% lagere kosten, terwijl een 1% stringenter norm 15% hogere kosten oplevert.

## 6.2 Een deelcurve voor de doelgroep Energie

Zoals gezegd bevat de kosteneffectiviteitscurve voor Verzuring veel maatregelen die uit de doelgroepen Energie en Verkeer en Vervoer komen. Voor deze twee doelgroepen zijn daarom aparte kosteneffectiviteitscurves gemaakt voor de maatregelen die een effect hebben op NO<sub>x</sub>. De deelcurve voor de doelgroep Verkeer en Vervoer komt in de volgende paragraaf aan de orde, eerst wordt de deelcurve voor de energiemaatregelen ge-

presenteerd (Figuur 6.2). In deze deelcurves is geen doelstelling voor de te vermijden emissies opgenomen, aangezien de totale emissienorm voor Verzuring niet objectief omgezet kan worden naar doelgroep-specifieke normen.



Vermeden emissies in zuurequivalenten; jaarlijkse kosten in miljoenen gulden.

*Figuur 6.2 Een deelcurve voor de doelgroep Energie.*

De bespreking van deze deelcurve van NO<sub>x</sub> emissies door de doelgroep Energie kan kort blijven. De volgorde van de maatregelen wijkt immers niet af van de kosteneffectiviteitscurve voor Verzuring. Op de horizontale as van de figuur staat de vermeden emissies in zuurequivalenten, om de curve vergelijkbaar te houden met Figuur 6.1.

In Figuur 6.2 zijn 75 punten opgenomen, ongeveer de helft van het totaal aantal maatregelen voor het thema Verzuring. De totaal te vermijden emissies van deze 75 maatregelen bedraagt ruim 250 kiloton NO<sub>x</sub>, oftewel 5,5 zuurequivalenten. Dit is minder dan een kwart van de totaal te vermijden zuuremissies. De totale kosten die jaarlijks gemaakt moeten worden om de NO<sub>x</sub> emissies van Energie maximaal terug te dringen zijn ook beperkt: iets minder dan 500 miljoen gulden (minder dan 10% van de totale kosten voor alle Verzuringmaatregelen). De energie-maatregelen zijn dus gemiddeld genomen kosteneffectiever dan de andere maatregelen om Verzuring tegen te gaan.

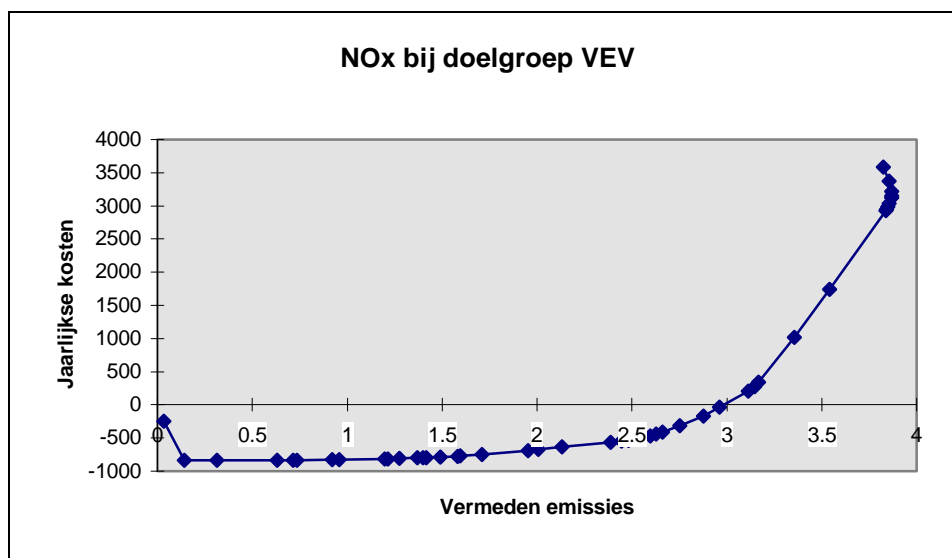
De curve voor Energie heeft min of meer dezelfde vorm als de kosteneffectiviteitscurve voor Verzuring, behalve de uiteinden van de curve: er zijn geen maatregelen met negatieve kosten (opbrengsten), en de minst kosteneffectieve maatregelen hebben nog steeds een positief effect op de emissies (en zijn vele malen kosteneffectiever dan de maatregelen aan het eind van de Verzuringcurve). Overigens bevat Figuur 6.2 aan het eind een maatregel waarvan het effect nihil is en de kosten positief (LowNox branders voor Combi-centrales). De kosten van deze maatregel zijn beperkt (3,5 miljoen gulden), zodat deze maatregel geen grote invloed heeft op de curve.



### 6.3 Een deelcurve voor de doelgroep Verkeer en Vervoer

De kosteneffectiviteitscurve voor Verzuring bevat ook veel maatregelen die genomen kunnen worden binnen de doelgroep Verkeer en Vervoer. In Figuur 6.3 is een deelcurve voor deze doelgroep. Wederom zijn de maatregelen beperkt tot de NO<sub>x</sub> emissies.

Opvallend in de deelcurve voor VEV is dat deze curve juist veel meer de extremen van de Verzuringcurve vertoont in plaats van het middenstuk, zoals bij de deelcurve voor Energie het geval was.



Vermeden emissies in zuurequivalenten; jaarlijkse kosten in miljoenen gulden.

Figuur 6.3 Een deelcurve voor de doelgroep VEV.

De opbrengst-genererende maatregelen aan het begin van de curve (ter herinnering, deze maatregelen betreffen het beperken van de maximumsnelheid voor het wegverkeer) hebben opvallend genoeg geen grotere invloed op het totale verloop van de curve dan in de curve voor Verzuring. Ook de curve voor Verkeer en Vervoer snijdt de horizontale as (totale kosten nul) op driekwart van de totaal te vermijden emissies.

In totaal kunnen door de 46 maatregelen in de doelgroep VEV 3,8 zuurequivalenten vermeden worden. Dit is minder dan met de energie-maatregelen bereikt kan worden (en 15% van de totaal te vermijden zuuremissies). De kosten zijn daarentegen vele malen hoger dan de kosten van de energiemaatregelen: als de maatregelen met nul of negatieve vermeden emissies niet worden meegeteld zijn de totale kosten binnen de doelgroep VEV ruim 3.100 miljoen gulden (tegen 5.100 miljoen gulden voor alle Verzuringmaatregelen). Enkele maatregelen binnen de doelgroep VEV zijn dus zeer kosteneffectief, maar gemiddeld genomen zijn de VEV-maatregelen minder kosteneffectief dan de andere Verzuringmaatregelen.

Al met al blijkt dat de karakteristieken van de maatregelen voor de doelgroepen Energie en Verkeer en Vervoer sterk verschillen. Samen bevatten de deelcurves voor deze doelgroepen 121 maatregelen, meer dan 80% van alle Verzuringmaatregelen. De totale kos-

ten bedragen 70% van de kosten van alle Verzuringmaatregelen, maar deze kosten vallen grotendeels in de doelgroep VEV. Hoewel de maatregelen van deze twee doelgroepen een groot deel van alle maatregelen beslaan en een groot deel van de kosten verklaren, zijn de totaal te vermijden emissies binnen deze twee doelgroepen slechts 9,3 zuur-equivalenten (oftewel 37% van het totaal). De maatregelen met de grootste effecten op Verzuring vallen niet binnen deze twee doelgroepen, maar vallen binnen de doelgroepen Landbouw en Industrie. Het betreffen met name maatregelen die de emissies van SO<sub>2</sub> en NH<sub>3</sub> terugdringen.

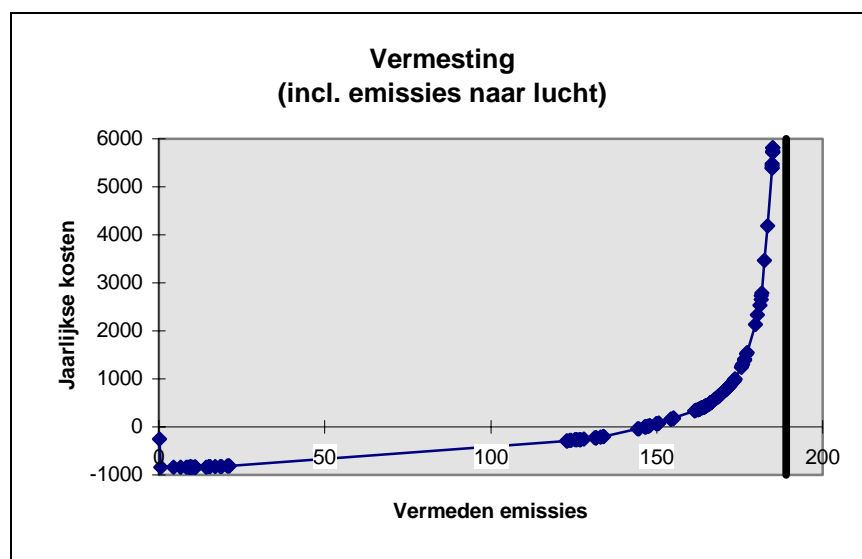
## 7. Resultaten voor Vermesting

Voor Vermesting zijn twee curves geconstrueerd. Allereerst is voor het gehele Vermestingsprobleem een curve opgesteld. Deze curve wordt echter voor een groot gedeelte bepaald door de maatregelen om de emissies van  $\text{NO}_x$  en  $\text{NH}_3$  naar lucht terug te dringen. Deze zelfde milieutekorten en de bijbehorende maatregelen zijn echter ook al opgenomen in de curve voor Verzuring. Daarom is een tweede curve geconstrueerd, voor Vermesting naar water en bodem. Vergelijking van beide curves geeft een eerste indruk van de omvang van de dubbel tellingen die kunnen optreden als men twee curves (bijvoorbeeld Verzuring en Vermesting) wil combineren.

### 7.1 Vermesting inclusief emissies naar lucht

De totaalcurve voor Vermesting, inclusief emissies naar lucht, bevat 145 punten (zie Figuur 7.1). Aangezien het merendeel van deze punten (125) ook in de Verzuringcurve voorkomen, kent de curve een vergelijkbaar verloop. Buiten deze maatregelen valt er één maatregel in de curve op: de pakketmaatregel "opheffen mestoverschot". Helaas was het niet mogelijk om deze pakketmaatregel op te splitsen. De maatregelen om de maximum snelheid van verschillende voertuigen te beperken zorgen overigens ook in deze curve voor een forse besparing.

In totaal kan de norm voor Vermesting (inclusief lucht) van 19 mestequivalenten net niet gehaald worden. Tegen 5.700 miljoen gulden aan kosten kan de norm tot 98% benaderd worden. De maximaal haalbare emissiereductie is op basis van de hier opgenomen technische maatregelen 184,9 mestequivalenten, terwijl de duurzaamheidsnorm 189 mestequivalenten aan te reduceren emissies voorschrijft.

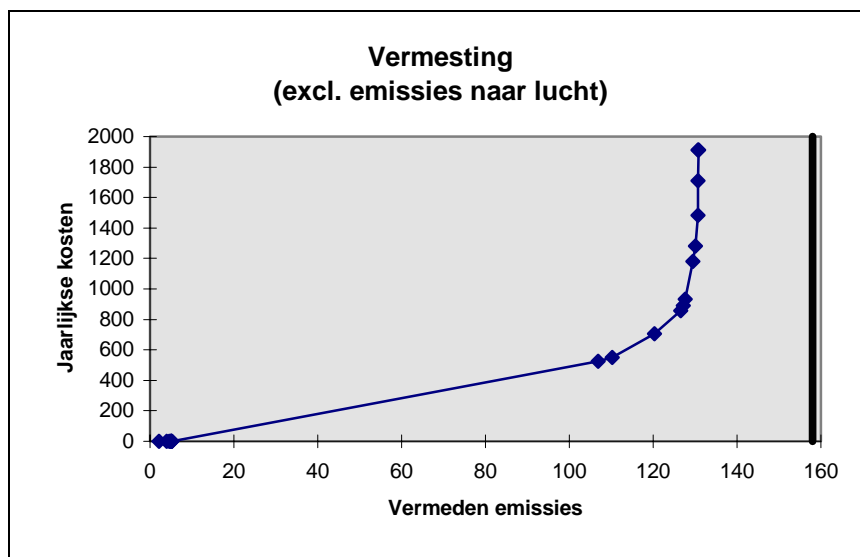


Vermeden emissies in mestequivalenten; jaarlijkse kosten in miljoenen gulden.

Figuur 7.1 Kosteneffectiviteitscurve Vermesting (inclusief lucht).

## 7.2 Vermesting exclusief emissies naar lucht

De curve voor het milieuthema Vermesting, exclusief emissies naar lucht, bevat slechts een beperkt aantal maatregelen. Vermesting naar water en bodem is een probleem dat zich specifiek binnen een paar doelgroepen voordoet (met name Landbouw, maar ook Industrie en Riolering). In totaal zijn 20 maatregelen geïnventariseerd; geen van deze maatregelen sluit een andere maatregel uit.



Vermeden emissies in mestequivalenten; jaarlijkse kosten in miljoenen gulden.

Figuur 7.2 Kosteneffectiviteitscurve Vermesting (exclusief lucht).

Het begin van de curve in Figuur 7.2 wordt gevormd door een aantal maatregelen uit het Milieurendement van het NMP-2, omdat de kosten met nul of “p.m.” staan aangegeven. Voor zover de kosten p.m. zijn (dit geldt met name voor de industrie-maatregelen) kan achter zo’n maatregel een financiële tijdbom schuilgaan, als bij implementatie blijkt dat de werkelijke kosten groot zijn. Dit probleem komt overigens ook bij de andere curves voor.

De kern van de curve is het pakket landbouwmaatregelen voor het opheffen van het mestoverschot en de defosfatering en denitrificatie van huishoudelijk en industrieel afvalwater tot 75%. De pakketmaatregel om het mestoverschot op te lossen heeft een overweldigende invloed op het verloop van de curve: deze maatregel bevat ruim driekwart van de totaal te vermijden emissies en ruim een kwart van de kosten. De kosteneffectiviteit van deze maatregel is ruim 5 gulden per mestequivalent.

Verdergaande stappen ter terugdringing van de Vermesting leiden tot exponentieel stijgende kosten bij een beperkte effectiviteit. Dit geldt zowel voor de landbouw als bij aanvullende maatregelen in de afvalwaterbehandeling (rioolstelsels, voortgaande collectieve zuivering, individuele zuivering).

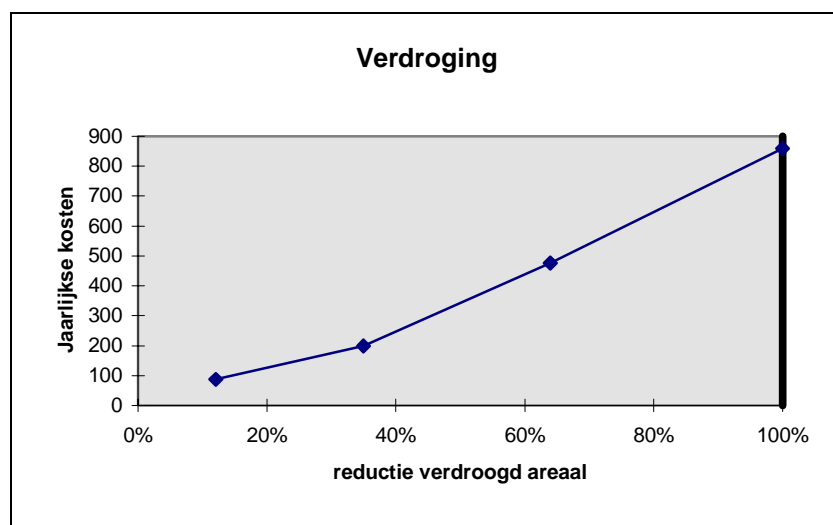
Helemaal aan het eind van de curve is nog de maatregel opgenomen voor verplaatsing van boerderijen. Deze maatregel is primair gericht op NH<sub>3</sub> en heeft een verhoging van

de mestemissies tot gevolg, zij het een zeer beperkt effect (0,02 mestequivalenten). De kosten zijn wel fors: 200 miljoen gulden. Zonder deze maatregel kan ruim 130 mestequivalenten mestemissies vermeden worden, tegen 1.700 miljoen gulden aan jaarlijkse kosten. Het overgrote deel van deze vermeden emissies (97%) kan echter tegen veel lagere kosten bereikt worden (ruim 850 miljoen gulden, de helft van de totale kosten).

Gezien de doelstelling voor de te vermijden emissies (158 mestequivalenten) zijn deze dure maatregelen wel nodig (en daarnaast ook volume-maatregelen). De totaal vermijdbare emissies zitten verder van de duurzaamheidsnorm af dan voor de Vermestingscurve inclusief emissies naar lucht (de norm kan voor 83% gehaald worden). De totale kosten om alle emissies te vermijden zijn uiteraard ook veel lager (1.900 miljoen gulden versus 5.700 miljoen gulden voor de eerdere curve).

## 8. Resultaten voor Verdroging

Bij het berekenen van de kosteneffectiviteitscurve voor Verdroging bleek het helaas niet mogelijk om specifieke maatregelen te identificeren. Voor een viertal *pakketten* zijn de effecten en kosten van reductie van het verdroogd areaal doorgerekend (zie paragraaf 3.4). Zoals vermeld dienen deze resultaten met de nodige voorzichtigheid geïnterpreteerd te worden, aangezien de context per pakket verschilt (andere economische achtergrond, andere tijdshorizon). Desondanks geeft onderstaande figuur een beeld van de kosteneffectiviteit om Verdroging tegen te gaan.



Reductie verdroogd areaal in procenten ten opzichte van 1985; kosten in miljoenen gulden.

*Figuur 8.1 Kosteneffectiviteitscurve Verdroging.*

Uit de curve blijkt duidelijk dat een bescheiden doelstelling tegen relatief lage kosten bereikbaar is, maar dat stringentere doelstellingen steeds meer kosten met zich mee brengen. De curve voor Verdroging is bijna lineair, hetgeen duidt op redelijk constante kosten per procent reductie verdroogd areaal. Met andere woorden, de marginale kosten om Verdroging tegen te gaan zijn redelijk constant. Zoals in paragrafen 3.4 en 0 vermeld, wordt de tijdshorizon van de scenario's bij stringentere doelstellingen steeds langer en verschilt de economische achtergrond per scenario. Er wordt dus meer tijd geboden om de Verdroging tegen te gaan. Indien bij alle scenario's van de zelfde tijdshorizon uitgegaan zou zijn, zouden de marginale kosten van reductie van verdroogd areaal sterker toenemen dan in bovenstaande figuur het geval is.

Ook blijkt uit de curve dat het tweede scenario (HB15) kosteneffectiever is dan van het eerste scenario (HB00). Hier blijkt duidelijk het effect van de verlengde tijdshorizon, aangezien de economische achtergrond op hetzelfde scenario is gebaseerd.

In vergelijking met de andere milieuthema's kan gezegd worden dat de totale kosten van alle maatregelen om de verdrogingsproblematiek tegen te gaan geringer zijn dan de tota-

le kosten van alle maatregelen voor een aantal andere milieuthema's. Dit wordt onder andere veroorzaakt doordat de marginale kosten van verdrogingsmaatregelen niet sterk stijgen. Bij de voorgaande curves liep het eind van de curve steil omhoog; dat is in het geval van Verdroging veel minder het geval. Zoals gezegd kan dit gedeeltelijk verklaard worden door de lange tijdshorizon die bij het berekenen van de kosten in het meest stringente scenario is gekozen.

## 9. Resultaten voor Bodemverontreiniging

In tegenstelling tot thema's als Verzuring en Vermesting is het niet mogelijk om een goede totale kosteneffectiviteitscurve te maken voor Bodemverontreiniging. Op een aantal punten doen zich complicaties voor. Enkele complicaties zijn in paragraaf 3.5 aange-stipt. Hieronder wordt een noodzakelijkerwijs grove poging gedaan om de kosteneffecti-viteit te bepalen van de totale Bodemverontreinigingsproblematiek. Gegeven alle beper-kingen en foutenmarges die de gebruikte gegevens en methodiek met zich mee brengen moeten deze resultaten zeer voorzichtig geïnterpreteerd worden. De uitkomsten kunnen alleen gebruikt worden voor een eerste indruk in de verhouding van de kosten voor het thema Bodemverontreiniging met de andere onderzochte thema's. Opgemerkt moet worden dat het RIVM het maken van een kosteneffectiviteitscurve voor Bodemveront-reiniging op korte termijn praktisch onhaalbaar acht. Wel kunnen de opgenomen in-schattingen verbeterd worden door nadere studie.

### 9.1 Een kosteneffectiviteitscurve voor Bodemverontreiniging

In eerste instantie worden de kosten voor Bodemverontreiniging berekend als eenmalige kosten. Daarmee zijn deze cijfers slecht te vergelijken met de kosteneffectiviteitscurve voor de andere milieuthema's. Omwille van de vergelijkbaarheid zijn de eenmalige kos-ten voor Bodemverontreiniging omgerekend naar jaarlijkse kosten (zie paragraaf 3.5.3). In onderstaande tekst zijn de eenmalige kosten vermeld; in Figuur 9.1 zijn de jaarkosten opgenomen.

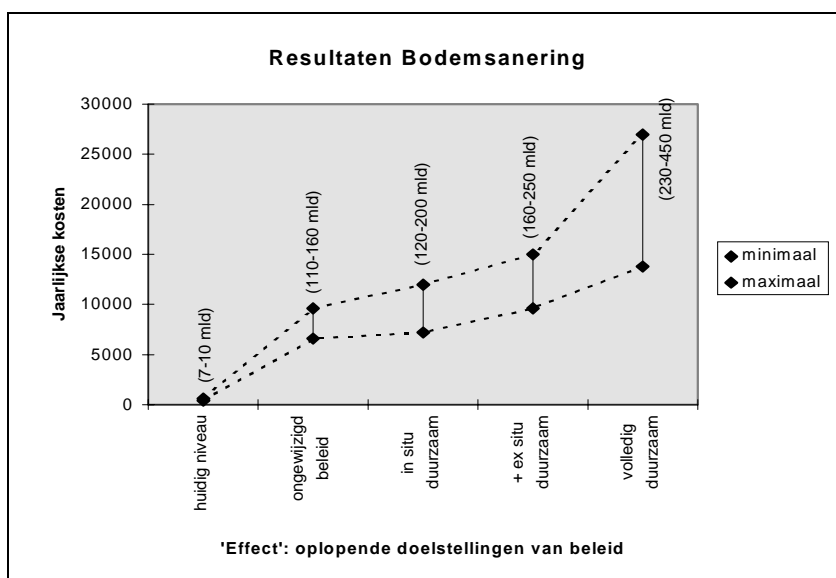
In de Nationale Milieuverkenning 2 (RIVM, 1991) is een inschatting gemaakt van de kosten van bodemsanering. Hieruit volgt dat de totale kosten voor bodemsanering tussen de 50 en 100 miljard gulden liggen (merk op dat voor Bodemverontreiniging gesproken wordt in miljarden guldens, terwijl voor de andere thema's in miljoenen guldens gere-kend wordt); de kosten voor urgente locaties bedraagt ongeveer 5 miljard gulden (een-malige kosten, geen jaarkosten). Deze inschatting van de kosten is inmiddels verouderd en heeft waarschijnlijk alleen betrekking op de ingeschatte 110 duizend te saneren loca-ties.

Uit de gegevens die gebruikt zijn voor de Milieubalans 96 kan berekend worden wat de gemiddelde kosten zijn voor sanering van een locatie (althans, voor de drie Randstad-provincies die onderzocht zijn). Deze kosten zijn dus gebaseerd op historische uitgaven. De gemiddelde kosten voor uitvoering van een volledige sanering van een locatie (inclu-sief onderzoekskosten) bedragen tussen de 1,4 en 1,6 miljoen gulden. Vermenigvuldigd met 600.000 verdachte locaties levert dit een inschatting van de totale kosten voor Bo-demverontreiniging op van tussen 335 en 406 miljard gulden, onder de aanname dat de verhouding tussen ernstig en niet ernstig vervuilde locaties constant blijft (zie paragraaf 3.5.2).

Indien rekening wordt gehouden met dalende kosten in de toekomst (onder andere door toegenomen ervaring en een relatieve daling van het aantal ernstig vervuilde locaties) en met de inschatting dat de provincies relatief moeilijke (en dus dure) locaties te saneren



heeft, dan komen de totale kosten voor Bodemverontreiniging lager uit. De totale kosten voor de provincies en grote steden van reeds uitgevoerde saneringen zijn ongeveer 6-8 miljard gulden; voor de toekomst wordt nog verwacht 2-5 miljard gulden. Voor saneringen in eigen beheer zijn de totale kosten voor het verleden 1-1,5 miljard gulden, terwijl voor de toekomst nog 100-150 miljard gulden te verwachten is. De totale kosten van Bodemverontreiniging (inclusief onderzoekskosten), komen daarmee op 110-160 miljard gulden (bij ongewijzigde doelstelling van beleid), waarvan 100-150 miljard nog voor de toekomst te verwachten is (categorie 'ongewijzigd beleid' in Figuur 9.1; de jaarlijkse kosten bedragen 6,6 tot 9,6 miljard gulden). Deze berekeningen houden er rekening mee dat een aantal locaties niet wordt gesaneerd tot multifunctioneel gebruik.



Het 'effect' bevat sanering van alle locaties tot doelstelling; kosten zijn in miljoenen gulden per jaar; kosten tussen haakjes zijn de corresponderende eenmalige kosten.

Figuur 9.1 Resultaten Bodemverontreiniging.

Indien bovenop bovenstaande aannamen wordt uitgegaan van het volledig duurzaam reinigen van alle *in situ* saneringen, dan worden de totale kosten voor Bodemverontreiniging tussen de 10% en 40% hoger (het laatste stukje reiniging levert in termen van risico's erg weinig op en is in verhouding erg duur; het betreft een 'standaard' verloop van de kostencurve met sterk toenemende marginale kosten). De totale kosten voor Bodemverontreiniging met volledig duurzaam *in situ* reinigen komen daarmee op 120-200 miljard gulden (categorie 'in situ duurzaam' in de figuur).

Om de *ex situ* gereinigde locaties ook volledig duurzaam te reinigen zijn de kosten nog hoger: duurzaam reinigen van afgegraven grond van *ex situ* gereinigde locaties kost 1,5-2 maal zoveel (maar de gereinigde grond heeft een hogere opbrengst); reinigen van anders gestorte grond is 3-4 maal zo duur (dit is echter met de huidige stand der techniek niet altijd mogelijk). De totale kosten voor Bodemverontreiniging bij volledig duurzaam reinigen van zowel *in situ* als *ex situ* saneringen komen op 160-250 miljard gulden (categorie '+ ex situ duurzaam' in de figuur).

Het percentage geïsoleerde gevallen ligt naar verwachting tussen de 5-15 procent. Dit zijn echter wel uitzonderlijk dure en grote locaties, met een geschatte bijdrage aan de kosten van 40-70 procent. Beheerskosten (monitoring, onderhoud, vervanging) zijn in de berekeningen niet meegenomen. Om de doelstelling van duurzaamheid in echt alle gevallen te bereiken zijn grotere kosten noodzakelijk. Voor geïsoleerde locaties zijn de verwachte saneringskosten een 3- tot 5-voud hoger (het is echter de vaak om financiële of technische redenen niet mogelijk deze locaties te reinigen). Al met al zullen de totale bodemsaneringskosten om tot volledige duurzaamheid te komen 1,8-3,2 maal zo duur zijn als de kosten zijn bij ongewijzigd beleid, zodat de totale kosten liggen tussen 230 en 450 miljard gulden (categorie 'volledig duurzaam' in Figuur 9.1). Hierbij dient nogmaals opgemerkt te worden dat dit een zeer grove inschatting betreft waarvan niet zeker is dat duurzaamheid bij de huidige techniek mogelijk is. Aan deze getallen moet dus niet te veel waarde worden gehecht.

Hoewel de afstand tussen de verschillende pakketten in de figuur telkens gelijk is, betekent dit geenszins dat het 'effect' van de pakketten evenredig toeneemt. Het is dus onjuist om een curve door de verschillende punten in de figuur te trekken.

Indien de bovenstaande jaarlijkse kosten voor Bodemverontreiniging worden vergeleken met de kosten voor de andere milieuthema's, dan valt direct op dat de kosten voor Bodemverontreiniging vele malen groter zijn. In dit licht gezien is het niet verwonderlijk dat het toekomstig beleid steeds verder van volledig duurzame reiniging van alle verdachte locaties afwijkt.

## 9.2 Een specifieke locatie als voorbeeld

Zoals hierboven beschreven was het slechts mogelijk om een zeer grof globaal beeld te schetsen van de kosten voor Bodemverontreiniging. In deze paragraaf wordt ter illustratie kort ingegaan op de kosten en effecten van maatregelen zoals die beschikbaar waren voor een specifieke locatie. Gekozen is voor een locatie in Nieuwekerk aan de IJssel, waarvoor de gegevens zijn aangeleverd door het IVM (zie Janssen, 1996).

Vaak zijn een groot aantal technieken mogelijk bij een bodemsanering. Meestal worden bij verschillende deelsaneringen op dezelfde locatie verschillende technieken gebruikt. Uiteraard is de aard van de vervuiling (welke vervuilende stoffen zijn in de bodem aanwezig) van groot belang bij de keuze van de techniek. Elke techniek heeft verschillende effecten op de verschillende stoffen.

Aangezien elke (deel-)sanering andere karakteristieken heeft, kan geen algemeen beeld geschetst worden van de keuzemogelijkheden voor bodemsanering. Ook is het in principe onmogelijk om de verschillende maatregelen met elkaar te vergelijken.

Voor de locatie die hier ter illustratie is gekozen zijn de volgende maatregelen geïnventariseerd. Voor *in situ* reiniging zijn beschikbaar "biorestauratie", "luchtventilatie" en "stoomstrippen". Voor *ex situ* reiniging zijn beschikbaar "thermisch reinigen < 400 °C", "thermisch reinigen > 400 °C", "extractie", "extractie plus biologische slibreiniging", "flotatie", "landfarming", "landfarming geconditioneerd" en "bioreaktoren". De kosten van deze maatregelen lopen uiteen van 830 duizend gulden voor "luchtventilatie" tot bijna 3 miljoen gulden voor "extractie plus biologische slibreiniging".

Zoals gezegd is het in principe onmogelijk om het 'effect' van de maatregelen te bepalen. Hiertoe moet eerst bepaald worden wat de doelstelling is voor de betreffende locatie en grond, zodat hieruit maximale restconcentraties van de verschillende stoffen bepaald kunnen worden. Vervolgens moeten alle verschillende stoffen op een of andere manier gecombineerd worden tot één maatstaf voor het 'effect' van een maatregel.

Merk op dat de kosteneffectiviteit van een maatregel dus alleen gelijk zal zijn voor twee locaties indien de doelstelling van de locaties overeenkomt, de aard van de vervuiling identiek is, etcetera. In de praktijk zal dit vrijwel nooit het geval zijn.

Het lijkt dus niet zinvol om veel aandacht te besteden aan een kosteneffectiviteitscurve voor een specifieke locatie. Om voor de voorbeeldlocatie in Nieuwekerk aan de IJssel een curve te berekenen zou naast de ons bekende gegevens ook gegevens gezocht moeten worden over de concentraties van de vervuiling voor reiniging en van de doelstelling van de sanering. Hieraan is geen aandacht besteed, zodat geen curve gepresenteerd kan worden voor deze voorbeeldlocatie.

## 10. Gevoeligheidsanalyses

Gezien de grote onzekerheden die zowel de curves als de duurzaamheidsnormen omgeven is het van groot belang om uitgebreide gevoeligheidsanalyses uit te voeren op de belangrijkste aannames en gegevens. Binnen het huidige project was er helaas niet voldoende tijd om een echte gevoeligheidsanalyse uit te voeren.

Onderstaande tabel geeft per thema de kosten weer om tot duurzaamheid te komen. Hierbij worden de beste schattingen herhaald (zie hoofdstukken 5 - 9) en wordt een interval gegeven, dat is gebaseerd op de onder- en bovengrenzen voor de duurzaamheidsnormen.

*Tabel 10.1 Kosten voor verschillende duurzaamheidsnormen.*

Thema	Ondergrens	Beste schatting	Bovengrens
VOS	335	2.900	80% tegen 3.700
Fijn Stof	84% tegen 2.535	77%	71%
Zink naar Water	90% tegen 3.500	65%	60%
Verzuring	-70	1.500	90% tegen 5.100
Vermesting - incl. lucht	2210	98% tegen 5.700	95%
- excl. lucht	86% tegen 1.900	83%	81%
Verdroging	n.v.t.	860	n.v.t.
Bodemverontreiniging	13.800	n.v.t.	27.000

Alle kosten in miljoenen gulden; percentages geven aan voor hoeveel procent de doelstelling gehaald kan worden.

Zoals uit de tabel blijkt zijn de curves met name gevoelig voor de gekozen duurzaamheidsnorm als de norm in de buurt ligt van het sterk stijgend gedeelte van de curve. Het verschil in kosten om tot duurzaamheid te komen tussen de beste schatting en de ondergrens bedraagt voor VOS een factor 8,5. De beste schatting is voor VOS moeilijk te vergelijken met de bovengrens voor de norm, omdat in dat geval de benodigde emissiereductie niet gehaald kan worden.

Voor Fijn Stof en Zink naar Water kunnen ook de onder- en bovengrens voor de duurzaamheidsnorm niet gehaald worden met de technische maatregelen. Zelfs bij de minst stringente norm wordt de norm nog steeds fors overschreden (de norm wordt tot 84%, respectievelijk 90% benaderd). Hierbij moet ook opgemerkt worden dat maatregelen voor de doelgroep Industrie (een belangrijke bron van emissies van Fijn Stof) niet meegenomen konden worden in de curve voor Fijn Stof. De in werkelijkheid vermijdbare emissies zijn hierdoor naar alle waarschijnlijkheid groter.

Naast de beste schatting kan ook de ondergrens van de duurzaamheidsnorm voor Verzuring gehaald worden met de technische maatregelen; de totale kosten zijn dan zelfs negatief. De bovengrens kan met technische maatregelen niet gehaald worden.

Voor Vermesting inclusief emissies naar lucht blijkt de minst stringente norm wel haalbaar met de technische maatregelen. De bijbehorende kosten bedragen 2.210 miljoen gulden, minder dan de helft van de kosten van alle maatregelen in de curve. Hieruit

blijkt de gevoeligheid van de curve(s) voor de keuze van de duurzaamheidsnorm goed. De ondergrens voor de norm voor Vermesting exclusief emissies naar lucht kan niet gehaald worden met technische maatregelen.

Voor Verdroging is geen interval opgesteld. Daarom zijn ook geen kosten voor de onder- en bovengrens gespecificeerd.

Voor Bodemverontreiniging is geen beste schatting gepresenteerd. Het interval, zoals dat is vermeld in hoofdstuk 9, vormt hier de onder- en bovengrens.

Voor een goede analyse van de kosten om tot duurzaamheid te komen voor de verschillende milieuthema's dient zoals gezegd een uitgebreide gevoeligheidsanalyse gedaan te worden. Hiervoor was binnen het huidige project geen tijd meer. Daarnaast is ons inziens een gevoeligheidsanalyse op de gebruikte gegevens betreffende de kosteneffectiviteit van maatregelen niet zinvol, aangezien een herziening van deze gegevens een van de belangrijkste aanbevelingen van deze studie is.

Tenslotte kan nog opgemerkt worden dat in alle hierboven gepresenteerde schattingen van de kosten geen rekening is gehouden met allerlei verborgen, indirecte effecten en kosten, zoals tijd, geld en risico. Daarnaast is geabstraheerd van dynamische ontwikkelingen.

## 11. Conclusies

Dit rapport geeft een overzicht van de kosten en effecten van maatregelen om de milieudruk te verminderen voor verschillende milieuthema's. Hiertoe zijn gegevens verzameld over technische maatregelen voor de milieuthema's Verspreiding, Verzuring, Vermesting, Verdroging en Bodemverontreiniging. Hoewel de verzamelde gegevens zowel onvolledig zijn als onzeker (zie onder andere hoofdstukken 1 en 3), is het mogelijk gebleken om kosteneffectiviteitscurves voor alle thema's op te stellen. Hiertoe is vooral gesteund op de gegevens die aangeleverd zijn door de doelgroepexperts van het RIVM, aangevuld met de gegevens uit de Nationale Milieuverkenning 3 (RIVM, 1993) en het Milieurendement van het NMP-2 (RIVM, 1994). Het databestand RIM+ bleek een minder bruikbare bron van gegevens, maar zal volgens planning in de toekomst alle benodigde gegevens (kosten en effecten per maatregel) bevatten. Deze curves zijn zoals gezegd gebaseerd op voorlopige cijfers, en zullen in de (nabije) toekomst verbeterd kunnen worden. Daarom lijkt het zinvol om na de inventarisatie voor de Nationale Milieuverkenning 4 (RIVM, 1997) de gegevens die gebruikt zijn in dit onderzoek te actualiseren. Uit deze eerste poging om kosteneffectiviteitscurves voor verschillende milieuthema's op te stellen kunnen desondanks een aantal conclusies getrokken worden.

Ten eerste valt op dat voor vrijwel alle milieuthema's (en de individuele stoffen die onderdeel van de thema's uitmaken) grofweg de "80-20-regel" geldt. Dit houdt in dat 80 procent van de totaal te vermijden emissies te realiseren is tegen 20 procent van de totale kosten, terwijl de laatste 20 procent te vermijden emissies 80 procent van de kosten met zich meebrengt. Met andere woorden: de marginale kosten van emissiereductie lopen na een bepaald punt sterk op.

Een tweede conclusie is dat de kosten voor volledig duurzame Bodemverontreiniging vele malen hoger zijn dan de kosten voor de andere milieuthema's. Overigens zijn ook de kosten voor Bodemverontreiniging bij ongewijzigd beleid al fors in vergelijking tot de andere milieuthema's. Voor Verspreiding zijn alleen de kosten voor drie gidsstoffen bepaald, en is geen inschatting gemaakt van de kosten voor duurzaamheid voor het gehele thema Verspreiding. Het blijkt dat de kosten van de technische maatregelen niet veel verschillen per gidsstof indien alle technische maatregelen geïmplementeerd worden bedragen de kosten per gidsstof ongeveer 3.500 miljoen gulden. Voor VOS zijn de kosten om de duurzaamheidsnorm te halen ongeveer 2.900 miljoen gulden, terwijl voor Fijn Stof en Zink naar Water geen inschatting valt te maken van de totale kosten om tot duurzaamheid te komen, aangezien de technische maatregelen daar ontoereikend zijn om het duurzaamheidsniveau te halen. Met de technische maatregelen kan 84%, respectievelijk 90% van de te vermijden emissies gerealiseerd worden. Het is echter de vraag of de minst kosteneffectieve maatregelen ooit genomen zullen worden, aangezien het waarschijnlijk lijkt dat volume-maatregelen dan goedkoper zijn. Hierover kunnen binnen het huidige project echter geen precieze uitspraken gedaan worden. Voor Verzuring valt wel een inschatting te maken van de kosten om tot duurzaamheid te komen. De duurzaamheidsnorm kan gerealiseerd worden tegen jaarlijkse kosten van 1.500 miljoen gulden. Het duurzaamheidsniveau voor Vermesting (inclusief emissies naar lucht) kan voor 98% gehaald worden; de kosten van alle technische maatregelen 5.700 miljoen gulden.

Een iets minder stringente norm (de ondergrens van het betrouwbaarheidsinterval voor de duurzaamheidsnorm) kan wel gehaald worden. De kosten om tot deze norm te komen bedragen 2.200 miljoen gulden. De norm voor Vermesting exclusief emissies naar lucht kan evenmin gehaald worden (de norm kan tot 83% benaderd worden, met 1.900 miljoen gulden aan bijbehorende kosten). De duurzaamheidsnorm voor Verdroging kan tegen ruim 850 miljoen gulden gehaald worden.

Ten derde blijkt de gevoeligheid van de kosten voor de duurzaamheidsnorm per thema sterk te verschillen. Voor VOS en Verzuring is deze gevoeligheid zeer groot (bij Verzuring leidt een 1% stringenter norm tot 15% hogere kosten), voor Verdroging relatief klein, terwijl voor een aantal andere thema's deze gevoeligheid niet in te schatten is, aangezien daar de norm niet gehaald wordt.

Ten vierde kan opgemerkt worden dat het onmogelijk is gebleken om voor Verspreiding van koper naar Bodem een kosteneffectiviteitscurve op te stellen, aangezien hiervoor geen enkele maatregel beschikbaar is. Voor de overige thema's is wel een kosteneffectiviteitscurve opgesteld. Voor Verdroging is het niet mogelijk gebleken om afzonderlijke maatregelen in de curve op te nemen, maar moest gewerkt worden met pakketten van maatregelen. In de toekomst lijkt het wel mogelijk om individuele maatregelen in de curve op te nemen, hoewel het berekenen van de effecten van een individuele maatregel voor Verdroging volgens de experts altijd voor problemen zal zorgen. Voor Bodemverontreiniging is het moeilijker om een kosteneffectiviteitscurve te construeren met individuele maatregelen, mede gezien de grote onzekerheid. Voor Verdroging en Bodemverontreiniging is de invulling van het begrip duurzaamheid ook anders dan voor de andere thema's: eerst wordt een effectgerichte doelstelling bepaald, waarna vervolgens wordt bekeken hoe die doelstelling duurzaam gerealiseerd kan worden. Voor de andere milieuthema's wordt eerst brongericht bepaald welk niveau van emissies duurzaam is.

De vijfde conclusie die getrokken kan worden is dat er voor Verspreiding niet veel maatregelen beschikbaar zijn die primair op de onderzochte gidsstoffen gericht zijn. Dit kan onder andere komen door het feit dat het een zeer heterogeen milieuthema betreft, waarbinnen voor de individuele prioritaire stoffen niet veel maatregelen zijn, maar voor het gehele thema wel. De meeste maatregelen die nu opgenomen zijn in de curves voor Verspreiding zijn primair gericht op andere milieuthema's (met name Verzuring), en hebben een secundair effect op Verspreiding.

Als zesde conclusie kan hieraan gekoppeld worden dat in het algemeen (uitzonderingen daargelaten) maatregelen die primair op het betreffende milieutekort gericht zijn kosteneffectiever zijn dan maatregelen waarvoor het milieutekort van secundair belang is. Deze conclusie geldt binnen de in deze studie gebruikte methode, waarbij per thema aparte kosteneffectiviteitscurves zijn gemaakt.

Ten zevende valt op dat de maatregelen die beschikbaar zijn binnen de doelgroep Verkeer en Vervoer vaak bij de minder kosteneffectieve maatregelen horen. Deze doelgroep bevat dus vooral relatief dure maatregelen indien naar individuele thema's wordt gekeken. Aangezien deze maatregelen vaak betrekking hebben op meerdere thema's (Verzuring en Verspreiding) zullen deze maatregelen beter scoren als naar het gehele milieubeleid wordt gekeken.

Tenslotte kan geconcludeerd worden dat de kosteneffectiviteitscurves zoals die opgenomen zijn in dit rapport een bruikbare indruk geven van de technische mogelijkheden om de milieudruk te verminderen voor verschillende milieuthema's. Daarnaast geven de curves een indruk tegen welke kosten deze maatregelen geïmplementeerd kunnen worden. Nadrukkelijk wordt gesteld dat het niet juist is om de kosten van deze curves bij elkaar op te tellen en zo de kosten voor een "duurzaam Nederland" te berekenen.



## Referenties

- Adriaanse, A., 1993, *Environmental policy indicators*, Sdu Uitgeverij, 's-Gravenhage.
- Bakema, A.H., 1995, *Definitiestudie: optimalisatie milieurendement*, Expect Research rapport 13.
- Beek, M., *De risico's van normen. Een overzicht van de methodiek en afgeleide (eco)toxicologische risicogrenzen ter onderbouwing van Streef-, Grens- en Interventiewaarden*, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, Lelystad, Werkdocument 95.097X.
- Berdowski, J.J.M., R.J.K. van der Auweraert, P.F.J. van der Most, R. Thomas en E.A. Zonneveld, 1993, *Emissies in Nederland - 1992, Trends, thema's en doelgroepen, Ramingen 1993*, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Centraal Bureau voor de Statistiek, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, 's-Gravenhage, Publicatierreeks Emissieregistratie, nr. 20.
- Berdowski, J.J.M., R.J.K. van der Auweraert, P.F.J. van der Most, C.H.A. Quarles van Ufford, O. van de Velde en E.A. Zonneveld, 1993, *Emissies in Nederland, Trends, thema's en doelgroepen, 1992 en ramingen 1993*, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Centraal Bureau voor de Statistiek, 's-Gravenhage, Publicatierreeks Emissieregistratie, nr. 26.
- Beugelink, G.P., en F.A.M. Claessen, 1995, *Operationalisatie van de 25%-doelstelling Verdrijving: maatregelen, kosten en effecten*, RIVM-rapport 715001001, RIZA nota 95.029.
- Boer, B. de, en A.M. van der Meijden, 1990, *Prognose van de waterbodempkwaliteit*, DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV in opdracht van Rijkswaterstaat, Dienst Binnenwateren/RIZA, Amersfoort.
- Bosch, P.R., 1995, *Energiedragers, bijdrage aan de rapportage van het Onderzoek Berekening Duurzaam Nationaal Inkomen*, Centraal Bureau voor de Statistiek, Voorburg.
- Brink, R. van der, 1996, RIVM/LAE, mondelinge mededeling / eigen archief.
- CBS, 1989, 1992, *Algemene milieustatistiek*, Centraal Bureau voor de Statistiek, Sdu-uitgeverij, Den Haag.
- CBS, 1994, *Milieustatistieken voor Nederland*, Sdu-uitgeverij, Den Haag.
- CBS, 1994, *The construction of cost curves in the calculation of avoidance costs - a short preliminary manual*.
- CBS, 1995, *Conceptrapport Klimaatverandering*.
- CIW-CUWVO, 1996, *Voortgangsrapportage integraal waterbeheer en Noordzee-aangelegenheden 1996*, Commissie Integraal Waterbeheer.
- Eerens, H.C., 1991, "Luchtverontreiniging in steden". In: RIVM, *Nationale Milieuverkenning 2*
- Egmond, P.M. van et al., 1995, *Achtergronddocument landbouw bij de Nationale Milieuverkenning 3; uitgangspunten en berekeningen*, RIVM-rapport 251701016.
- Egmond, P.M. van, 1996, RIVM/LAE, mondelinge mededeling.
- Elzenga, J.G., 1996, RIVM/LAE, mondelinge mededeling.
- Erismans, J.W., A. Bleeker, P.S.C. Heuberger, A.H. Bakema, G.B. Makaske en A.F. Bouwman, *Ermisplafonds voor ammoniak en maximale stikstofgiften per gemeente in Nederland, Een*

- eerste orde benadering, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Bilthoven, rapport nr. 722108019.
- Honig, E., 1996, RIVM/LAE, mondelinge mededeling.
- Janssen, R., 1996, IVM/VU, mondelinge mededeling / eigen archief.
- Leeuw, F.A.A.M. de, 1991, "Ozon op leefniveau". In: RIVM, *Nationale Milieuverkenning 2*.
- Leeuw, F.A.A.M. de, and H.J. van Rheineck Leyssius, 1991, "Calculation of long-term averaged and episodic oxidant concentrations for the Netherlands", *Atmospheric Environment* **25A**:1809-1818.
- Peek, C.J., 1995, RIVM/LAE, *Historisch overzicht emissiebeperking industrie naar lucht*.
- RIVM, 1991, *Nationale Milieuverkenning 2*.
- RIVM, 1993, *Nationale Milieuverkenning 3*.
- RIVM, 1994, *Milieurendement van het NMP-2: Bijlage E-H*, RIVM-rapport 251701013.
- RIVM, 1995, *Achergronden bij: Milieubalans 95*.
- RIVM, 1996, *Milieubalans 1996*.
- RIVM, 1996, *Mobiele werktuigen in Nederland: prognoses tot 2020*, RIVM-rapport 773002004.
- RIVM, 1997, *Nationale Milieuverkenning 4*.
- RIVM *et al.*, 1997, *Natuurverkenning 97*, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Informatie- en KennisCentrum Natuurbeheer, DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, DLO-Staring centrum, Samson H.D. Tjeenk Willink BV, Alphen aan den Rijn.
- RIZA, 1996, *WaterSysteemVerkenningen*, concept.
- Smit, R., 1996, RIVM/LAE, mondelinge mededeling.
- TAUW, 1996a, *Effecten en kosten van milieumaatregelen bij de industrie*, Deventer.
- TAUW, 1996b, *Emissies van fijn stof door industriële bronnen en bij energie-opwekking*, Deventer.
- Thomas, R., 1996, RIVM/LAE, mondelinge mededeling.
- TME, 1993, *Kosten van milieumaatregelen*, Den Haag.
- TME, 1996, *Kosten van afvalverwijdering*, Den Haag.
- Tweede Kamer, 1990, *Natuurbeleidsplan, Regeringsbeslissing*, Tweede Kamer der Staten-Generaal, 's-Gravenhage, vergaderjaar 1989-1990, 21 149, nrs. 2-3.
- Unie van Waterschappen, 1995, *Invulling fosfaat- en stikstofbeperkende maatregelen*, Den Haag.
- V&W, 1993, *Evaluatienota water 1993*, 's-Gravenhage.
- V&W, 1995, *Toetsing huidige en verwachte water(bodem)kwaliteit aan grenswaarden*, 's-Gravenhage.
- Versluys, C., 1996, RIVM / LBG, *Kosten duurzaamheid bodemsanering*, mimeo, en mondelinge mededeling.
- VROM, 1993, *Nationaal Milieubeleidsplan 2*, 's-Gravenhage.
- VROM, 1994, *Methodiek milieukosten*, Publikatiereeks Milieubeheer 1994/1.
- VROM, 1995, *Kosteneffectiviteit van milieumaatregelen in de industrie: methodiek en referentiekader*, Publikatiereeks Lucht en Energie 119+120, Den Haag.
- W. de Vries, 1988, "Critical deposition levels for nitrogen and sulphur on dutch forest ecosystems", *Water, Air and Soil Pollution*, **42**:221-239.
- W. de Vries, 1993, "Average critical loads for nitrogen and sulfur and its use in acidification abatement policy in the Netherlands", *Water, Air and Soil Pollution*, **68**:399-434.

W. de Vries, 1995, "Kritische depositieniveaus voor totaal zuur en stikstof op bossen", appendix bij een stuk over derde Actieprogramma Verzuring, DLO Winand Staring Centrum, Wageningen.

WCED, 1986, *Our common future*, World Commission for Environment and Development, Oxford, New York.

World Health Organization, 1995, *Update and revision of the air quality guidelines for Europe*, Meeting of the Working Group "Classical" Air Pollutants, Bilthoven, Netherlands, 11-14 October 1994, EUR/HFA target 21, EUR/ICP/EHAZ 9405/PB01.