

CE

**Oplossingen voor
milieu, economie
en technologie**

Oude Delft 180
2611 HH Delft
tel: 015 2 150 150
fax: 015 2 150 151
e-mail: ce@ce.nl
website: www.ce.n

Fosforkringloop voor Thermphos

Onderzoek naar de milieuwinst en
de kosten bij inzet van alternatieve
fosforbronnen

Rapport

Delft, september 2000

Opgesteld door: B. Potjer
J. Vermeulen
G. de Weerd
G. Bergsma
H. Croezen



Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:

Bergsma, ir. G.C., drs. H.J. Croezen, ir. B.K. Potjer, ir. G.J. de Weerd,
ir. J.P.L. Vermeulen
Fosforkringloop voor Thermphos; Onderzoek naar de milieuwinst en de
kosten bij inzet van alternatieve fosforbronnen
Delft : Centrum voor energiebesparing en schone technologie, 2000

Fosfor / Producenten / Productbeleid / Secundaire grondstoffen / Hergebruik
/ Kosten / Milieu / Effecten / Rioolslib / Meststoffen
VT: Schaduwprijzen

Publicatienummer: 00.5544.15

Verspreiding van publicaties gebeurt door:
Centrum voor energiebesparing en schone technologie
Oude Delft 180
2611 HH Delft
Tel: 015-2150150
Fax: 015-2150151
E-mail: publicatie@ce.nl

Opdrachtgever: ThermPhos
Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider ir. G.C.
Bergsma

©copyright, CE, Delft

Het CE in het kort

Het Centrum voor energiebesparing en schone technologie (CE) is een onafhankelijk onderzoek- en adviesbureau dat werkzaam is op het raakvlak van milieu, economie en technologie. Wij stellen ons tot doel om vernieuwende, structurele oplossingen te ontwikkelen die beleidsmatig haalbaar, praktisch uitvoerbaar en economisch verstandig zijn. Begrip van de verschillende maatschappelijke belangen is daarbij essentieel.

Het CE is onderverdeeld in vier sectoren die zich richten op de volgende werkvelden:

- milieu-economie
- verkeer en vervoer
- materialen en afval
- (duurzame) energie

Van elk van deze werkvelden is een publicatielijst beschikbaar. Geïnteresseerden kunnen deze opvragen bij het CE. Daarnaast verschijnt er tweemaal per jaar een nieuwsbrief met daarin een overzicht van de actuele projecten. U kunt zich hierop zonder kosten abonneren (tel: 015-2150150).

Inhoud

Samenvatting	1
1 Inleiding	3
1.1 Aanleiding	3
1.2 Doel	3
1.3 Werkwijze	3
Deel 1: De fosforinventarisatie	5
2 De fosforstromen bij Thermphos	7
2.1 Inleiding	7
2.2 De huidige fosforbron van Thermphos: fosfaaterts	7
2.3 Het thermische productieproces van Thermphos	7
2.4 Het natzuurreinigingsproces van Thermphos	8
2.5 De fosforproducten van Thermphos	8
2.6 Samenvatting en discussie	9
3 De fosforstromen in Nederland en Vlaanderen	11
3.1 Inleiding	11
3.2 Een overzicht van de fosforstromen in Nederland	11
3.3 Mest en slib in Nederland en Vlaanderen	12
3.4 Retourzuren in Europa	14
Deel 2: De inzet van erts en alternatieven	15
4 Inzet van erts	19
4.1 Inleiding	19
4.2 Florida-erts	19
4.2.1 Bepaling van milieueffecten (M)	19
4.2.2 Bepaling van kosten (K)	20
4.3 Kovdor-erts	20
4.3.1 Bepaling van milieueffecten (M)	20
4.3.2 Bepaling van kosten (K)	20
4.4 Totale milieueffecten en kosten van inzet van erts	20
5 Inzet van mestproducten	23
5.1 Inleiding	23
5.2 Rundveemest en kalvergier	23
5.3 Varkensmest	23
5.4 Kippenmest	25
5.5 Samenvatting en discussie	26
6 Inzet van slibproducten	29
6.1 Inleiding	29
6.2 Bewerking en gebruik slib	29
6.3 Samenvatting en discussie	30

7	Discussie en conclusies	33
7.1	Inleiding	33
7.1.1	Mestproducten	33
7.1.2	Slibproducten	33
7.1.3	Retourzuren en industrieel slib	33
7.2	Discussie	34
7.3	Conclusies	36
	Literatuur	37
A	Basisgegevens	41
B	Erts	45
C	Mestproducten	49
D	Slibproducten	51

Samenvatting

Thermphos is een grote Nederlandse fosforproducent. Zij maakt zuiver fosfor uit magmatisch en sedimentair fosfaaterts voor onder meer de voedingsmiddelenindustrie. Thermphos heeft zich ten doel gesteld in 2005 20% van de fosfor uit secundaire (hergebruikte) grondstoffen te winnen. Deze studie, die CE heeft verricht in opdracht van Thermphos, geeft een indicatie van de mogelijkheden secundaire fosforbronnen te gebruiken. Zowel de milieueffecten als de kosten daarvan zijn getaxeerd.

Uit een inventarisatie van de beschikbare alternatieve fosforbronnen blijkt dat het Nederlandse mestoverschot in theorie ca. 7% van het fosfaaterts kan vervangen. Inclusief gebruik van Nederlands (7%) en Vlaams (1%) rioolwaterzuiveringsslib, van Nederlands industrieslib (2%) en van in Noord-West-Europa gebruikte (fosfor)zuren (3%) kan dit oplopen tot 20%. Door de inzet van alle Nederlandse *bedrijfs*(mest)overschotten zou zelfs 36% van het fosfaaterts kunnen worden vervangen.

Gebruik van rioolwaterzuiveringsslib en mestproducten lijkt het interessantst voor Thermphos. Van deze secundaire fosforstromen zijn de milieueffecten en kosten van gebruik bij Thermphos bepaald inzake:

- gedeeltelijke vervanging van gebruik van fosfaaterts;
- vervanging van de huidige verwerkingsmethoden van de secundaire fosforbron;
- voorbereiding (drogen en verbranden) van de fosforbronnen om gebruik in het fosforproductieproces mogelijk te maken.

De milieueffecten zijn uitgedrukt in geldbedragen, in de vorm van schaduw-prijzen. Deze zijn afgeleid van door de overheid gestelde milieudoelen.

De technische haalbaarheid van gebruik van secundaire fosforbronnen in het productieproces is nog onduidelijk. Die constatering is niet zonder belang. Gebruik van deze bronnen zal leiden tot veranderingen in het fosforproductieproces. Daardoor zullen ook proces-emissies (milieueffecten) en wellicht ook kosten aan veranderingen onderhevig zijn. Die effecten zijn in deze studie nog niet aan de orde geweest. Beide factoren zijn echter van doorslaggevend belang voor mogelijk gebruik van secundaire fosforbronnen bij Thermphos.

Bij het gebruik van mestproducten leveren mestconcentraat en onbewerkte mest de grootste milieuwinst op. Die wordt grotendeels (90%) bereikt door het vermijden van overbemesting. Gebruik van stapelbare kippenmest en compost van kippenmest levert ook grote milieuwinst op. Bovendien zijn de voorbereidingskosten van deze mestsoorten aanmerkelijk lager dan die van onbewerkte mest en mestconcentraat. De inzet van kippenmest-as levert, met toerekening van externe milieuwinst (bij DEP), meer milieuwinst op dan stapelbare kippenmest. Zonder deze toerekening is de milieuwinst gering.

Het gebruik van slib levert in het algemeen een lagere milieuwinst op. Deze milieuwinst is vergelijkbaar met die van mest, indien overbemesting buiten beschouwing wordt gelaten.

Gebruik van sommige slibproducten bij elektriciteitscentrales of de cement-industrie (ENCI) leidt door brandstofbesparing tot grotere milieuvoordelen dan gebruik bij Thermphos. Op grond van de in deze studie beoordeelde processen en gehanteerde kosten, leveren alle slibproducten bij gebruik bij Thermphos financieel voordeel op.



1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Thermphos International B.V. (hierna Thermphos genoemd) is een fabrikant van fosfor en fosforproducten. Thermphos bestaat sinds juli 1997, toen Hoechst haar activiteiten in de fosforproductie¹ hierin onderbracht. De vestiging in Vlissingen neemt het grootste deel van de productie van Thermphos voor haar rekening. Daarnaast heeft Thermphos vestigingen in Duitsland, Argentinië en China.

Na de verzelfstandiging van Thermphos is behoefte aan een nieuwe koers ontstaan. Onderdeel hiervan is het nieuwe milieubeleid waarin productverantwoordelijkheid centraal staat. Productverantwoordelijkheid houdt in dat de fabrikant de verantwoordelijkheid neemt voor het minimaliseren van het milieueffect van haar producten. Thermphos heeft daarom CE gevraagd te onderzoeken wat de mogelijkheden zijn om fosforketens te sluiten met behulp van het Thermphos-proces.

Een mogelijkheid waarop de productverantwoordelijkheid door Thermphos kan worden ingevuld is de inzet van reststromen als secundaire fosforbron. Waarschijnlijk kan Thermphos door recycling van fosfor uit de buurt van de productielocaties substantiële milieuwinst boeken. Op deze wijze is voor dezelfde hoeveelheid geld meer milieuwinst te bereiken dan met het strikt doorvoeren van de productverantwoordelijkheid in de zin van het minimaliseren van het milieueffect van haar eigen producten. Thermphos heeft zichzelf tot doel gesteld om in het jaar 2005 haar grondstoffen voor 20% uit secundaire fosforstromen te betrekken.

1.2 Doel

Het doel van deze studie is inzicht te verkrijgen in de mogelijkheden voor sluiting van de fosforketen en in de milieuvordelen en de kosten hiervan. Criteria die hierbij worden gehanteerd zijn:

- realiseerbaarheid van de ketensluiting per fosforstroom;
- verwachte milieuwinst van het sluiten van de fosforstroom;
- verwachte kosten van het sluiten van de fosforstroom.

1.3 Werkwijze

Het onderzoek valt uiteen in twee delen.

In het **eerste deel** wordt een inventarisatie gemaakt van de fosforketen van Thermphos: grondstof, productieproces, productafzet en eindverwerking van de producten. Ook wordt een inventarisatie gemaakt van de fosforhoudende reststromen in Nederland en Vlaanderen. Uit deze stromen worden aan het begin van het tweede deel, op basis van grootte en verwachte bruikbaarheid, de meest kansrijke secundaire fosforbronnen geselecteerd. Zoals hierboven al is aangegeven vindt deze aanpak plaats in het kader van de pro-

¹ Wanneer 'fosfor' in de tekst genoemd wordt, wordt hiermee niet per definitie elementaire fosfor (P₄) bedoeld maar stoffen/producten waarin het element P aanwezig is.

ductverantwoordelijkheid ('product-stewardship') die Thermphos voor haar producten wil nemen.

In het **tweede deel** worden de voor Thermphos meest interessante secundaire fosforbronnen geselecteerd en van deze fosforbronnen de verwachte milieuwinst en de verwachte kosten bepaald van inzet bij Thermphos. De milieuwinst wordt bepaald door het verschil van de milieubelasting van de nieuwe situatie met de milieubelasting van de oude situatie. Deze milieuwinst wordt uitgedrukt in schaduw prijzen² per kilogram fosfor. De verwachte financiële (extra) kosten en baten van elk van de fosforbronnen worden op dezelfde wijze berekend. De milieuwinst en kosten van de volgende aspecten zijn daarbij van belang:

- de gedeeltelijke vervanging van de inzet van fosfaaterts door de fosforbron;
- de vervanging van de huidige verwerkingsmethode van de fosforbron;
- de benodigde voorbewerking van de fosforbron om deze voor het (thermische) productieproces geschikt te maken;
- de veranderingen in het productieproces door inzet van een andere fosforgrondstof.

In dit onderzoek zal de milieuwinst en kosten worden bepaald van de eerste drie aspecten, waarbij de verschillende alternatieve fosforbronnen in Nederland en Vlaanderen in ogenschouw worden genomen. Door Thermphos zijn de gegevens aangeleverd voor een eerste bepaling van de milieueffecten en kosten van voorbewerking van de fosforbronnen. De milieueffecten en kosten van aanpassing van het productieproces vallen buiten het bestek van deze studie en zullen door ThermPhos in een later stadium worden bepaald. Op dit moment zal het daarom niet mogelijk zijn een compleet beeld van de kosteneffectiviteit van inzet van alternatieve fosforbronnen bij Thermphos te verkrijgen. Wanneer in een later stadium dit wel mogelijk is kan de kosteneffectiviteit van inzet van alternatieve fosforbronnen worden vergeleken met de kosteneffectiviteit van procesmaatregelen (zoals energiebesparing) en eveneens met kosteneffectiviteit van fosfor-retoursystemen.

² De schaduw prijs wordt afgeleid van door de overheid gestelde milieudoelen. Het is het (marginale) bedrag per eenheid emissie waarmee het gestelde doel kan worden bereikt. De milieudoelstellingen van de overheid weerspiegelen in feite het gewicht dat de samenleving eraan toekent. Zie bijlage A en CE [1997a,d].



Deel 1: De fosforinventarisatie

Inleiding

Zoals in het vorige hoofdstuk is aangegeven zal in dit deel een inventarisatie worden gemaakt van de fosforstromen van Thermphos en in Nederland en Vlaanderen.

Huidige fosforstromen bij Thermphos

De inventarisatie van de fosforstromen van Thermphos heeft tot doel de huidige fosforketen in kaart te brengen en de mogelijkheden te bepalen om deze te sluiten. Bovendien kan duidelijk worden welke onderdelen van het huidige productieproces veranderingen zullen ondergaan als gevolg van een eventuele ketensluiting.

Alternatieve fosforstromen

Middels een inventarisatie van de fosforstromen in Nederland en Vlaanderen kunnen de mogelijkheden van de inzet van alternatieve fosforbronnen worden bepaald. De inventarisatie is beperkt tot Nederland en Vlaanderen, omdat Thermphos in dit gebied is gevestigd. Hierdoor is de haalbaarheid en de milieuwinst van het gebruik van fosforbronnen die afkomstig zijn uit dit gebied naar verwachting groter dan van fosforbronnen uit verder gelegen gebieden. Een uitzondering hierop vormen de retourfosforzuren die voor NW-Europa worden beschouwd.



2 De fosforstromen bij Thermphos

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zal kort worden ingegaan op de productieprocessen bij Thermphos, de gebruikte grondstoffen en de eindproducten. De twee productieprocessen die Thermphos gebruikt zijn het thermische proces en het natzuurreinigingsproces. Deze zullen apart worden behandeld ten aanzien van de grondstoffen en de processen. Vervolgens zal aandacht worden besteed aan de mogelijkheden om andere fosforbronnen in te zetten en de keten te sluiten.

2.2 De huidige fosforbron van Thermphos: fosfaaterts

Thermphos gebruikt magmatisch en sedimentair fosfaaterts vergelijkbaar met Florida-erts en Kovdorerts voor het thermische productieproces. Fosfaaterts is delfstof die van nature rijk is aan apatiet, een calciumfosfaat ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}/\text{OH})$). Thermphos gebruikt een ertsmengsel met gemiddeld 15% P ofwel 75% BPL³.

Onderstaand wordt het proces beschreven zoals dat in Florida en Kola plaatsvindt. Op een aantal andere winlocaties, zoals Jordanië en Marokko, wordt een deel van het erts ter plaatse gezuiverd door calcinatie.

Florida-erts

Het erts in Florida (het P-gehalte in dit erts is 13,36%) wordt door middel van dagbouw gewonnen. Na verwijdering van de toplaag wordt de fosfaatrijke onderlaag afgegraven. Uit deze onderlaag wordt het fosfaaterts vrijgemaakt door zeven, decanteren en flotatie. Tenslotte wordt het erts nagedroogd in een gasgestookte trommeloven. Water wordt grotendeels (95%) hergebruikt. Het afgescheiden zand/klei en vuile water wordt afgevoerd naar een moeras waar vaste deeltjes bezinken en water wordt gezuiverd. Na 10-20 jaar is dit moeras in oorspronkelijke staat hersteld.

Kovdor-erts

Het fosfaaterts uit de Kovdormijn (15,92% P) is een bijproduct van de ijzererts winning. De ertsen worden eerst gebroken, samen met zirconiumerts (badeliet) en vervolgens magnetisch gescheiden. Het fosfaaterts wordt daarna van het badeliet gescheiden. Vervolgens wordt het afgescheiden fosfaaterts (apatiet) bewerkt tot voldoende zuiver erts via een proces van flotatie, bezinking, filtratie en droging (in een trommel).

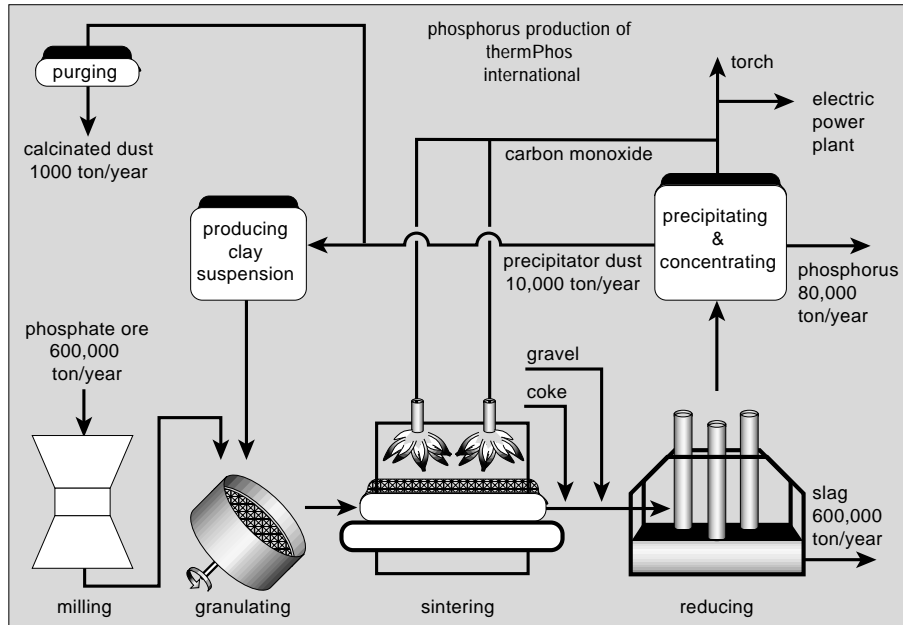
2.3 Het thermische productieproces van Thermphos

Van het fosfaaterts worden pellets gemaakt. Deze pellets gaan samen met grind en cokes in elektro-ovens. Bij een temperatuur van ruim 1.500°C komt bij een chemische reactie gasvormig fosfor vrij. Het gas wordt na reiniging middels elektrofilters door afkoeling (met behulp van water) vloeibaar ge-

³ De zuiverheid wordt uitgedrukt in BPL (bone phosphate of lime), dat het theoretische gehalte calciumfosfaat ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) aangeeft. 100 BPL komt overeen met 46% fosfaat (P_2O_5) ofwel 20% fosfor (P).

maakt (Figuur 1). Dit fosfor wordt gedeeltelijk afgezet en gedeeltelijk verder verwerkt tot producten zoals fosforzuur en fosforderivaten (zie Tabel 1).

Figuur 1 Schematische weergave van het thermische productieproces van Thermphos



Tijdens het proces ontstaan drie bijproducten:

- 1 *Koolmonoxide*, wordt als brandstof gebruikt in andere fabrieken van Thermphos en in de nabijgelegen kolencentrale van EPZ.
- 2 *Steen­slak*, wordt verkocht als o.a. funderings­ma­te­riaal in de weg- en waterbouw.
- 3 *Ijzer­slak*, wordt ingezet bij de productie van speciale staal­le­ge­rin­gen.

2.4 Het natuurreinigingsproces van Thermphos

Naast het thermische proces is er ook het natuurreinigingsproces. Dit proces gebruikt ruwzuur als grondstof. Ruwzuur is het product van chemische ontsluiting van fosfaaterts met zwavelzuur. Het aangevoerde ruwzuur wordt gereinigd in de natuurfabriek en vervolgens wordt daaruit NTPP geproduceerd. Ook worden hier (verontreinigde) retourstromen van fosforzuur ingezet. Bij de reiniging worden verontreinigingen verwijderd.

2.5 De fosforproducten van Thermphos

Thermphos produceert een breed scala aan fosforproducten, waarvan het grootste deel wordt geëxporteerd. In Tabel 1 is een overzicht hiervan gegeven. Te zien is dat het grootste deel van de fosforproducten in Europa wordt afgezet. Via de producten waarin de fosfor wordt verwerkt wordt het grootste deel van de fosfor nog verder verspreid. Onbekend is hoeveel hiervan precies in Nederland wordt toegepast en in Nederland in de afvalfase beland. De meeste fosforhoudende producten, zoals wasmiddelen, voedingsmiddelen en farmaceutica, komen in het slib van waterzuiveringsinstallaties te

recht. Verder zal fosfor terecht komen in de as van AVI's⁴, in het afval op stortplaatsen (denk aan vlamvertragers, weekmakers, stabilisatoren in plastics) en diffuus verspreid over landbouwgronden (pesticiden) en oppervlaktewateren (uitspoeling / afspoeling van pesticiden).

Tabel 1 Door Thermphos in 1997 geproduceerde P-stromen met hun bestemming (informatie van Thermphos)

Massa (kton)	Product Thermphos	Toepassing	Land/afnemer ⁵ (=aangenomen locatie van afval)	Afval
41,6	NTPP	Wasmiddelen	Turkije (17%); F+D (20%); Iran+Syrie (13%); Arg (11%);	Riool
17,9	Fosforzuur	Voedingsmiddelen + metaalbedrijven ⁶	NL (36%); I+D (30%); Arg (7%)	Riool + Beitsbaden -> deel retour Thermphos Natzuurfabriek
0,4	PCl ₅	Pharmaceutica		Riool
1,4	POCl ₃	In plastics (weekmaker, stabilisator, vlamvertrager)	D+GB (90%)	Huish.afval ->AVI BSA ->stort/AVI
3,2	PCl ₃	Pesticide (groten-deels); Papier/textiel industrie	D+DK+F (45%) B+I (20%)	Bodem/grond- /opp.water Riool
2,0	P ₂ S ₅	Industrie (pneumatische olie) en auto-industrie (smeerolie)	B+F+D (67%)	Afgewerkte olie
0,8	FeP	Toevoeging aan staal (staalindustrie)	D+S+F (80%)	In staal
52,5	P ₄	Export naar industrie die bovengenoemde producten maakt (concurrent van Thermphos-producten)	D+F+GB+DK+A (97%)	Onbekend
119,8	Totaal			

2.6 Samenvatting en discussie

In het geval van Thermphos lijkt ketensluiting in de meest strikte zin van het woord niet mogelijk aangezien het door Thermphos geproduceerde fosfor in diverse eindproducten verwerkt wordt. Terugname van deze producten is daardoor praktisch onmogelijk. Ook wanneer deze producten in de afvalfase belanden, is terugname problematisch door vermenging met andere stoffen (bijvoorbeeld rioolwater) en de grote geografische verspreiding van het product. De beste mogelijkheid om aan dit laatste nog iets te doen is door te participeren in projecten waarbij de fosfor lokaal (d.w.z. op de plaats waar het product in de afvalfase belandt) wordt herverwerkt.

Er kan wel gestreefd worden naar een minder strikte vorm van ketensluiting door een zo groot mogelijk aandeel in de grondstoffen voor Thermphos te betrekken uit reststromen.

Als reststroom vormt zuiverings-slib een belangrijke eindbestemming van het fosfor van Thermphos (zie Tabel 1). Hierdoor is dit slib voor het sluiten van

⁴ AVI = Afval Verbrandings Installatie.

⁵ Europese landen zijn afgekort met landenletters; Argentinië is afgekort als Arg.

⁶ Fosforzuur gebruikt bij metaalbedrijven (beitsbaden) levert een afvalstroom in de vorm van een mengsel van zwavelzuur en fosforzuur dat vervuild is met metalen.

de fosforketen van het eigen product in principe een goede grondstof. Door inzet van slib zal ook fosfor dat afkomstig is van andere bronnen worden hergebruikt.

Naast zuiveringsslib komen mogelijk meer reststromen in aanmerking voor inzet als secundaire fosforbron bij Thermphos. In het volgende hoofdstuk worden deze geïnventariseerd voor Nederland en Vlaanderen. Tenslotte wordt nog eens opgemerkt dat op dit moment al fosforhoudende retourzuren die afkomstig zijn van de beitsbaden van metaalbedrijven door Thermphos worden ingezet bij haar natzuurreinigingsproces.



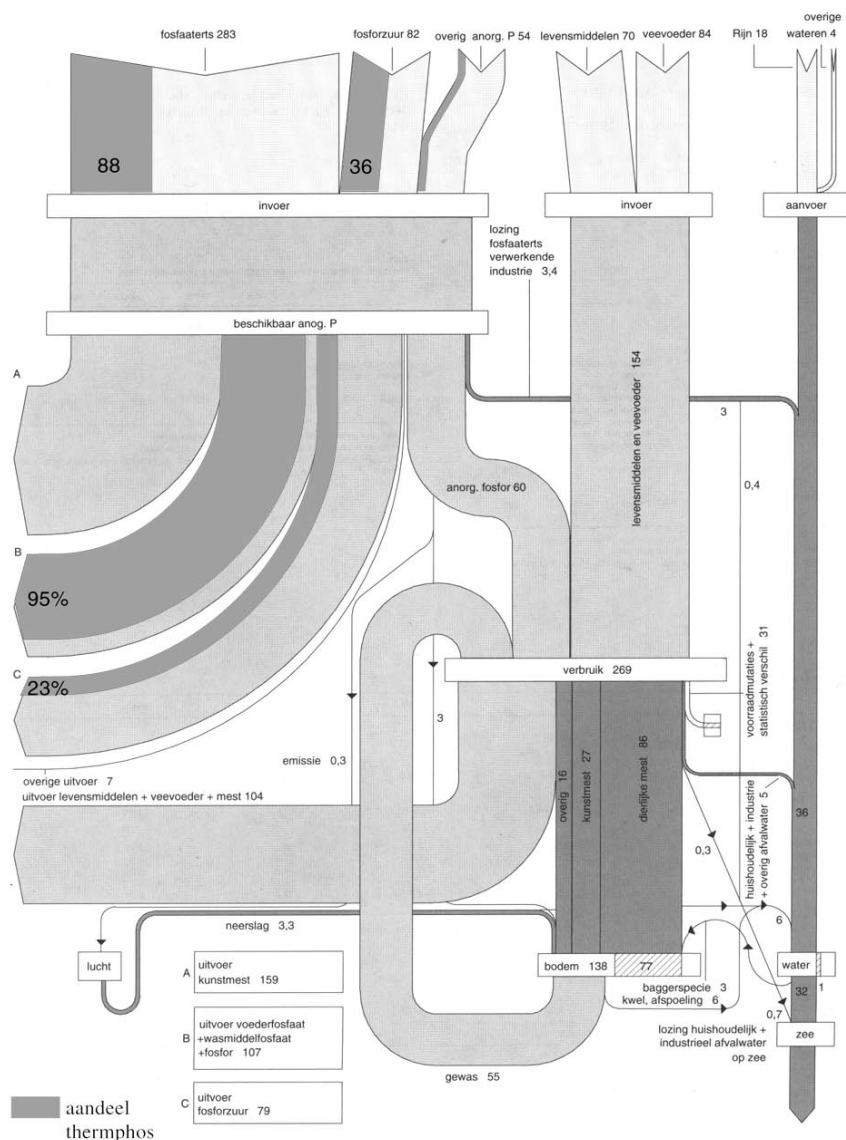
3 De fosforstromen in Nederland en Vlaanderen

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de fosforstromen in Nederland en Vlaanderen geschetst. Hierbij wordt tevens aandacht besteed aan de positie van Thermphos binnen deze fosforstromen. Daarnaast wordt geschetst welke reststromen er zijn en hoe deze worden verwerkt.

3.2 Een overzicht van de fosforstromen in Nederland

Figuur 2 Stroomdiagram fosforstromen in Nederland (hoeveelheden in kton P per jaar)



Bron: Fong P.K.N. (1997) Fosfor in Nederland 1995, Kwartaalbericht Milieustatistieken 97/4, Bewerking: CE, Delft (1999)

Zoals is aangegeven in Figuur 2 zijn er in Nederland drie hoofdstromen te onderscheiden:

- 1 Het anorganische fosfor, hierin heeft Thermphos een groot aandeel. Dit fosfor wordt grotendeels geëxporteerd.
- 2 Het organische fosfor, dit wordt grotendeels omgezet in mest.
- 3 Het fosfor in water, deze wordt grotendeels als zodanig aangevoerd. Een klein deel van de (an)organische fosfor wordt echter hieraan toegevoegd. Voordat deze in de waterige fase komt vindt er veelal enige vorm van reiniging plaats in een rioolwaterzuiveringsinstallatie.

De grootste fosfor-reststromen in Nederland en Vlaanderen bestaan uit fosfor in de overtollige mest (het mestoverschot) en de fosfor in het water en de rioolwaterzuivering. In de rioolwaterzuivering wordt de fosfor uit het water gehaald en in slib omgezet. Ook een interessante fosfor-reststroom voor Thermphos wordt gevormd door de restzuren uit de beitsbaden van metaalbedrijven in NW-Europa (retourzuren). Deze stroom is kleiner maar makkelijk bij het natuurreinigingsproces inzetbaar (op dit moment gebeurt dit al gedeeltelijk). Daarnaast is er nog een fosfor-reststroom in de vorm van fosforgips. Dit is een afvalproduct dat ontstaat bij de productie van fosforzuur door chemische ontsluiting uit fosfaaterts. Dit afvalproduct is niet geschikt voor het sluiten van de keten omdat de fosforconcentratie zeer laag is. Er zal daarom bij de beschrijving van geschikte fosfor-reststromen alleen worden ingegaan op mest en slib in Nederland en Vlaanderen en retourzuren in NW-Europa.

3.3 Mest en slib in Nederland en Vlaanderen

De mest en slibstromen in Nederland en Vlaanderen zijn nader onderzocht. De omvang van de stromen is in Tabel 2 weergegeven en is uitgedrukt in kton P (1 kton P = 1.000.000 kg fosfor).

De komende jaren zal het totale bedrijfsoverschot aan mest nauwelijks veranderen. Het landelijke mestoverschot zal echter vanwege de strengere Europese wetgeving gaan toenemen.

Voor slib is de omvang en verdeling naar verwerkingsmethode in de daarop volgende tabellen (Tabel 3, Tabel 4 en Tabel 5) weergegeven, uitgedrukt in kton ds (droge stof).

Tabel 2 Slib- en meststromen in Nederland en Vlaanderen, uitgedrukt in kton P/jaar

	1997	Schatting 2000-2005
Communaal slib Nederland	8,4 kton P (368 kton ds slib in 1996)	Gelijk
Industrieel slib Nederland	2 kton P (schatting) ⁷ (209 kton ds slib 1997)	Lichte toename
Mestoverschot Nederland	1,3 kton P (38,4 kton P bedrijfsoverschot)	7,8 kton P (38,4 kton P bedrijfsoverschot)
Communaal slib Vlaanderen	1,2 kton P	Toename
Mestoverschot Vlaanderen	0 kton P (12,5 kton P bedrijfsoverschot)	Toename

⁷ Het P-gehalte van industrieel slib dat in de landbouw wordt toegepast is 1 % [CBS, 1997b en 1999]. Er is vanuit gegaan dat dit percentage representatief is voor al het industrieel slib.



Tabel 3 Bewerking en afzet van communaal slib in Nederland 1997 [CE, 1999]

Communaal slib NL (1997): totaal 368 kton ds -> 8,4 kton P / jr.		
Bewerking en afzet	1997	2000-2005 (schatting)
Storten	19,5%	0%
Thermisch drogen + storten	18,1%	0%
Composteren + storten	9,1%	12%
Composteren +bijstook poederkoolcentrale	2,5%	10%
Verbranden (SVI)	42,5%	50%
Thermisch drogen + bijstook	0%	16%
Thermisch drogen + cementoven (ENCI)	1,1%	8%
Vartech (natte oxidatie)	6,2%	5%
Export (als zwarte aarde)	0,8%	0%

Tabel 4 Bewerking en afzet van industrieel slib in Nederland [CBS, 1999]

Industrieel slib NL (1997): totaal 209 kton ds -> 2 kton P / jr.		
Bewerking en afzet	1997	2000-2005 (schatting)
Storten	52%	0%
Landbouw	13%	13%
Veevoeder	7%	7%
Verbranden (SVI)	4%	56%
Composteren (als zwarte aarde)	1%	1%
Overige	23%	23%

Tabel 5 Bewerking en afzet van communaal slib in Vlaanderen [Aquafin, 1999]

Communaal slib Vlaanderen (1997): totaal 70 kton ds -> 1,2 kton P / jr.		
Bewerking en afzet	1997	2005 (schatting)
Storten	35,5%	0% 6% afzet door derden (loopt in 1998-2005 van 50% naar 6%)
Verbranden (SVI)	25,8%	47%
Drogen + afzet	5,4%	39%
Groene toepassing	33,2%	9%

Uit Tabel 3, Tabel 4 en Tabel 5 blijkt dat een groot deel van het slib in Nederland en Vlaanderen wordt gestort. In Nederland zal dit vanaf het jaar 2000 verboden zijn, in Vlaanderen zal het aandeel dat gestort wordt naar verwachting ook aanzienlijk dalen.

In de nabije toekomst zal het grootste deel van het Nederlandse slib worden verbrand. Dit zal zowel direct met het ruwe slib gebeuren alsook met het slib dat eerst een bewerking (composteren of drogen) heeft ondergaan. Natte oxidatie van communaal slib levert een zelfde product op als verbranden. Om deze reden, en vanwege gebrekkige informatieverstrekking door Vartech, wordt in het vervolg van dit rapport de hoeveelheid slib die op deze wijze wordt omgezet tot as opgeteld bij de hoeveelheid slib die wordt verbrand in een slibverbrandingsinstallatie. In Vlaanderen zal naast verbranden van slib ook een aanzienlijk deel worden gedroogd en afgezet in de landbouw.

Bijstook van slib-compost en thermisch gedroogd slib in een poederkoolcentrale veroorzaakt (te) hoge kwikconcentraties in de rookgassen en wordt wellicht in de toekomst verboden.

Van de Nederlandse mest nemen kippen- en varkensmest het overgrote deel van het totale bedrijfsoverschot voor hun rekening (ieder zo'n 0,44 x 38,4 = 17 kton P). Het grootste deel van de mest wordt direct uitgereden op landbouwgrond (Tabel 6). Een deel ondergaat eerst een bewerking (scheiden in dikke en dunne fractie via bezinken/strofilter, composteren, indampen, drogen, biologische zuivering, etc.) en wordt vervolgens gebruikt in de landbouw of geëxporteerd.

Tabel 6 Toepassing van mest in Nederland in 1996 [Van Voorneburg et al., 1998]

Mestsoort	Gebruik in eigen bedrijf ⁸	Aandeel in totale bedrijfsoverschot (38,4 kton P)	Aandeel toepassing van bedrijfsoverschot		
			Gebruik op landbouwgrond	Verwerking	Handel, opslag buitenland
Rund	92%	9%	84%	10%	6%
Kalver	33%	3%	44%	49%	7%
Varkens	40%	44%	79%	0,1%	21%
Kippen	0%	44%	46%	4%	50%

3.4 Retourzuren in Europa

Op basis van de gegevens over fosforzuurgebruikers (metaalbedrijven) is de omvang van de stroom retourzuren in de Benelux, Frankrijk en Duitsland geschat. De verwachting is dat deze omvang de komende jaren niet significant zal veranderen. Een overzicht wordt gegeven in Tabel 7.

Tabel 7 Retourzuren in NW-Europa (informatie van Thermphos)

Land van herkomst	Hoeveelheid (in kton P per jaar)
Nederland	0,19
België	0,17
Frankrijk	1,53
Duitsland	2,49
Totaal	4,38

Gegevens van het huidige gebruik en de samenstelling van de retourzuren ontbreken. Thermphos zet op dit moment al een deel van de retourzuren in bij het natzuurreinigingsproces en is van plan dit deel te vergroten. Daarom wordt in dit onderzoek deze fosforstroom niet verder beschouwd.

⁸ Dit maakt geen onderdeel uit van het bedrijfsoverschot. Het bedrijfsoverschot is 100% minus het gebruik op het eigen bedrijf.

Deel 2: De inzet van erts en alternatieven

Inleiding

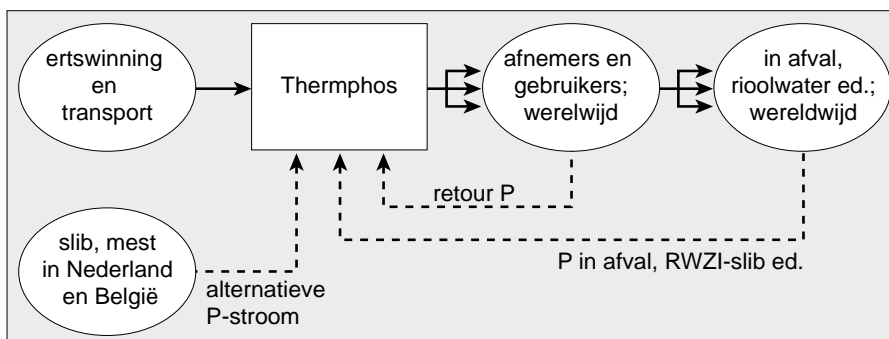
In dit deel wordt nader ingegaan op de veranderingen die optreden als gevolg van de inzet van alternatieve fosforbronnen. De verandering van milieubelasting en van kosten van de alternatieven zullen worden behandeld.

Afbakening

Uit de beschikbare gegevens blijkt dat mest en communaal slib, in ruwe of bewerkte vorm, qua hoeveelheid fosfor een interessante secundaire fosforbron voor Thermphos kunnen zijn [CBS, 1997a]. Daarom zullen deze fosforstromen in de volgende hoofdstukken nader worden beschouwd. Vanwege pragmatische overwegingen (o.a. beschikbaarheid gegevens) en het geringere potentieel aan fosfor in Vlaanderen worden in het vervolg van dit rapport alleen de mest en slibstromen uit Nederland behandeld.

Figuur 4 geeft een beeld van de positie van Thermphos temidden van de verschillende fosforstromen. Industrieel slib varieert in totale hoeveelheid en ook het gehalte aan droge stof en fosfaat van bedrijf tot bedrijf. Over samenstelling en hoeveelheden is voor dit industrieel slib weinig literatuur voorhanden. In overleg met Thermphos is daarom besloten dit slib niet in dit onderzoek te behandelen.

Figuur 3 Schema van de positie van Thermphos temidden van de verschillende P-stromen



Zoals in hoofdstuk 2 is behandeld, heeft Thermphos twee productieprocessen. De natzuurfabriek kan retourzuren (natte P-stromen) inzetten, waarbij de plaats van inzet in het productieproces afhankelijk is van het gehalte aan sulfaat en metalen. Inzet kan bovendien alleen plaatsvinden indien de fosforstroom weinig organische koolstof bevat, vanwege beperkte reinigingscapaciteit. Dat betekent dat de mogelijkheid van verwerking van slib en mest in de natzuurfabriek vervalft. In het vervolg van dit rapport wordt daarom alleen de inzet van alternatieve fosforstromen in het thermische proces beschouwd.

Methodiek

De milieuwinst en kosten zullen worden bepaald door de huidige situatie te vergelijken met de situatie waarin de secundaire fosfor bij Thermphos zal worden ingezet. Per alternatief wordt bepaald wat er verandert in de optre-

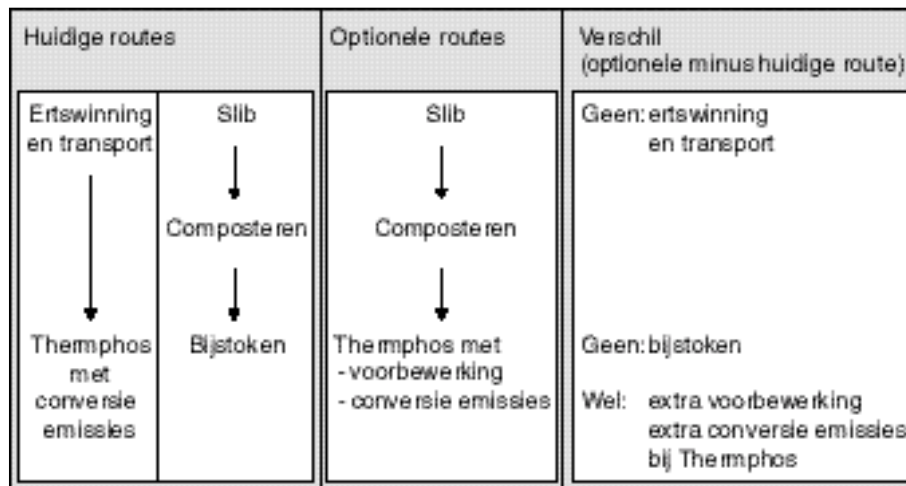
dende emissies naar het milieu door de huidige verwerkingsmethode te vervangen door verwerking bij Thermphos. Om de milieuwinst in gulden te bepalen worden deze emissies met behulp van schaduwrijzen (zie bijlage A) omgerekend. Voor de milieueffecten van het watergebruik (verdroging) en van landschapsaantasting zijn er (nog) geen schaduwrijzen. Deze effecten zijn daarom niet in deze berekeningen meegenomen, maar deze zouden de milieuwinst verder verhogen. De eenheid van de milieuwinst M en kosten K is NLG en wordt in eerste instantie bepaald per kg P.

De milieuwinst (en analoog de kosten) komen tot stand via de volgende onderdelen:

- dr hoeft minder erts gewonnen en ingezet te worden. Deze M-erts en zijn (per kg P) in alle gevallen gelijk en zullen als eerste worden behandeld (in hoofdstuk 4);
- de huidige verwerking van de fosforhoudende afvalstroom komt te vervallen door inzet bij Thermphos. De milieuwinst hiervan is M-verwerking. Deze milieuwinst is afhankelijk van de verwerkingsmethode en zal daarom per verwerkingsmethode worden behandeld;
- het fosforhoudende materiaal zal wellicht nog een voorbereiding behoeven. De milieubelasting hiervan (negatieve milieuwinst, M-voorbewerking) verschilt per afvalstroom;
- doordat het erts wordt vervangen door een andere grondstof zullen er tijdens het proces andere emissies optreden. Dit is de M-proces.

In Figuur 4 zijn deze onderdelen schematisch weergegeven voor een voorbeeld (de inzet van slib dat anders zou worden gecomposteerd en bijgestookt in plaats van fosfaaterts).

Figuur 4 Voorbeeld van de inzet van een alternatieve fosforbron



In deze studie is er van uitgegaan dat de voorbereiding bestaat uit het drogen en verbranden van de alternatieve fosforbronnen. Voor de berekening van de kosten, waarvan een indicatieve berekening door Thermphos is gemaakt, is aangenomen dat het drogen en verbranden plaatsvindt in een installatie die min of meer gelijk is aan de Dorrindikker. De milieuwinst en kosten van aanpassen van het productieproces zullen nader door Thermphos worden bepaald en maken geen deel uit van dit onderzoek.

Nadat de milieuwinst en kosten van inzet van een alternatieve fosforbron zijn bepaald, kunnen deze in een tabel worden ingevuld (zie het voorbeeld in Tabel 8).

Tabel 8 Voorbeeldtabel voor invulling van milieuwinst en kosten van inzet van een alternatieve fosforbron

P-stroom:	Huidige Verwerking:	M-verwerking	M-erts	M-voorbewerking	M-proces	M-totaal	K-verwerking	K-erts	K-voorbewerking	K-proces	K-totaal
Erts	Thermphos										

Werkwijze

In dit deel zullen de verschillende fosforbronnen worden behandeld. Hierbij wordt per bron het volgende gedaan:

- beschrijving van de huidige verwerkingsmethode van de P-stroom;
- beschrijving van de mogelijkheden om het bij Thermphos in te zetten;
- bepaling van de milieuwinst volgens de bovenstaande methodiek;
- bepaling van de kosten volgens de bovenstaande methodiek;
- samenvatting in overzichtstabel.



4 Inzet van erts

4.1 Inleiding

Zoals eerder is aangegeven wordt niet ingegaan op de vervanging van ruwzuur omdat mest en slib niet in het natuurreinigingsproces ingezet kunnen worden. Zij bevatten namelijk te veel organisch materiaal. Dit hoofdstuk zal dus alleen ingaan op de milieuwinst en de financiële aspecten van de vervanging van erts voor het thermische proces. Dit erts is afkomstig uit Kovdor (Rusland) en Florida (VS). Deze worden onderstaand afzonderlijk besproken. Vervolgens worden ze gemiddeld opdat in het vervolg steeds van 'erts' kan worden gesproken.

De milieuwinst door de vermeden ertswinning is afhankelijk van het erts dat vervangen wordt. Mocht Thermphos overschakelen op een ander erts dan verandert dus het milieueffect.

4.2 Florida-erts

Ertswinning in Florida bij Agrifos vindt plaats door middel van dagbouw. Na verwijdering van de toplaag wordt de fosfaatrijke onderlaag afgegraven. Deze onderlaag wordt met water aangelengd en verpompt. Het fosfaaterts wordt daarna in diverse stappen vrijgemaakt door diverse behandelingen met toevoeging van chemicaliën (zeven, decanteren en flotatie). Tenslotte wordt het erts nagedroogd in een gasgestookte trommeloven.

Water wordt grotendeels (95%) hergebruikt. Het afgescheiden zand/klei en vuile water wordt afgevoerd naar een moeras waar vaste deeltjes bezinken en water wordt gezuiverd. Na 10-20 jaar is dit moeras in oorspronkelijke staat hersteld.

Het erts wordt van Florida (Tampa Bay) over ruim 8.480 km vervoerd naar Vlissingen in bulkcarriers [Laven, 1999]. Het P-gehalte in de Florida-erts is 13,36% (30,6% P₂O₅, 68% BPL).

4.2.1 Bepaling van milieueffecten (M)

De milieueffecten van de winning zijn geschat via energieverbruik van verpompen van de slurry (fosfaaterts in water), van de draglines bij het afgraven van de boven- en onderlaag en het drogen. Dit energieverbruik is circa 250 kWh per ton erts. De milieueffecten van de gebruikte chemicaliën worden verwaarloosd. Zoals reeds aangegeven worden het waterverbruik en de landschapsaantasting niet meegenomen. De milieukosten voor ertswinning komen daarmee op 0,18 NLG per kg P (zie bijlage B.2).

Naast winning vindt er ook transport plaats. Het grootste deel van de milieueffecten hiervan wordt veroorzaakt door het transport in bulkcarriers vanaf Tampa Bay naar Vlissingen (8.480 km) [Laven, 1999]. De milieueffecten van overslag/handling van erts worden verwaarloosd. De milieukosten voor transport zijn 1,23 NLG per kg P.

De totale (vermijdbare) milieukosten voor Florida-erts zijn dus 1,41 NLG per kg P.

4.2.2 Bepaling van kosten (K)

De kosten worden bepaald door de kosten voor winning, transport en handling van het erts. Dit geeft een kostprijs van 0,82 NLG per kg P uit Florida.

4.3 Kovdor-erts

Fosfaaterts uit de Kovdor mijn is een bijproduct van ijzerertswinning. Na de (gezamenlijke) winning wordt het erts gebroken en gescheiden door magnetische separatie. Het fosfaaterts wordt afgescheiden van het zirconiumerts en wordt vervolgens bewerkt via een proces van zeven, decanteren flotatie en droging. Het erts wordt van de haven van Moermansk over ca. 2925 km vervoerd naar Vlissingen. Het P-gehalte in Kovdor erts is 15,92% (36,46% P₂O₅, 81% BPL).

4.3.1 Bepaling van milieueffecten (M)

Omdat fosfaat een bijproduct is, kunnen de milieueffecten van de winning uit de Kovdor mijn niet zonder meer aan het fosfaaterts worden toegerekend. De toerekening geschiedt op basis van de massaverhouding tussen ijzererts en fosfaaterts, dit is 4 (mln ton): 1,4. De milieueffecten voor ijzer/fosfaatertswinning worden daarom voor $1,4/(1,4+4) = 26\%$ aan fosfaaterts toegerekend. Dit gebeurt voor het winnen, breken en magnetische afscheiding van het erts. De flotatie, bezinking, filtratie en droging van het fosfaaterts wordt natuurlijk geheel aan het fosfaaterts toegerekend.

Waterverbruik, landschapsaantasting en chemicaliënverbruik worden wederom niet beschouwd. De (toegerekende) milieukosten van winning zijn 0,10 per kg P.

Tenslotte wordt het erts van Moermansk vervoerd naar Vlissingen, 2.925 km in bulkcarriers [Laven, 1999]. De milieukosten hiervan zijn 0,36 per kg P.

Totaal zijn de milieukosten van fosfaatertswinning in Kola dus 0,46 per kg P.

4.3.2 Bepaling van kosten (K)

De kosten worden bepaald door de kosten voor winning, transport en handling van het erts. Dit geeft een kostprijs van 0,66 NLG per kg P uit Kovdor.

4.4 Totale milieueffecten en kosten van inzet van erts

Thermphos gebruikt momenteel een mengverhouding Florida – Kovdor erts van 1 staat tot 1. Bij de berekening van de milieuwinst en kosten van de inzet van alternatieve fosforbronnen wordt ervan uitgegaan dat de inzet van erts in de huidige mengverhouding wordt vermeden. Dat betekent voor het ertsmengsel een gemiddeld P-gehalte van 14,64%, een gemiddelde K van -0,73 NLG/kg P en een gemiddelde M van 0,89 NLG/kg P.

Tabel 9 Milieuwinst en kosten bij stopzetting van winning en transport erts

P-stroom:	Huidige Verwerking:	M-verwerking	M-erts	M-voorbewerking	M-proces	M-totaal	K-verwerking	K-erts	K-voorbewerking	K-proces	K-totaal
erts	Thermphos		0,89					-0,73			



5 Inzet van mestproducten

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zal worden ingegaan op de inzet van mestproducten als fosforbron voor Thermphos. De mest zal per soort worden behandeld. Voor de samenstelling en verwerking van de mest is uitgegaan van de gegevens uit Van Voorneburg et al. [1998] en CE [1997b]. In de praktijk zal de samenstelling van de mest variëren naar aanbieder. Hierdoor zullen de milieueffecten ook enigszins kunnen variëren. De hieronder gepresenteerde resultaten geven echter een goede indruk van de inzetbaarheid van de verschillende soorten mest en van de effecten van deze inzet.

Van de meststromen in Nederland wordt het grootste deel direct uitgereden op landbouwgrond. Een deel ondergaat eerst een bewerking (scheiden in dikke en dunne fractie via bezinken/strofilter, composteren, indampen, drogen, biologische zuivering, e.a.) en wordt vervolgens gebruikt in de landbouw of geëxporteerd. Voor het bepalen van het milieueffect wordt ervan uitgegaan dat de mest overtollig is. Voor Thermphos is alleen mest die niet op het eigen bedrijf wordt ingezet (het bedrijfsoverschot) een interessante fosforbron. Alleen het bedrijfsoverschot veroorzaakt voor de veehouders een afzetprobleem.

5.2 Rundveemest en kalvergier

De helft van het fosfor dat wordt uitgescheiden door de Nederlandse vee­stapel (42 van de 84 kton P in 1996) is afkomstig uit rundveemest. Het houden van rundvee is doorgaans grondgebonden en vindt voornamelijk plaats buiten de mestconcentratiegebieden. Hierdoor is er voor rundveemest nauwelijks sprake van een mestoverschot [Van Voorneburg et al., 1998]. Om deze reden wordt rundveemest in dit onderzoek niet nader beschouwd.

Naast de grondgebonden runderen worden de mestkalveren als een afzonderlijke categorie gezien. Deze mest komt vrij als kalvergier, een zeer waterige mestsoort die vergelijkbaar is met afvalwater. De kalveren worden veelal gehouden in mestconcentratiegebieden, waardoor kalvergier wel bijdraagt aan het mestoverschot. De productie van kalvergier is relatief gering in vergelijking met fokzeugenmest dat wat betreft samenstelling vergelijkbaar is. Om deze redenen wordt ook kalvergier niet apart in dit onderzoek behandeld maar meegenomen met de varkensmestproducten.

5.3 Varkensmest

Varkensmest is afkomstig van vleesvarkens en fokzeugen en bestaat grotendeels uit drijfmest. Vanwege het waterige karakter van deze drijfmest (<9% d.s.⁹), is transport alleen rendabel over korte afstanden. Voor transport over langere afstand wordt de drijfmest eerst bewerkt. Voor deze bewerking zijn de volgende methoden onderzocht:

⁹ D.s. staat voor gehalte aan droge stof (vaste deeltjes).

- 1 Biologische zuivering met simultane defosfatering.
- 2 Biologische zuivering met aansluitend defosfatering (struviet).
- 3 Concentratie.
- 4 Drogen.

Voor Thermphos kunnen in principe de ruwe drijfmest, mestconcentraat en gedroogde mest interessante fosforbronnen zijn. Uit de resultaten van praktijkproeven is gebleken dat defosfatering in het geval van struviet een te duur proces is. Voor de overige vormen van varkensmest bevindt defosfatering zich nog in het experimentele stadium. Voor het bepalen van de milieueffecten van de inzet van gedroogde mest waren onvoldoende gegevens beschikbaar, deze fosforbron is in dit onderzoek daarom niet verder behandeld.

Ruwe drijfmest (eventueel aangevuld met kalvergier) kan wellicht ook als sproeivloeistof worden toegepast in het thermische proces. Mestconcentraat zou kunnen worden toegevoegd aan het fosfaaterts in het productieproces. In beide gevallen vervallen dan de kosten van voorbereiding. Bij het gebruik van onbewerkte mest worden daarnaast ook de milieukosten van extra benodigd aardgas in het droogproces vermeden. In onderstaande tabel worden de milieu- en kosteneffecten van de vervanging van erts door deze fosforbronnen weergegeven.

Tabel 10 Effecten van inzet van varkensmestproducten per kg P

P-stroom:	Huidige Verwerking:	M-verwerking	M-erts	M-voorbewerking	M-proces	M-totaal	K-verwerking	K-erts	K-voorbewerking	K-proces	K-totaal
Onbewerkte mest	Uitrijden	61,3	0,89	-3,54		58,6	-12,7	-0,73	39,6		26,1
Mestconcentraat	Uitrijden	73,1	0,89	0		74,0	0,7	-0,73	14,8		14,7

Hieronder wordt voor mestconcentraat een voorbeeld gegeven hoe de resultaten in de tabel zijn berekend. In de samenvatting aan het eind van dit hoofdstuk worden de bovenstaande cijfers nader toegelicht.

M-verwerking

Bij het uitrijden van 1 ton mestconcentraat wordt 1.050 gram NH₃, 131 gram NO_x, 2,5 gram SO₂, 3,7 kg CO₂, 35 kg N en 3,71 kg P geëmitteerd (bijlage C.2). Het fosforgehalte in het mestconcentraat is 3,71 kg/ton. De emissie van NH₃ per kg P wordt dan dus $1.050/3,71 = 283$ gram. De schaduwprijs van NH₃ is NLG 14/kg (zie bijlage A.1.1). De milieubelasting van NH₃ wordt dan $0,283 \times 14 \text{ NLG} = 3,96 \text{ NLG/kg P}$. De overige emissies zijn op een zelfde wijze omgerekend.

K-verwerking

Het mestconcentraat wordt afgezet voor een prijs van 0 tot 5 NLG/ton, dus gemiddeld NLG 2,5/ton mestconcentraat. Dit is 0,67 NLG per kg P. Bij deze kosten zijn de kosten voor transport inbegrepen. Aangenomen wordt dat transport naar Thermphos over een vergelijkbare afstand plaatsvindt als het



transport naar de huidige afzetgebieden en dat er dus geen extra kosten aan zijn verbonden¹⁰.

M-voorbewerking

De milieukosten van het drogen en verbranden van de meststromen zijn als volgt berekend: Door Thermphos zijn gegevens aangeleverd over de energie die benodigd is voor de droging van de natte fractie en vrijkomt bij de verbranding van de droge fractie in de meststromen. Indien meer energie nodig is voor de droging dan er vrijkomt bij het verbranden, is hiervoor per uur 5700 Nm³ fosforovengas (FOG) als energiebron beschikbaar die nu wordt ingezet bij EPZ. De emissies van het gebruik van FOG worden middels schaduw prijzen toegerekend aan de meststroom. Is er naast de beschikbare FOG nog extra energie nodig, dan is aangenomen dat deze in de vorm van verbranding van aardgas wordt opgewekt. Ook hier worden de emissies middels schaduw prijzen toegerekend aan de meststroom.

De emissies (met name CO₂) die ontstaan bij de verbranding van de mestsoort worden niet toegerekend, aangezien deze onderdeel uitmaken van een korte CO₂-cyclus. Een eventueel energieoverschot (er komt meer energie vrij bij de verbranding van de droge fractie van de mest dan benodigd bij de droging van natte fractie) wordt aangenomen 'verloren' te gaan en wordt dus niet als milieuwinst gewaardeerd.

K-voorbewerking

Voor de berekening van de kosten van voorbereiding zijn de gegevens door Thermphos aangeleverd. De voorbereidingskosten bestaan uit investeringskosten en operationele kosten. De investeringskosten van de voorbereiding zijn gebaseerd op de aanname dat drooginstallatie min of meer gelijk is aan de Dorrindikker. Deze heeft een capaciteit van ca. 80 kton per jaar (10 ton per uur) en kostte NLG 2 miljoen. Gerekend is echter met een vervangingswaarde van NLG 3 miljoen. Met de gemiddelde kosten per ton die hieruit volgen is lineair verder gerekend.

De operationele kosten ontstaan wanneer de kosten van drogen en verbranden hoger zijn dan de opbrengsten. Alleen voor onbewerkte mest en mestconcentraat worden operationele kosten gemaakt. Bij de onbewerkte mest bestaat een deel van de operationele kosten uit het gebruik van aardgas. Hiervoor is een bedrag van 6 NLG per GJ energie-inhoud gehanteerd¹¹.

5.4 Kippenmest

Kippenmest is een relatief droge mestsoort (22% droge stof). Deze mest wordt in het algemeen op twee manieren toegepast. Als eerste kan de mest worden verdund met water tot een soort drijfmest en op het land worden uitgereden. De tweede mogelijkheid is uit te gaan van de relatief droge kippenmest en deze mest

- 1 verder in te drogen,
- 2 te composteren,
- 3 te verbranden,
- 4 te vergassen.

¹⁰ In het geval van onbewerkte mest is deze aanname waarschijnlijk niet geheel juist, zie hiervoor de discussie aan het eind van dit hoofdstuk.

¹¹ Indicatie van tarief voor grootverbruikers door J. Roos, CE.

Het verder indrogen kan in de stal plaats vinden middels ventilatie tot ca. 55% d.s. of extern met hete lucht tot ca. 90% d.s. Bij de eerste methode wordt gesproken van stapelbare kippenmest.

In de praktijk blijkt de hoeveelheid drijfmest ten opzichte van de hoeveelheid stapelbare kippenmest gering. Bovendien vindt er bij de mestuitstoot steeds meer een verschuiving plaats naar de stapelbare kippenmest. Om deze reden zal kippendrijfmest in dit onderzoek niet worden beschouwd. Van de met hete lucht gedroogde kippenmest worden mestkorrels gemaakt die tegen een relatief hoge prijs worden afgezet. Hierdoor zijn ook deze mestkorrels als fosforbron voor Thermphos niet interessant.

Bezien vanuit procestechnisch perspectief zijn met name gecomposteerde kippenmest en de as van verbrande of vergaste kippenmest voor Thermphos interessante fosforbronnen. De hoeveelheid mest die wordt gecomposteerd is, ten opzichte van de hoeveelheid stapelbare kippenmest, op dit moment gering maar zal naar verwachting de komende jaren toenemen. Ook het verbranden of vergassen van kippenmest wordt momenteel slechts sporadisch toegepast maar wordt mogelijk in de toekomst op grotere schaal ingezet. De as van deze processen wordt verkocht als kunstmest.

In onderstaande tabel worden de milieuwinst en kosten van de vervanging van erts door stapelbare kippenmest, compost van kippenmest en as van verbrande of vergaste kippenmest weergegeven. De berekening verloopt op een zelfde wijze als de berekening die hiervoor is uitgewerkt voor varkensmest concentraat.

Tabel 11 Effecten van inzet van kippenmestproducten per kg P

P-stroom:	Huidige Verwerking:	M-verwerking	M-erts	M-voorbewerking	M-proces	M-totaal	K-verwerking	K-erts	K-voorbewerking	K-proces	K-totaal
Stapelbare kippenmest	Uitrijden	49,3	0,89	0		50,2	-4,0	-0,73	5,9		1,1
Compost van kippenmest	Uitrijden	44,5	0,89	0		45,4	0,2	-0,73	4,0		3,5
As van kippenmest	Kunstmest	0	0,89	0		0,9	0	-0,73	0,5		-0,2

5.5 Samenvatting en discussie

Uit het bovenstaande blijkt dat de milieueffecten die vermeden kunnen worden door toepassing van mest als fosforbron bij Thermphos het grootst zijn voor het zeugenmest/kalvergierv-concentraat, gevolgd door de onbewerkte mest.

De onbewerkte mest draagt minder bij aan de vermesting dan het mestconcentraat vanwege de grotere hoeveelheid stikstof per kg P van de laatste. Echter, de stikstof die in de onbewerkte mest aanwezig is bevindt zich voor ongeveer 10 % in ammoniakvorm en draagt daardoor weer sterker bij aan de verzuring.

De milieueffecten van kippenmestproducten zijn wat kleiner dan die voor de onbewerkte mest en het mestconcentraat, voornamelijk door hun geringere bijdrage aan de vermesting per kg P. Daarbij ontlopen de bijdragen van de kippenmestproducten aan de vermesting elkaar nauwelijks.

Van de compost is de bijdrage aan de verzuring verwaarloosbaar doordat er praktisch geen ammoniakaal stikstof aanwezig is, dit in tegenstelling tot de stapelbare kippenmest.

Aangenomen wordt dat de milieueffecten van de inzet van de as van verbrande of vergaste kippenmest verwaarloosbaar zijn omdat deze as als kunstmest wordt ingezet op plaatsen waar behoefte is aan mineralen.

Gemiddeld neemt de bijdrage aan de vermesting ongeveer 90 % van het milieueffect van een mestsoort voor haar rekening, met uitzondering van compost van kippenmest waar deze bijdrage bijna 99 % is. Wanneer er van de in aanmerking komende mestproducten geen overschot zou zijn, dan zou de milieuwinst door inzet van het mestproducten bij Thermphos dus aanzienlijk lager zijn.

Tabel 12 Effecten van inzet van mestproducten per kg P

P-stroom:	Huidige Verwerking:	M-verwerking	M-erts	M-voorbewerking	M-proces	M-totaal	K-verwerking	K-erts	K-voorbewerking	K-proces	K-totaal
Onbewerkte mest	Uitrijden	61,3	0,89	-3,54		58,6	-12,7	-0,73	39,6		26,1
Mestconcentraat	Uitrijden	73,1	0,89	0		74,0	0,7	-0,73	14,8		14,7
Stapelbare kippenmest	Uitrijden	49,3	0,89	0		50,2	-4	-0,73	5,9		1,1
Compost van kippenmest	Uitrijden	44,5	0,89	0		45,4	0,2	-0,73	4,0		3,5
As van kippenmest	Kunstmest	0	0,89	0		0,9	0	-0,73	0,5		-0,2

De kosten van inzet van mestproducten bij Thermphos laten een grote spreiding zien. De kosten bij inzet van onbewerkte mest en mestconcentraat zijn daarbij het grootst. Dit wordt veroorzaakt doordat deze mestsoorten relatief vochtig zijn waardoor de voorbereiding veel energie kost. Voor onbewerkte mest moet zelfs extra energie in de vorm van aardgas worden toegevoegd.

De kosten voor het vermijden van de huidige verwerking van onbewerkte mest en stapelbare kippenmest zijn negatieve kosten: vanwege het grote bedrijfsoverschot ontvangt de afnemer van de onbewerkte mest een vergoeding van ongeveer 20 NLG/ton (P gehalte 1,57 kg/ton). Volgens [Munsters, 1999] zijn de afleverkosten van stapelbare kippenmest bij een verbrandings- of vergassingsinstallatie 35 NLG/ton (P-gehalte 8,75 kg P/ton). Dit komt overeen met 4 NLG/kg P.

Voor de overige mestproducten dient de afnemer te betalen. Voor mestconcentraat en compost van kippenmest is dit ongeveer 2,5 NLG/ton. Door het hogere fosforgehalte (12,73 vs. 3,5 kg P/ton) is compost van kippenmest per kg P voordeliger. Doordat de kosten van het verbranden ongeveer worden gedekt door de aanleverprijs voor de boer (35 NLG/ton mest) en de opbrengst van de aan het net geleverde stroom, zijn de kosten van de as geschat op 0 NLG/kg P [Bergsma, 1999]. De marktprijs zou echter wel eens negatief kunnen zijn omdat de as maar beperkt kan worden afgezet. De

verwachting is verder dat deze prijs in de toekomst nog meer kan dalen door hogere aanleverkosten voor de boer.

Op dit moment wordt onbewerkte mest overwegend dichtbij het agrarisch bedrijf afgezet omdat vervoer vanwege het hoge watergehalte relatief duur is. De overige producten worden over afstanden vervoerd die vergelijkbaar zijn met de (langere) afstand tot Thermphos. Indien inzet bij Thermphos zou plaatsvinden, zouden daarom voor de onbewerkte mest ook de milieueffecten en kosten van het transport moeten worden beschouwd. De kosten voor het transport van de onbewerkte mest bedragen ongeveer 20 NLG/ton mest voor een retourafstand van 200 km¹². Dit is 12,74 NLG/kg fosfor. Hierbij is uitgegaan van de gemiddelde kosten van 2,50 NLG per km voor transport met een 35 ton vrachtauto (25 ton nuttig laadvermogen). De milieueffecten van dit transport bedragen over 200 km in schaduwpreizen ongeveer 2,88 NLG/kg P.

¹² Oost-Brabant en de West-Veluwe vormen de gebieden met het grootste mestoverschot.



6 Inzet van slibproducten

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zal worden ingegaan op de inzet van communaal zuiveringsslib als fosforbron voor Thermphos. RWZI's¹³ zuiveren het rioolwater via een chemisch, biologisch of gecombineerd proces. In dit onderzoek wordt uitgegaan van de gemiddelde samenstelling van het slib zoals beschreven in CE [1999]. Een deel van het rioolwater wordt echter gezuiverd met behulp van ijzerchloride of -hydroxide. Omdat het ijzergehalte voor Thermphos een kritische parameter is, kan dit de inzet van dit slib belemmeren. Vanwege de variatie in samenstelling zullen de milieueffecten van inzet van specifieke slibsoorten enigszins afwijken. De hieronder gepresenteerde resultaten geven echter een goede indruk van de inzetbaarheid van de verschillende soorten slibproducten en van de effecten van deze inzet.

6.2 Bewerking en gebruik slib

Het onbewerkte slib uit de RWZI's in Nederland wordt, na eerst mechanisch te zijn ontwaterd, gestort in speciale slib stortplaatsen. Vanaf het jaar 2000 is het storten van onbewerkt slib niet meer toegestaan. In de toekomst zal daarom alle slib eerst een of meerdere bewerkingen moeten ondergaan. Deze bewerkingen kunnen zijn:

- 1 Composteren.
- 2 Thermisch drogen.
- 3 Verbranden.

De gedroogde en gecomposteerde slibben (kunnen) worden gestort of ingezet als brandstof bij elektriciteitscentrales¹⁴ en in de cementindustrie (bijvoorbeeld ENCI). Het as van de slibverbranding kan ook worden gestort of het kan worden hergebruikt in de wegenbouw.

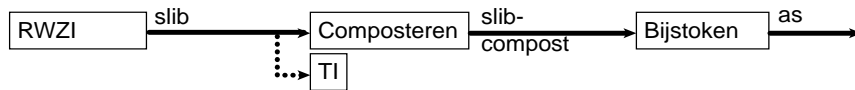
Voor Thermphos zijn zowel het onbewerkte slib alsook de verschillende bewerkte slibben interessant als fosforbron. De bewerkte slibben kunnen waarschijnlijk zonder extra voorbereiding worden toegevoegd aan het fosfaaterts in het productieproces. Voor onbewerkte slib is voorbereiding zoals droging of compostering wel noodzakelijk.

In volgende tabel worden de milieu- en kosteneffecten van de vervanging van erts door deze slibproducten weergegeven. Deze effecten zijn niet alleen afhankelijk van de bewerking die het slib reeds heeft ondergaan maar tevens van de bewerking die het slib zou hebben ondergaan als deze niet bij Thermphos zou worden ingezet. Een voorbeeld is de inzet van slib dat anders gecomposteerd en bijgestookt zou worden. Dit wordt hieronder schematisch weergegeven (figuur 5) en berekend.

¹³ RWZI staat voor rioolwaterzuiveringsinstallatie.

¹⁴ Bijstook van slib-compost en thermisch gedroogd slib in een poederkoolcentrale veroorzaakt (te) hoge kwikconcentraties in de rookgassen en wordt wellicht in de toekomst verboden.

Figuur 5 Voorbeeld van inzet onbewerkt slib bij Thermphos International (TI)



M-composteren en bijstoken

Voor de inzet van 1 kg P bij Thermphos is 157 kg slib nodig (P gehalte is 0,64 %). Deze 157 kg zou anders gecomposteerd worden, hetgeen een milieubelasting zou opleveren. In schaduwrijzen uitgedrukt bedraagt deze milieubelasting 0,41 NLG per kg P. De milieueffecten en kosten die betrekking hebben op de overige 156 kg slib worden in dit onderzoek niet beschouwd maar naderhand door Thermphos bepaald. Bijstook van compost levert een milieubesparing op doordat de inzet van fossiele brandstoffen voor elektriciteitsopwekking wordt vermeden. Deze milieubesparing bedraagt 1,50 NLG/kg P. In totaal wordt door het vermijden van deze bewerkingen en het inzetten bij Thermphos dus $0,41 - 1,50 = -1,09$ NLG bespaard op het milieu. Met andere woorden, er treedt een extra belasting op voor het milieu ter waarde van 1,09 NLG.

K-composteren en bijstoken

Voor de inzet van 1 kg P bij Thermphos is ongeveer 157 kg slib nodig (P gehalte is 0,64 %). Deze 157 kg zou anders gecomposteerd worden tegen een prijs van 100 NLG/ton. Het vermijden van deze stap levert een kostenbesparing van 15,70 NLG op. Na composteren resteert er nog 47,2 kg (30 % van 157 kg). Bijstoken hiervan zou 4,72 NLG ($100 \text{ NLG/ton} \times 47,2 \text{ kg}$) kosten. In totaal wordt door het vermijden van deze bewerkingen dus $15,70 + 4,72 = 20,42$ NLG bespaard.

6.3 Samenvatting en discussie

In Tabel 13 wordt een overzicht gegeven van de milieu- en kosteneffecten van de vervanging van erts door slibproducten als fosforbron voor Thermphos.

Bij de milieueffecten valt op dat deze bij inzet door Thermphos aanmerkelijk kleiner zijn dan die van mestproducten. Vanuit milieuoogpunt gezien is het vermijden van het thermisch drogen van slib het voordeligst. Het verschil in de milieueffecten van drogen ten opzichte van composteren wordt voornamelijk bepaald door de emissie van NO_x (smog) bij het droogproces. Het vermijden van bijstook alsmede verwerking door de cementindustrie (ENCI) brengt negatieve milieueffecten met zich mee doordat op deze wijze geen fossiele brandstof wordt bespaard. Bij het storten van gedroogd slib, slibcompost en slib-as wordt er in dit rapport vanuit gegaan dat dit op zodanige wijze gebeurt dat de effecten op het milieu te verwaarlozen zijn. Het ruimtegebruik van een stortplaats wordt in dit onderzoek niet in beschouwing genomen.

De kosten van inzet van slib in plaats van erts door Thermphos zijn negatief. Dit betekent dat onder de huidige omstandigheden slibproducenten voor afname van hun slib betalen. Met name drogen en verbranden zijn voor hen dure verwerkingsmethoden, gevolgd door composteren. Zelfs de verdere verwerking van eenmaal gedroogd, gecomposteerd of verbrand slib levert de afnemer van deze producten nog geld op.

In het huidige beeld lijkt het vermijden van drogen gevolgd door storten van slib de hoogste baten voor het milieu en de hoogste financiële opbrengst (de

laagste negatieve kosten) met zich mee te brengen. Hierbij dient te worden opgemerkt dat naar verwachting het storten van gedroogd slib in de nabije toekomst niet meer zal plaatsvinden [CE, 1999], zodat de inzet van slib dat anders eerst zou worden gedroogd en dan verbrand of gebruikt in de cementindustrie de beste opties lijken.

Tabel 13 Effecten van inzet van slibproducten per kg P

P-stroom:	Huidige Verwerking:	M-verwerking	M-erts	M-voorbewerk.	M-proces	M-totaal	K-verwerking	K-erts	K-voorbewerk.	K-proces	K-totaal
Slib	Comp.+ stort	0,4	0,89	0		1,3	-22,8	-0,73	8,1		-15,5
Slib	Comp + bijstook	-1,1	0,89	0		-0,2	-20,4	-0,73	8,1		-11,6
Slib	Drogen+ stort	6,6	0,89	0		7,5	-29,4	-0,73	8,1		-22,1
Slib	Drogen+ bijstook	3,0	0,89	0		3,9	-27,5	-0,73	8,1		-20,2
Slib	Drogen + ENCI	0,6	0,89	0		1,5	-26,5	-0,73	8,1		-19,2
Slib	Verbranden (SVI)	0,4	0,89	0		1,3	-26,5	-0,73	8,1		-19,2
Slib-comp.	Stort	0,0	0,89	0		0,9	-7,1	-0,73	2,4		-5,4
Slib-comp.	Bijstook	-1,5	0,89	0		-0,6	-4,7	-0,73	2,4		-3,0
Droog slib	Stort	0,0	0,89	0		0,9	-5,9	-0,73	2,0		-4,6
Droog slib	Bijstook	-3,6	0,89	0		-2,7	-3,9	-0,73	2,0		-2,6
Droog slib	ENCI	-6,0	0,89	0		-5,1	-2,9	-0,73	2,0		-1,7
Slib-as	Stort	0,0	0,89	0		0,9	-1,4	-0,73	0		-2,2
Slib-as	Hergebruik	0,0	0,89	0		0,9	0,2	-0,73	0		-0,5



7 Discussie en conclusies

7.1 Inleiding

In deze discussie wordt een algemeen beeld gegeven van de mogelijkheden voor Thermphos om mest- en slibproducten in te zetten als alternatieve fosforbron bij de productie van fosfor middels het thermisch proces van Thermphos. Aangezien Thermphos de effecten van procesverandering bij de inzet van alternatieve fosforbronnen nog moet bepalen, is deze discussie beperkt tot een bespreking van de mogelijkheden, milieueffecten en kosten om erts als fosforbron te vervangen door bovengenoemde alternatieven. De resultaten geven dus niet een volledig beeld van de gevolgen van inzet van alternatieve fosforbronnen en de daaruit volgende conclusies hebben daarom nog een voorlopig en beperkt karakter.

Voor deze voorlopige conclusies zijn we uitgegaan van de milieu- en kosteneffecten zoals ze in hoofdstuk 4 tot en met 6 bepaald zijn. Deze effecten, welke telkens per kg P zijn uitgedrukt, kunnen worden vermenigvuldigd met de (potentiële) omvang van de in aanmerking komende fosforbronnen. Dit levert uiteindelijk een beeld op van de in potentie meest interessante fosforbron voor inzet bij Thermphos.

7.1.1 Mestproducten

Bij de bepaling van de hoeveelheden mest die in potentie in aanmerking komen voor inzet bij Thermphos is uitgegaan van de gegevens van 1996 zoals deze vermeld staan in Van Voorneburg et al. [1998]. Hierbij is voor de onbewerkte mest uitgegaan van de gezamenlijke hoeveelheid vlees- en fokzeugenmest en kalvergieter die als onbewerkte mest werd afgezet. Voor mestconcentraat is uitgegaan van de hoeveelheid fokzeugenmest en kalvergieter die wordt verwerkt. Benadrukt wordt dat het hier gaat om bedrijfsoverschotten. Zoals al eerder is aangegeven is dit de hoeveelheid mest die elders verwerkt en afgezet moet worden. Deze hoeveelheid is groter (38,4 kton P) dan het landelijke mestoverschot (1997: 1,3 kton P, 2005: 7,8 kton).

7.1.2 Slibproducten

Bij de bepaling van de hoeveelheden slib die in potentie in aanmerking komen voor inzet bij Thermphos is uitgegaan van de hoeveelheden in 1997 (10,4 kton P) zoals vermeld in CE [1999], zie Tabel 3 en Tabel 4. Hierbij is rekening gehouden met het feit dat rechtstreeks storten van slib vanaf het jaar 2000 verboden zal worden. De hoeveelheid slib die in 1997 nog op deze wijze werd afgezet is naar rato verdeeld over de andere slibbewerkingsmethoden en opgeteld bij de hoeveelheid slib die met elk van die methoden wordt verwerkt.

7.1.3 Retourzuren en industrieel slib

Naast mest en communaal slib is in Nederland jaarlijks naar schatting 2 kton P aanwezig in industriële slibstromen. Ook is in retourzuren van metaalbedrijven uit Nederland en de omliggende landen nog ruim 4 kton op jaarbasis aanwezig. Deze potentiële fosforbronnen zijn in deze studie echter niet verder beschouwd vanwege de grote onderlinge verschillen van deze stromen

in de samenstelling, herkomst etc. Op dit moment zet Thermphos al een deel van de retourzuren in bij het natzuurreinigingsproces en is van plan dit aandeel te vergroten.

7.2 Discussie

In deze studie die CE heeft verricht in opdracht van Thermphos, wordt een indicatie gegeven van de mogelijkheden secundaire fosforbronnen in te zetten, de milieueffecten hiervan en de kosten die dat met zich meebrengt. De milieueffecten en kosten zijn bepaald voor:

- de gedeeltelijke vervanging van inzet van fosfaaterts;
- de vervanging van de huidige verwerkingsmethoden van de secundaire fosforbronnen;
- het drogen en verbranden van de fosforbronnen om inzet in het fosforproductieproces mogelijk te maken.

Er is op dit moment nog geen inzicht in de effecten op het milieu en de kosten door inzet van secundaire grondstoffen op het fosforproductieproces door bijvoorbeeld verstoring van de waterhuishouding en aanpassing van de procesvoering. Deze effecten zijn echter, samen met de technische haalbaarheid, van doorslaggevend belang. De totale netto milieuwinst en kosten van inzet van alternatieve fosforbronnen zijn daarom nog niet vast te stellen.

Uit de inventarisatie van de fosforstromen in Nederland en omliggende landen is naar voren gekomen dat mest- en slibproducten in aanmerking komen voor inzet als secundaire fosforbron bij Thermphos. Momenteel wordt slib gestort, wat een dure verwerkingsmethode is. Door inzet bij Thermphos kan financieel voordeel worden behaald. Mest wordt veelal uitgereden op bouwland. Door inzet bij Thermphos kan vooral milieuvoordeel worden geboekt.

De inzet van onbewerkte mest en mestconcentraat blijkt aanzienlijke milieuwinst op te leveren (Tabel 14 en Figuur 6). Dit wordt grotendeels (90%) veroorzaakt door het vermijden van overbemesting. Het voorbereiden (drogen en verbranden) van deze mestsoorten brengt echter wel kosten met zich mee. Zou onbewerkte mest als sproeivloeistof in het productieproces kunnen worden ingezet dan is voorbereiding niet nodig, wat de milieuwinst verder vergroot en de totale kosten drastisch reduceert¹⁵. Eventueel vooraf concentreren van de mest voordat deze bij Thermphos wordt ingezet kan de benodigde voorbereiding reduceren.

Inzet van stapelbare kippenmest en compost van kippenmest levert ook grote milieuwinst op. Daarbij zijn de voorbereidingskosten van deze mestsoorten aanmerkelijk lager dan die voor onbewerkte mest en mestconcentraat.

De inzet van kippenmest-as geeft zeer lage milieuwinst. Dit komt doordat de veronderstelde oorspronkelijke toepassing (kunstmest) geen overbemesting veroorzaakt. Het vermijden van deze toepassing door inzet bij Thermphos levert dus alleen de milieuwinst op van het vermijden van inzet van fosfaaterts. Indien wordt aangenomen verbranding van kippenmest niet zou plaatsvinden wanneer Thermphos de as niet zou afnemen, dan kan de samenwerking met DEP weldegelijk overbemesting vermijden. De inzet van kippenmest-as is dan beter voor het milieu dan de inzet van stapelbare kip-

¹⁵ Hierbij wordt opgemerkt dat transport van onbewerkte mest naar Thermphos extra milieueffecten en kosten meebrengt, zie hierover de opmerking in paragraaf 5.5.



penmest doordat naast het vermijden van overbemesting ook elektriciteit wordt opgewekt. In Figuur 6 is dit aangegeven met een gestippelde balk.

Tabel 14 Overzichtstabel van de totale vermeden milieubelasting en kosten van inzet van mest of slib bij Thermphos (in mln NLG, exclusief de effecten van procesaanpassing bij Thermphos)

P-stroom	Huidige verwerking	M (NLG/kg P)	K (NLG/kg P)	Potentieel (ton P)	M totaal (NLG)	K totaal (NLG)
Onbewerkte mest	Landbouw	58,6	26,1	15445	905715	402803
Mestconcentraat	Landbouw	74,0	14,7	35	2590	516
Stapelbare kippenmest	Landbouw	50,2	1,1	12660	635737	14423
Compost van kippenmest	Landbouw	45,4	3,5	44	1998	154
As van kippenmest	Kunstmest	0,9	-0,2	0	0	0
Slib	Comp.+ stort	1,3	-15,5	950	1219	-14682
Slib	Comp.+ bijstook	-0,2	-11,6	261	-56	-3413
Slib	Drogen+ stort	7,5	-22,1	1889	14106	-41773
Slib	Drogen+ bijstook	3,9	-20,2	0	0	0
Slib	Drogen+ ENCI	1,5	-19,2	115	174	-2204
Slib	Verbranden (SVI)	1,3	-19,2	5082	6429	-97417
Slib-compost	Stort	0,9	-5,4	950	832	-5120
Slib-compost	Bijstook	-0,6	-3,0	261	-163	-790
Droog slib	Stort	0,9	-4,6	1889	1655	-8697
Droog slib	Bijstook	-2,7	-2,6	0	0	0
Droog slib	ENCI (cementindustrie)	-5,1	-1,7	115	-584	-191
Slib-as	Stort	0,9	-2,2	5082	4452	-10937
Slib-as	Hergebruik	0,9	-0,5	5082	4420	-2635

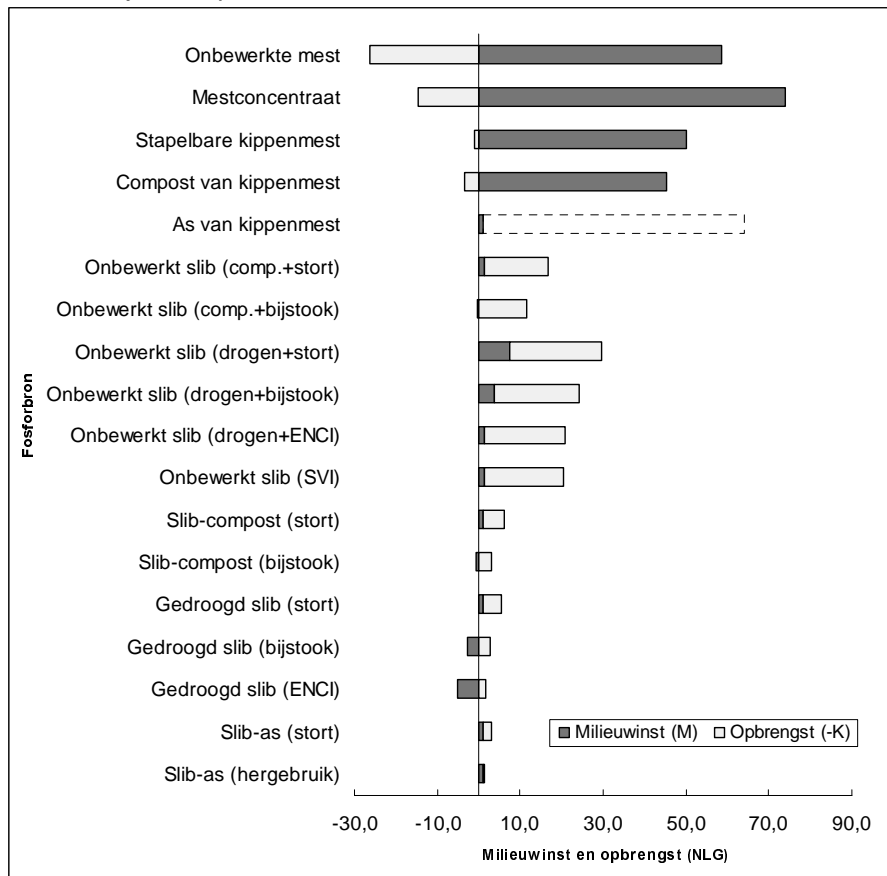
De inzet van slib(producten) levert een milieuwinst die vergelijkbaar is met de milieuwinst van kippenmest indien overbemesting buiten beschouwing wordt gelaten. Inzet van slibproducten in elektriciteitscentrales en bij de cementindustrie (ENCI) leidt in een aantal gevallen tot grotere milieuvordelen dan inzet bij Thermphos doordat op deze wijze brandstof wordt bespaard. In financieel opzicht lijkt de inzet van onbewerkt slib (per kg P) het meest aantrekkelijk (negatieve K, zie Tabel 14 en Figuur 6)¹⁶. Echter, zoals eerder is opgemerkt, dienen de kosten van productieaanpassing nog door Thermphos te worden bepaald. Hierdoor kan het financiële voordeel afnemen.

Inzet van mest en slib kan tezamen zo'n 36 kton fosfor voor Thermphos opleveren. Voor de potentie aan mest (28 kton P) is uitgegaan van bedrijfsoverschotten. Het landelijke mestoverschot bedraagt momenteel slechts 1,3 kton P. De verwachting is dat dit in de toekomst zal groeien tot ca 8 kton P. Dit is vergelijkbaar met de potentie aan slib. Naast mest en communaal slib

¹⁶ Vanwege de negatieve kosten is uitdrukking van de milieuwinst per kosteneenheid in de kosteneffectiviteit $KE = M / K$ op dit moment niet verhelderend. Wanneer de kosten voor procesaanpassing bekend zijn, zullen de totale kosten veelal positief uitvallen en is het hanteren van de kosteneffectiviteit zinvol.

zouden ook retourzuren van metaalbedrijven en industrieel slib als fosforbron bij Thermphos in aanmerking kunnen komen. Deze bronnen zijn echter niet in dit rapport beschouwd.

Figuur 6 Overzicht van de externe milieuwinst en opbrengsten (opbrengst = negatieve K), in NLG per kilogram P, voor de inzet van secundaire fosforbronnen bij Thermphos



7.3 Conclusies

Op grond van deze studie kunnen de volgende conclusies worden getrokken over de milieueffecten en kosten van inzet van secundaire fosforbronnen bij Thermphos:

- Voor het bepalen van de definitieve milieueffecten en kosten van inzet van secundaire fosforbronnen bij Thermphos dient rekening gehouden te worden met de milieueffecten en kosten van aanpassing van het productieproces en de technische haalbaarheid. Beide aspecten zijn in deze studie niet behandeld.
- Met de huidige gegevens is de grootste milieuwinst te boeken door inzet van mestconcentraat. De milieuwinst van inzet van de overige mestproducten neemt af volgens de volgorde:
 - a Onbewerkte mest.
 - b Stapelbare kippenmest.
 - c Compost van kippenmest.
 - d As van kippenmest.
- De inzet van onbewerkt slib is op grond van de huidige informatie financieel het meest gunstig.



Literatuur

Aquafin, 1999

Schriftelijke informatie van Aquafin nv, d.d. 3-5-1999.

Bentvelsen, 1999

Persoonlijke communicatie met Dhr. Bentvelsen, Hoogheemraadschap Delfland, Delft.

Bergsma, 1999

Persoonlijke communicatie met Dhr. Bergsma, CE, Delft.

CBS, 1996

Mest- en mineralenproductiefactoren 1995.

Uit: *Kwartaalbericht Milieustatistieken 96/4*.

Centraal Bureau voor de Statistiek

M.M. van Eerd.

CBS, 1997a

Fosfor in Nederland 1995.

Uit: *Kwartaalbericht Milieustatistieken 97/4*.

Centraal Bureau voor de Statistiek

P.K.N. Fong.

CBS, 1997b

Waterkwaliteitsbeheer Deel B; Zuivering van afvalwater, 1996.

Centraal Bureau voor de Statistiek

CBS, 1999

Milieucompendium 1999; Het milieu in cijfers.

Centraal Bureau voor de Statistiek en Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu

CE, 1996

De prijs van milieuvervuiling.

Centrum voor energiebesparing en schone technologie

A.N. Bleijenberg en M.D. Davidson.

Rapport. CE, Delft.

CE, 1997a

Schaduwrijzen Prioriteringsmethodiek voor Milieumaatregelen (SPM).

Centrum voor energiebesparing en schone technologie

R.C.N. Wit, H.J.W. Sas en M.D. Davidson.

Rapport. CE, Delft.

CE, 1997b

Milieukundige beoordeling van kleinschalige mestverwerkingstechnieken.

Centrum voor energiebesparing en schone technologie

R.C.N. Wit, G.J. de Weerd en H.J.W. Sas.

Rapport. CE, Delft.

CE, 1997c

Specific energy consumption and emissions of freight transport; a comparison between road, water, rail and air.

Centrum voor energiebesparing en schone technologie

W.J. Dijkstra en J.M.W. Dings.

Notitie. CE, Delft.

CE, 1997d

Appels, peren en milieumaatregelen; Afweging van milieumaatregelen op basis van kosteneffectiviteit.

Centrum voor energiebesparing en schone technologie

J.P. van Soest, H. Sas en G. de Wit.

Notitie. CE, Delft.

CE, 1999

Zonder titel

Centrum voor energiebesparing en schone technologie

H. Croezen.

Interne notitie. CE, Delft.

FIPR, 1998

FIPRfocus; Florida Institute of Phosphate Research Fall 1998 Newsletter.

Vol. 19, no. 1.

Toegang via <http://www.fipr.state.fl.us>.

Laven, 1999

Persoonlijke communicatie met Dhr. Laven, Thermphos

Munsters, 1999

Persoonlijke communicatie met Dhr. Munsters, DEP

PréConsult, 1999

SimaPro software.

TNO, 1996

Cold Box Feed Preparation Routes.

Ansems (TNO), Krajenbrink (TNO), Sas (CE) en Vroonhof (CE).

TNO, Apeldoorn.

Van Voorneburg, 1998

Fosfaatterugwinning uit dierlijke mest; inventarisatie van de mogelijkheden.

Van Ruiten Adviesbureau, Bussum.

F. van Voorneburg, L.H.A.M. van Ruiten, P.J.W. ten Have

VROM, 1993

Stoffen en Normen 1993-1994.

Ministerie van VROM, Den Haag.

VROM, 1994

Emissies in Nederland –1992; Trends, thema's en doelgroepen. Ramingen 1993.

Publikatiereeks Emissieregistratie. Nr 20, oktober 1994.

Ministerie van VROM, Den Haag.



CE

**Oplossingen voor
milieu, economie
en technologie**

Oude Delft 180
2611 HH Delft
tel: 015 2 150 150
fax: 015 2 150 151
e-mail: ce@ce.nl
website: www.ce.n

Fosforkringloop voor Thermphos

Onderzoek naar de milieuwinst en
de kosten bij inzet van alternatieve
fosforbronnen

Bijlagen

Delft, september 2000

Opgesteld door: B. Potjer
J.P.L. Vermeulen





A Basisgegevens

In deze bijlage wordt een overzicht gegeven van de basisgegevens die ten grondslag liggen aan de berekeningen van de milieueffecten en kosten van de inzet van erts, mestproducten en slibproducten als fosforbron bij Thermphos.

A.1 Schaduwprijzen

De essentie van de schaduwprijsmethodiek is dat de totale milieubelasting van de activiteiten waarmee een functie wordt vervuld, in één getal, een geldbedrag, is uit te drukken. Dit gebeurt door per milieuthema en voor alle bronnen gezamenlijk een zogenaamde kostenreductiecurve op te stellen, waarin is weergegeven hoeveel geld er is gemoeid met het terugdringen van een emissie. De kosten van de laatste nog net noodzakelijke maatregel om een om doelstelling te halen, de zogeheten marginale kosten, vormen de 'schaduwprijs' voor deze emissie (bij een bepaald doelniveau). Deze schaduwprijs weerspiegelt de kosten die de maatschappij er voor over heeft het betreffende milieudoel te bewerkstelligen [CE, 1997d]. De schaduwprijsmethodiek wordt uitgebreid toegelicht in CE [1997a].

A.1.1 Niet-toxische effecten

In Tabel 15 wordt een overzicht gegeven van de schaduwrijzen van de niet-toxische effecten van emissie van de voor dit onderzoek relevante stoffen naar het milieu.

Tabel 15 Schaduwprijzen van niet-toxische effecten van emissies naar het milieu

Stof	Schaduwprijs (NLG/kg)	Bron	Opmerkingen
CO ₂	0,1	CE [1997a]	
SO ₂	7,0	CE [1996]	
NO _x	10,0 (verzuring: 6,0 smog: 4,0)	CE [1996]	
P	30,0	CE [1997a]	
N	4,1	CE [1996]	
NH ₃	14,0	CE [1996]	
HC	10,0	CE [1996]	
HCl	6,6	CE [1996]	Berekend uit NH ₃

A.1.2 Toxische effecten

Bij de berekening van de schaduwrijzen van toxische stoffen wordt uitgegaan van de maximaal toelaatbare concentratie (MTC) van de stof in lucht (MTC in kg/m³) of water (MTC in kg/l). De MTC is gebaseerd op het maximaal toelaatbaar risico (MTR) van een stof.

De voor de schaduwprijs gehanteerde eenheid is de verspreidingsequivalent (Deq). Hierbij is aan 1 verspreidingsequivalent een schaduwprijs van 6×10^{-10}

NLG toegekend [CE, 1997a]. Het aantal verspreidingsequivalenten wordt berekend middels $Deq = (T \times F)/MTC$, waarbij T een dimensieloze correctiefactor is voor verval / afbraak / halfwaardetijd van de stof (zie VROM, [1994]) en F een correctiefactor voor de soortelijke massa van lucht ($F=1,273$) of water ($F=1$). In Tabel 16 wordt een overzicht gegeven van de schaduwrijzen van de toxische effecten van emissie van de voor dit onderzoek relevante stoffen naar lucht en water.

Tabel 16 Schaduwrijzen van toxische effecten van emissies naar lucht en water

Stof	T	MTC (kg Per l, m ³)	F	Deq	Schaduwrijzen (NLG/kg emissie)	bron:
<i>Luchtemissies</i>						
NO _x	8	1,35E-07	1,273	7,54E+07	0,05	VROM [1993]
CO	8	6,00E-06	1,273	1,70E+06	0,00	VROM [1993]
Fijn stof	8	4,00E-08	1,273	2,55E+08	0,15	VROM [1993]
HF	8	4,00E-10	1,273	2,55E+10	15,28	VROM [1994]
Dioxines (ng TEQ)	8	1,00E-15	1,273	1,02E+16	6.110.400,00	VROM [1994]
Benzo(a)pyreen	8	1,00E-12	1,273	1,02E+13	6.110,40	VROM [1994]
As	8	5,00E-10	1,273	2,04E+10	12,22	VROM [1994]
Cd	8	5,00E-10	1,273	2,04E+10	12,22	VROM [1994]
Co	8	1,00E-09	1,273	1,02E+10	6,11	VROM [1993]*
Cr	8	2,50E-12	1,273	4,07E+12	2.444,16	VROM [1994]
Cu	8	1,00E-08	1,273	1,02E+09	0,61	VROM [1994]
Hg	8	1,50E-10	1,273	6,79E+10	40,74	VROM [1994]
Mn	8	1,00E-08	1,273	1,02E+09	0,61	VROM [1993]*
Ni	8	1,00E-08	1,273	1,02E+09	0,61	VROM [1993]*
Pb	8	5,00E-10	1,273	2,04E+10	12,22	VROM [1994]
Sb	8	5,00E-09	1,273	2,04E+09	1,22	VROM [1994]
Se	8	1,00E-09	1,273	1,02E+10	6,11	VROM [1993]*
Sn	8	6,67E-08	1,273	1,53E+08	0,09	VROM [1993]*
Benzeen	8	1,00E-08	1,273	1,02E+09	0,61	VROM [1994]
Toluuen	1	3,00E-06	1,273	4,24E+05	2,55E-4	VROM [1994]
<i>Wateremissies</i>						
Kwik (water)	1000	3,00E-11	1	3,33E+13	20.000,00	VROM [1994]
Koper	1000	3,00E-09	1	3,33E+11	200,00	VROM [1994]
Cadmium	1000	2,00E-10	1	5,00E+12	3.000,00	VROM [1994]
Zink	1000	3,00E-08	1	3,33E+10	20,00	VROM [1994]
Fluor	35	1,50E-06	1	2,33E+07	0,01	VROM [1994]

* via MAC-verhouding met arseen

A.2 Bijdrage van stoffen aan milieuproblemen

Ter vereenvoudiging zijn de belangrijkste milieueffecten tengevolge van de emissie van de voor dit onderzoek relevante stoffen gerubriceerd aan de hand van de milieuproblemen broeikas effect, verzuring, vermesting, toxiciteit en smogvorming (zie Tabel 17).



Tabel 17 Belangrijkste bijdrage van stoffen aan milieuproblemen

Stof	Milieuprobleem
CO ₂	Broeikaseffect
SO ₂	Verzuring
NO _x	Verzuring, smogvorming
P	Vermesting
N	Vermesting
NH ₃	Verzuring
HC	Smogvorming
Overige stoffen	Toxisch

A.3 Energiekentallen

Bij de winning van fosfaaterts wordt dieselolie en elektriciteit gebruikt. Bij de inzet van alternatieve fosforbronnen wordt veelal elektriciteit gebruikt in de voorbereiding, maar ook kan het gebruik van elektriciteit (en ook aardgas) in de huidige toepassing en verwerking vermeden worden. De effecten van het (vermeden) gebruik op het milieu zijn bepaald op basis van de emissies die bij het gebruik plaatsvinden. In Tabel 18 worden deze emissies en de bijbehorende schaduwrijzen samengevat.

Tabel 18 Emissies en schaduwrijzen van elektriciteitsopwekking en verbranden van dieselolie en aardgas

Elektriciteitsopwekking (bron: PreConsult [1999])			
Stof	emissie kg/kWh	Schaduwprijs	
		NLG/kg	NLG/kWh
CO ₂	0,43920	0,10	0,04
SO ₂	0,00252	7,00	0,02
NO _x	0,00123	10,00	0,01
HC	0,00085	10,00	0,01
Totaal			0,08
Dieselolie verbranden (bron: PreConsult [1999])			
Stof	Emissie Kg/kg diesel	Schaduwprijs	
		NLG/kg	NLG/kg diesel
CO ₂	3,19	0,10	0,32
SO ₂	0,0021	7,00	0,02
NO _x	0,037	10,00	0,37
HC	0,005	10,00	0,05
Totaal			0,76
Aardgas verbranden (bron: PreConsult [1999])			
Stof	Emissie Kg/MJ	Schaduwprijs	
		NLG/kg	NLG/MJ
CO ₂	0,01946	0,10	0,00
NO _x	0,00190	10,00	0,02
Totaal			0,02

A.4 Transportkentallen

De emissies en bijbehorende schaduwrijzen bij het vervoer van fosfaaterts en alternatieve fosforbronnen per vrachtauto, trein of schip (bulkcarrier) worden (per tonkm) weergegeven in Tabel 19.

Tabel 19 Emissies en schaduwrijzen per tonkm van vervoer per vrachtauto, trein en bulkcarrier

Transportkentallen							
Vrachtwagen, 20 ton (bron:CE [1997c])				Vrachtwagen, 35 ton (bron:CE [1997c])			
Stof	Emissie	Schaduwrijzen		Stof	Emissie	Schaduwrijzen	
	Kg/tonkm	NLG/kg	NLG/tonkm		Kg/tonkm	NLG/kg	NLG/tonkm
CO ₂	0,20300	0,10	0,02	CO ₂	0,09860	0,10	0,01
NO _x	0,00226	10,00	0,02	NO _x	0,00120	10,00	0,01
SO ₂	0,00005	7,00	0,00	SO ₂	0,00003	7,00	0,00
HC	0,00010	10,00	0,00	HC	0,00005	10,00	0,00
Totaal			0,04	Totaal			0,02
Trein (bron: CE [1997c])				Bulkcarrier (bron: PreConsult [1999])			
Stof	Emissie	Schaduwrijzen		Stof	Emissie	Schaduwrijzen	
	kg/tonkm	NLG/kg	NLG/tonkm		Kg/tonkm	NLG/kg	NLG/tonkm
CO ₂	0,06160	0,10	0,01	CO ₂	0,02315	0,10	0,00
NO _x	0,00036	10,00	0,00	NO _x	0,00044	10,00	0,00
SO ₂	0,00004	7,00	0,00	SO ₂	0,00037	7,00	0,00
HC	0,00002	10,00	0,00	HC	0,00004	10,00	0,00
Totaal			0,01	Totaal			0,01

B Erts

B.1 Emissies

De emissies die vrijkomen bij het winnen van erts worden veroorzaakt door het gebruik van elektriciteit en het verstoken van dieselolie in pompen e.d. De emissies die vrijkomen bij het lokale vervoer van het erts vanaf de winplaats naar de haven, waar het erts wordt overgeladen in bulkcarriers voor transport naar Thermphos, zijn bij de winning van het erts meegerekend (Tabel 20 en Tabel 21).

Voor erts uit Florida (133.6 kg P/ton erts) is het totale elektriciteitsverbruik ingeschat op 250 kWh/ton erts. Dit is samengesteld uit 110,5 kWh voor het pompen van de erts-slurry [FIPR, 1998], 120 kWh voor het drogen van de erts [TNO, 1996] en 19,5 kWh voor overige pompen e.d.

Voor erts uit Kovdor (159.2 kg P/ton erts) is het totale elektriciteitsverbruik ingeschat op 150 kWh/ton erts (120 kWh voor het drogen van de erts en 30 kWh voor overige pompen e.d.). De basisgegevens betreffende de emissies bij het gebruik van elektriciteit, het verstoken van dieselolie en het transport per vrachtauto, trein en bulkcarrier staan vermeld in bijlage A.

Tabel 20 Emissies bij winning en transport van erts uit Florida

Florida	Gebruik per ton erts	Gebruik per kg P	Emissies t.g.v. gebruik (kg emissie per kg P)						
			CO ₂ (kg)	NO _x (kg)	SO ₂ (kg)	HC (kg)	NH ₃ (kg)	P (kg)	N (kg)
<i>Winning</i>									
D* (kg)	2,7	0,020	0,065	7,6E-4	4,0E-5	1,0E-4	0	0	0
E* (kWh)	250,0	1,871	0,822	0,002	0,005	0,002	0	0	0
Vr* (km)	21	0,157	0,032	3,6E-4	7,9E-6	1,6E-5	0	0	0
Tr* (km)	49	0,367	0,023	1,3E-4	1,5E-5	7,3E-6	0	0	0
<i>Transport</i>	Tonkm / ton erts	Tonkm / kg P	CO ₂ (kg)	NO _x (kg)	SO ₂ (kg)	HC (kg)	NH ₃ (kg)	P (kg)	N (kg)
Bc* (km)	16.960	126,9	2,938	0,056	0,047	0,005	0	0	0

* D : dieselolie; E : elektriciteit; Vr : 20-tons vrachtauto; Tr : trein; Bc : bulkcarrier (retourafstand)

Tabel 21 Emissies bij winning en transport van erts uit Kovdor

Kovdor	Gebruik per ton erts	Gebruik Per kg P	emissies t.g.v. gebruik (kg emissie per kg P)						
			CO ₂ (kg)	NO _x (kg)	SO ₂ (kg)	HC (kg)	NH ₃ (kg)	P (kg)	N (kg)
<i>Winning</i>									
D* (kg)	2,7	0,017	0,055	6,4E-4	3,6E-5	9,0E-5	0	0	0
E* (kWh)	150,0	0,942	0,414	0,001	0,002	8,0E-4	0	0	0
Vr* (km)	21	0,132	0,027	3,0E-4	6,6E-6	1,3E-5	0	0	0
Tr* (km)	49	0,308	0,019	1,1E-4	1,2E-5	6,2E-6	0	0	0
<i>Transport</i>	Ton.km/t on erts	ton.km/kg P	CO ₂ (kg)	NO _x (kg)	SO ₂ (kg)	HC (kg)	NH ₃ (kg)	P (kg)	N (kg)
Bc* (km)	5.850	36,75	0,851	0,016	0,014	0,001	0	0	0

* D : dieselolie; E : elektriciteit; Vr : 20-tons vrachtauto; Tr : trein; Bc : bulkcarrier (retourafstand)

B.2 Milieukosten (M)

De milieukosten worden uitgedrukt in geld (NLG). Hiertoe worden de emissies gewaardeerd middels schaduwrijzen (zie bijlage A). De kosten zijn gerubriceerd aan de hand van de milieuprobleemvelden broeikaseffect, verzuring, vermesting, toxiciteit en smogvorming (zie Tabel 17 in bijlage A) en staan vermeld in Tabel 22 en Tabel 23.

Tabel 22 Milieukosten van winning en transport van erts uit Florida

Florida	Broeikas (NLG/kg P)	verzuring (NLG/kg P)	Vermesting (NLG/kg P)	toxisch (NLG/kg P)	smog (NLG/kg P)	Totaal (NLG/kg P)
	Winning					
D*	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
E*	0,08	0,05	0,00	0,00	0,03	0,15
Vr*	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Tr*	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Totaal	0,09	0,05	0,00	0,00	0,03	0,18
	Transport					
Bc*	0,29	0,66	0,00	0,00	0,27	1,23
Totaal	0,3	0,7	0,0	0,0	0,3	1,23

* D : dieselolie; E : elektriciteit; Vr : 20-tons vrachtauto; Tr : trein; Bc : bulkcarrier (retourafstand)

Tabel 23 Milieukosten van winning en transport van erts uit Kovdor

Kovdor	Broeikas (NLG/kg P)	verzuring (NLG/kg P)	Vermesting (NLG/kg P)	Toxisch (NLG/kg P)	Smog (NLG/kg P)	Totaal (NLG/kg P)
Winning						
D*	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
E*	0,04	0,02	0,00	0,00	0,01	0,08
Vr*	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Tr*	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Totaal	0,05	0,03	0,00	0,00	0,02	0,10
Transport						
Bc*	0,09	0,19	0,00	0,00	0,08	0,36
Totaal	0,1	0,2	0,0	0,0	0,1	0,36

* D : dieselolie; E : elektriciteit; Vr : 20-tons vrachtauto; Tr : trein; Bc : bulkcarrier (retourafstand)

B.3 Kosten (K)

De kosten worden gevormd door de kostprijs van fosfaaterts, welke is samengesteld uit de kosten voor winning, transport en handling van het erts. In Tabel 24 staan deze kosten vermeld.

Tabel 24 Kosten van erts uit Florida en Kovdor

	Florida		Kovdor	
	NLG per ton erts	NLG per kg P	NLG per ton erts	NLG per kg P
Totaal	109,1	0,82	105,1	0,66



C Mestproducten

C.1 Fosforgehalte

Het fosfor gehalte (in kg P/ton product) van de verschillende mestproducten wordt vermeld in Tabel 25. Bij staldroging, compostering en verbranding van de kippenmest is ervan uitgegaan dat de hoeveelheid fosfor die aanwezig is in de mest gelijk blijft. Wel neemt de totale massa van het product af. Zo blijft er van 1.000 kg kippenmest (P-gehalte 3,5 kg/ton) na droging tot stapelbare kippenmest 400 kg (P-gehalte 8,75 kg/ton) over. Voor composteren is dit 275 kg (P-gehalte 12,73 kg/ton).

Tabel 25 Fosforgehalte van mest(producten) in kg P/ton product

Mestproduct	Fosforgehalte	Bron
Onbewerkte mest.	1,57*	CBS [1996]
Mestconcentraat	3,71	CE [1997b]
Stapelbare kippenmest	8,75	CE [1997b]
Compost van kippenmest	12,73	CE [1997b]
As van kippenmest	96,06	Van Voorneburg et al. [1998]

* gemiddelde van het fosforgehalte van vleesvarkens- en fokzeugenmest.

C.2 Emissies

De emissies die vrijkomen bij de huidige toepassing van mest(producten) staan vermeld in Tabel 26. De gegevens zijn ontleend aan CE [1997b]. Voor de verbrandingsas van kippenmest wordt er vanuit gegaan dat de emissies nihil zijn omdat deze as nuttig wordt toegepast als kunstmest en er hierbij dus geen overbemesting optreedt of verdere emissies plaatsvinden.

Tabel 26 Emissies bij de huidige verwerking en toepassing van mest(producten)

Mest	Huidige toepassing	Emissies t.g.v. toepassing (kg emissie per kg P)						
		CO ₂ (kg)	NO _x (kg)	SO ₂ (kg)	HC (kg)	NH ₃ (kg)	P (kg)	N (kg)
Onbewerkte mest.	Uitrijden	0,955	0,035	0,001	0	0,562	1,000	5,605
Mestconcentraat	Uitrijden	0,997	0,035	0,001	0	0,283	1,000	9,443
Stapelbare kippenmest	Uitrijden	1,057	0,037	0,001	0	0,343	1,000	3,429
Compost van kippenmest	Uitrijden	1,057	0,037	0,001		0,000	1,000	3,429
As van kippenmest	Kunstmest	0	0	0	0	0	0	0

C.3 Milieukosten (M)

De milieukosten zijn middels de schaduw prijzen berekend uit de bovenstaande emissies en worden in Tabel 27 gerubriceerd per milieuprobleemveld.

Tabel 27 Milieukosten van de huidige toepassing van mest(producten)

Mest	Broeikas	Verzuring	Vermes-ting	Toxisch	smog	Totaal
<i>Mestproduct</i>	(NLG/kg P)	(NLG/kg P)	(NLG/kg P)	(NLG/kg P)	(NLG/kg P)	(NLG/kg P)
Onbewerkte mest.	0,10	8,09	52,98	0,00	0,14	61,31
Mestconcentraat	0,10	4,18	68,72	0,00	0,14	73,14
Stapelbare kippenmest	0,11	5,03	44,06	0,00	0,15	49,34
Compost van kippenmest	0,11	0,23	44,06	0,00	0,15	44,54
As van kippenmest	0	0	0	0	0	0

C.4 Kosten (K)

De kosten van inzet van mestproducten bij Thermphos worden gevormd door de kosten van aanschaf op de huidige markt. Negatieve kosten betekenen dat de aanbieder betaalt voor afname van het mestproduct (zie Tabel 28).

Tabel 28 Kosten van inzet van mest(producten) bij Thermphos

<i>Mestsoort</i>	Per ton mest	Per kg P	Bron
Onbewerkte mest	-20,00	-12,74	Van Vorneburg [1998]
Mestconcentraat	2,50	0,67	CE [1997b]
Stapelbare kippenmest	-35,00	-4,00	Munsters [1999]
Compost van kippenmest	2,50	0,20	Geschat uit CE [1997b]
As van kippenmest		0,00	Bergsma [1999]

D Slibproducten

D.1 Fosforgehalte

Het fosfor gehalte (in kg P/ton product) van de verschillende slibproducten wordt vermeld in Tabel 29. Bij het verwerken van het ruwe slib gaat er geen fosfor verloren, wel neemt de totale massa af. Zo blijft er 6,37 kg P aanwezig bij het thermisch drogen van 1000 kg slib. Doordat er na drogen 250 kg product overblijft, neemt de fosforconcentratie toe tot $6,37 \times 1000/250 = 25,47$ kg P/ton.

Tabel 29 Fosforgehalte van slib(producten) in kg P/ton product

Slibproduct	Massa (kg)	Fosforgehalte (kg P/ton)	Bron
Slib	1000	6,37	Bentvelsen [1999]
Slibcompost	300	21,18	Berekend uit slib
Gedroogd slib	250	25,47	Berekend uit slib
Slib-as	90	70,40	Berekend uit slib

D.2 Emissies

De emissies die vrijkomen bij de huidige verwerking en toepassing van slib(producten) staan (per kg P) vermeld in Tabel 30.

Tabel 30 Emissies bij de huidige verwerking en toepassing van slib(producten)

Verwerkingspro- ces	Per kg P								
	Emissiebron		CO ₂ (kg)	NO _x (kg)	SO ₂ (kg)	HC (kg)	NH ₃ (kg)	P (kg)	N (kg)
Composteren van slib	Elektrici- teit	4,95 kWh	2,173	0,006	0,012	0,004			
Thermisch dro- gen van slib	Elektrici- teit	7,77 kWh	3,414	0,010	0,020	0,007			
	Aardgas	284,10 MJ	5,529	0,540					
	Proces						9,8E-6		
Verbranden van slib (SVI)	Proces			0,034	1,7E-4	0,001			
Bijstook van slibcompost	Elektrici- teit	-18,24 kWh	-8,012	-0,023	-0,046	-0,016			
	Proces			1,1E-5	0	3,4E-5			
Bijstook van gedroogd slib	Elektrici- teit	-53,09 kWh	- 23,319	-0,066	-0,134	-0,045			
	Proces			0,037	0,060	2,9E-4			
Inzet bij ENCI van gedroogd slib	Aardgas	-427,29 MJ	-8,316	-0,812					
	Proces			0,291	0,012	2,3E-4			
Hergebruik svi-as in wegebouw	Dieselolie	-0,006 kg	-0,018	-2,1E- 4	-1E-5				
	Elektrici- teit	-0,024 kWh	-0,010	-3E-5	-6E-5	-2E-5			

D.3 Milieukosten (M)

De milieukosten zijn via de schaduwrijzen berekend uit de bovenstaande emissies en worden in Tabel 31 gerubriceerd per milieuprobleemveld.

Tabel 31 Milieukosten van de huidige verwerking en toepassing van slib(producten)

Mest		Broeikas (NLG/kg P)	Verzuring (NLG/kg P)	Vermesting (NLG/kg P)	Toxisch (NLG/kg P)	Smog (NLG/kg P)	Totaal (NLG/kg P)
<i>Slibsoort</i>	Huidige verwerking						
Slib	Comp.+stort	0,22	0,12	0	0	0,07	0,41
Slib	Comp.+bijstook	-0,58	-0,33	0	0,00	-0,18	-1,09
Slib	Drogen+stort	0,89	3,43	0	0	2,26	6,59
Slib	Drogen+bijstook	-1,44	2,75	0	0,01	1,70	3,02
Slib	Drogen+ENCI	0,06	0,39	0	0,00	0,18	0,64
Slib	Verbranden (SVI)	0	0,21	0	0,04	0,15	0,39
Slib compost	Stort	0	0	0	0	0	0
Slib compost	Bijstook	-0,80	-0,46	0	0,00	-0,25	-1,50
Droog slib	Stort	0	0	0	0	0	0
Droog slib	Bijstook	-2,33	-0,69	0	0,01	-0,56	-3,57
Droog slib	ENCI	-0,83	-3,04	0	0,00	-2,08	-5,96
Slib-as	Stort	0	0	0	0	0	0
Slib-as	Hergebruik	-0,00	-0,00	0	0	-0,00	-0,01

D.4 Kosten (K)

De kosten die vermeden kunnen worden door inzet van de slibproducten bij Thermphos staan vermeld in Tabel 32.

Tabel 32 Kosten van de huidige verwerking en toepassing van slib(producten)

Mest		NLG/ton	NLG/kg P	NLG/ton	NLG/kg P
<i>Slibsoort</i>	Huidige verwerking				
Slib	Comp.+ stort	Comp:-100	Comp:-15,70	Stort:-150	Stort:-7,08
Slib	Comp.+ bijstook	Comp:-100	Comp:-15,70	Bijstook:-100	Bijstook:-4,72
Slib	Drogen+ stort	Drogen:-150	Drogen:-23,56	Stort:-150	Stort:-5,89
Slib	Drogen+ bijstook	Drogen:-150	Drogen:-23,56	Bijstook:-100	Bijstook:-3,93
Slib	Drogen+ ENCI	Drogen:-150	Drogen:-23,56	ENCI: -75	ENCI: -2,94
Slib	Verbranden (SVI)	-750*	-26,50		
Slib com-post	Stort	-150	-7,08		
Slib com-post	Bijstook	-100	-4,72		
Droog slib	Stort	-150	-5,89		
Droog slib	Bijstook	-100	-3,93		
Droog slib	ENCI	-75	-2,94		
Slib-as	Stort	-100	-1,42		
Slib-as	Hergebruik	15	0,20		

* 750 NLG per ton droge stof, gebaseerd op droge stof gehalte van 22,5 % en een P-gehalte van 28,3 kg P/ton d.s.