

# TEWI-benadering mestbewerking en -verwerking

eindrapport



opdrachtgever:  
NOVEM  
Postbus 8242  
3503 RE Utrecht

Grontmij Water & Reststoffen bv  
De Bilt, 13 november 2003 EvZ/WiBé

# Verantwoording

**Titel** : TEWI-benadering mestbewerking  
en -verwerking  
**Projectnummer** : 140984  
**Documentnummer** : W&R-99039678-EvZ/WiBé  
**Revisie** : eindconcept  
**Datum** : De Bilt, 13 november 2003

**Auteur(s)** : CE: drs. H.J. Croezen, ir. J.T.W. Vroonhof  
Grontmij: ir. J.A.G. Frijns, ir. E.H.M. van Zundert, ir.  
R.J.H.L. van Os, ir. A.J.F. Brinkmann  
IMAG: ir. R.W. Melse  
Sub-dep. Milieutechnologie: dr. ir. H.V.M. Hamelers,  
dr. A. H.M. Veeken  
**e-mail adres** : ruud.vanos@grontmij.nl  
**Gecontroleerd** : ir. R.J.H.L. van Os  
**Paraaf gecontroleerd** :  
**Goedgekeurd** : ir. A.J.F. Brinkmann  
**Paraaf goedgekeurd** :

# Inhoudsopgave

Samenvatting .....	1
1 Inleiding .....	5
1.1 Aanleiding.....	5
1.2 Doel van het onderzoek.....	5
1.3 Uitvoerenden .....	5
1.4 Leeswijzer .....	5
2 Achtergrond.....	7
2.1 Broeikasgasemissie en programma ROB (reductie overige broeikasgassen) .....	7
2.2 Agrarische sector.....	8
2.3 Mestbewerking en mestverwerking.....	9
3 Projectaanpak .....	11
3.1 Fasering .....	12
3.2 Fase 1: inventarisatie systemen en emissies .....	12
3.3 Fase 2: opstellen balansen en vaststellen overige emissiekentallen.....	13
3.4 Fase 3: TEWI-analyse .....	14
3.5 Fase 4: scenarioanalyse.....	16
4 Broeikasgasemissies bij mestverwerking .....	17
4.1 Basissystemen mestverwerking en gemeten emissie .....	17
4.2 Massabalans mestverwerking (fase 2a) .....	18
4.3 Overige emissies .....	26
5 TEWI-analyse mestverwerking.....	32
5.1 Aspecten TEWI-methode .....	32
5.2 Berekening emissie reductiepotentieel broeikasgassen .....	33
5.3 Het TEWI-formulier, achtergronden en uitleg.....	34
6 Scenarioanalyse.....	39
6.1 Achtergrond.....	39
6.2 Beschrijving voorkeursscenario's.....	39
6.3 Emissiefactoren bewerkingsstappen .....	47
7 Evaluatie .....	51
7.1 TEWI-methodiek .....	51
7.2 Validatie en hardheid getallen .....	52
7.3 Voorkeursscenario's .....	53
7.4 Mestverwerking.....	54
7.5 Marktpartijen.....	56
8 Conclusies en aanbevelingen.....	58
8.1 Beoordeling mestverwerkingsystemen .....	58
8.2 Integrale benadering be- en verwerkingstechnieken voor mest.....	59
8.3 Knelpunten en aanbevelingen.....	60
Referenties .....	62

## **Inhoud (vervolg)**

Bijlage 1  
Gemeten emissie gegevens

Bijlage 2  
Achtergrond mestverwerkingsmodel

Bijlage 3  
Beschrijving basistechnieken

Bijlage 4  
Uitgangspunten modellering broeikasgasemissie

Bijlage 5  
Karakterisatie Mesttypen

Bijlage 6  
Resultaten modelberekeningen

Bijlage 7  
Overige Emissiefactoren

# Samenvatting

## Inleiding en doel van het onderzoek

Aanleiding voor het onderzoek is dat in het verleden mestverwerkingstechnieken op diverse aspecten zijn beschreven en geprioriteerd, echter zonder rekening te houden met de emissie van lachgas en methaan. Omdat bij sommige technieken mogelijk sprake is van een afwentelingmechanisme, waarbij de techniek bijvoorbeeld op het ene gebied de milieubelasting reduceert terwijl de broeikasgasemissies stijgen, is het nuttig ook op dit gebied een prioritering aan te brengen.

Het hoofddoel van dit onderzoek is het opstellen van een berekeningsmethode voor het bepalen van het reductiepotentieel voor de emissie van broeikasgassen ten gevolge van de bewerking en verwerking van mest en de inzet van de hiertoe benodigde technieken. Hiertoe is een formulier ontwikkeld dat als separate bijlage is toegevoegd aan deze rapportage.

Daarnaast wordt, op basis van de ontwikkelde methodiek, voor een aantal kansrijk geachte behandelingsmethoden voor mest een analyse uitgevoerd naar het reductiepotentieel voor overige broeikasgassen. Op basis van deze waarden is een onderlinge ranking gegeven.

## Aanpak TEWI-benadering

### *Fase 1: inventarisatie van systemen en emissies*

In fase 1 zijn de basistechnieken geselecteerd, die in het vervolg van de studie gehanteerd zijn als bouwstenen voor het beschrijven van de mestverwerkingssystemen. Daarnaast zijn de in de praktijk gemeten emissies van broeikasgassen van deze technieken geïnventariseerd. Het resultaat van fase 1 is een overzicht van de relevante technieken met de hierbij behorende praktijkwaarden voor de emissies van broeikasgassen.

### *Fase 2: opstellen balansen en vaststellen overige emissiekentallen*

Het resultaat van fase 2 is een set van gekwantificeerde koolstof- en stikstofbalansen voor de geselecteerde basistechnieken, met de daarbij behorende kentallen voor de emissie van broeikasgassen. Daarnaast wordt een overzicht gegeven van de geïnventariseerde emissiekentallen voor de overige – niet procesgebonden – activiteiten, die van belang zijn bij de totale beoordeling van een compleet mestverwerkinginitiatief.

### *Fase 3: TEWI-analyse*

In deze fase van het project is een methode ontwikkeld voor het berekenen van de emissie van overige broeikasgassen ten gevolge van het behandelen van mest. Bij het formuleren van de methode is aangesloten bij de Richtlijnen voor TEWI-berekeningen in het kader van het Reductieplan Overige Broeikasgassen (ROB). De resultaten hebben geleid tot een TEWI-invulformulier dat als bijlage aan deze rapportage is toegevoegd.

Conform de gehanteerde systematiek is het emissiereductiepotentieel berekend van een specifiek initiatief ten opzichte van een referentiesituatie. In principe wordt het reductiepotentieel voor de emissie van broeikasgassen bepaald door de emissie van de huidige situatie (referentie) te vergelijken met de toekomstige situatie. Als referentie situatie is gekozen voor opslag van de betreffende mest gedurende 6 maanden gevolgd door aanwending op het land.

#### Fase 4: scenarioanalyse

In fase 4 wordt gebruikgemaakt van het opgestelde TEWI-benadering voor het doorrekenen van de meest kansrijk geachte verwerkingsystemen: scenario's.

#### Resultaten scenarioanalyse

Op basis van de gevonden emissies in praktijk en literatuur zijn de volgende basisprocessen behorende bij de voorkeursscenario's gedefinieerd.

**Tabel 1 Beschrijven biologische omzetting per basistechniek**

	opslag drijfmest	opslag vaste mest	scheiden/ drogen/ indampen	biologische stikstof verwijdering	vergisten	composteren	toevoegen/ binden	thermische verwerking
nitrificatie	-	+	-	+	+	-	-	-
denitrificatie	+	+	-	+	-	-	-	-
aërobe afbraak	-	+	-	-	-	+	-	-
anaërobe afbraak	+	+	-	-	+	-	-	-
stikstofmineralisatie	+	+	-	-	+	+	-	-

Door deze processen worden broeikasgassen gevormd en verandert de mest-samenstelling.

De resultaten van de scenarioanalyse zijn weergegeven in tabel 2 en 3 en hiervoor gelden de volgende aannames:

- opslag vooraf van twee weken, of lange opslag van 6 maanden bij de referentiesituatie;
- regionaal transport van 100 km;
- aanwending van het mestproduct op het land;
- vervanging of aanvulling met kunstmest bij respectievelijk productie of eliminatie van nutriënten;
- energiegebruik tijdens de verwerking en indien van toepassing energieproductie;
- chemicaliëngebruik van de techniek;
- er is onderscheid gemaakt tussen de behandeling van drijfmest en vaste mest.

**Tabel 2 Emissie voorkeursscenario's drijfmest**

type mest	emissiefactor [kg CO <sub>2</sub> -equivalenten per ton mest]				
	runderen	kalveren	varkens	zeugen	kippen
verwerkingstechniek					
opslag (ref)	153	46	234	135	410
vergisten	51	27	82	47	106
nitrificatie/denitrificatie	313	181	414	235	658
scheiden/ centrifugeren	156	48	237	138	410

Uit de analyse blijkt dat voor het verwerken van drijfmestsoorten vergisten de meest positieve effect heeft op de reductie van de (overige) broeikasgassen terwijl de route nitrificatie/ denitrificatie een negatief effect heeft op de emissie van broeikasgassen ten opzichte van de referentiesituatie.

Het positieve effect van vergisten op de totale broeikasgasemissie heeft met name te maken met het omzetten van methaan (met een GWP van 21) naar energie en CO<sub>2</sub>. De negatieve score van initiatieven op het gebied van nitrificatie en denitrificatie wordt vooral veroorzaakt door de additionele vorming van lachgas tijdens de omzettingsfasen.

**Tabel 3 Emissie voorkeursscenario's vaste mest**

type mest	emissiefactor [kg CO <sub>2</sub> -equivalenten per ton mest]		
	kippen (<50% d.s.)	kippen (> 50% d.s.)	vleeskippen
opslag (ref)	530	731	757
composteren (intensief)	58	102	103
drogen	651	574	615
verbranden roosteroven	-	- 151	- 166
verbranden wervelbedoven	-	854	866

Het verbranden van vaste mestsoorten (indien mogelijk) heeft het meest positieve effect op de reductie van broeikasgassen. Dit wordt met name veroorzaakt door de productie van energie. Hierbij wordt vermeld dat er bij de berekening van dit initiatief wordt verondersteld dat de verbranding plaatsvindt in een roosteroven, met een dermate hoge verbrandingstemperatuur dat er geen lachgas geproduceerd wordt. In geval dit plaatsvindt in een wervelbedoven moet rekening gehouden worden met de vorming van lachgas in de orde grootte van 4 – 20% van de totale stikstoflast door de oven wat een zeer negatieve impact heeft op de vorming van broeikasgassen.

### Conclusies en aanbevelingen

Het doel van dit onderzoek was het ontwikkelen van een TEWI-methode voor het berekenen van broeikasgasemissies en het bepalen van een onderlinge ranking van een aantal voorkeursscenario's voor mestverwerking. Ten aanzien van deze twee aspecten is het volgende geconcludeerd:

#### TEWI-methode

- Ten behoeve van de eenvoud zijn in het model een aantal vooraannames gedaan en sommige door te rekenen situaties veralgemeniseerd. Dit heeft een positief effect op de toegankelijkheid en eenduidigheid maar hiermee wordt een concessie gedaan aan de nauwkeurigheid van het model. Het model is derhalve uitermate geschikt om inzicht te krijgen in het emissiereductiepotentieel voor overige broeikasgassen voor een groot aantal mestbehandelingsinitiatieven. Het is echter niet geschikt om de specifieke emissie van een verwerkingsinitiatief te bepalen.
- Eén van de factoren die niet kan worden meegenomen in de theoretische beoordeling van de broeikasgassen is het effect van de bedrijfsvoering van de installatie. De uiteindelijke emissie van broeikasgassen kan in een belangrijke mate beïnvloed worden door de wijze waarop de installatie bedreven wordt (operationeel, onderhoud etc.). In het model is uitgegaan van een gemiddelde situatie maar initiatiefnemers kunnen hiervan afwijken indien afdoende onderbouwing gegeven wordt.

- De beschikbaarheid van praktijkmetingen van broeikasgassen voor een groot aantal technieken is beperkt en zeker niet eenduidig. De in de praktijkwaarden hebben derhalve een beperkte waarde. Validatie van de berekende waarden en daarmee het model heeft dus beperkt plaatsgevonden. Voor een verdere verbetering van de nauwkeurigheid van het model zouden aanvullende emissiemetingen noodzakelijk zijn.
- Om de gebruiksvriendelijkheid en gemak te bevorderen wordt aangeraden om het model en hieraan gekoppelde berekening, na bewezen toepasbaarheid, te digitaliseren en als softwareprogramma ter beschikking te stellen. Gezien de hoge herhalingsfactor in de deelberekeningen leent deze berekening zich namelijk uitermate goed om te worden gedigitaliseerd. Op deze wijze wordt de ontwikkelde berekeningsystematiek nog toegankelijker gemaakt voor de individuele initiatiefnemer.

#### Ranking van scenario's

- Bij de verwerking van drijfmest heeft vergisting de grootste reductie van broeikasgasemissies tot gevolg, biologische stikstofverwijdering zorgt voor de grootste emissie van broeikasgassen;
- Bij de behandeling van vaste mest heeft het verbranden van mest in een roosteroven ( $T > 1.000^{\circ}\text{C}$ ) de grootste reductie van broeikasgassen tot gevolg. Het verbranden van vaste mest in een wervelbedoven, met een doorgaans lagere verbrandingstemperatuur ( $850^{\circ}\text{C}$ ), heeft weer een negatieve impact op de emissie van broeikasgassen. De gekozen referentiesituatie heeft overigens ook een aanzienlijke broeikasgasemissie tot gevolg.
- Er is aangetoond dat in zijn algemeenheid gesteld mag worden dat de procesemissies die plaats vinden bij opslag en verwerking, evenals de emissies ten gevolge van aanwending bepalend zijn voor de uiteindelijke emissie van broeikasgassen. Daarnaast geldt dat, in die gevallen waar veel energie geproduceerd wordt dit significant kan zijn. Het transport lijkt geen significante bijdrage te leveren aan de emissie van broeikasgassen.



# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

In dit rapport is het onderzoek beschreven naar de emissies van broeikasgasen die optreden bij de bewerking en verwerking van mest. Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van Novem in het kader van het Reductieplan Overige Broeikasgassen (ROB), een instrument om de emissies van overige broeikasgassen te reduceren.

Aanleiding voor het onderzoek is dat in het verleden mestverwerkingstechnieken op diverse aspecten zijn beschreven en geprioriteerd, echter zonder rekening te houden met de emissie van lachgas en methaan. Omdat bij sommige technieken mogelijk sprake is van een afwentelingmechanisme, waarbij de techniek bijvoorbeeld op het ene gebied de milieubelasting reduceert terwijl de broeikasgasemissies stijgen, is het nuttig ook op dit gebied een prioritering aan te brengen.

## 1.2 Doel van het onderzoek

Het hoofddoel van dit onderzoek is het opstellen van een berekeningsmethode voor het bepalen van het reductiepotentieel voor de emissie van broeikasgassen ten gevolge van de bewerking en verwerking van mest en de inzet van de hiertoe benodigde technieken. Hierbij dient aangesloten te worden bij de zogenaamde TEWI-systematiek (Total Equivalent Warming Impact), een gestandaardiseerde methode voor het berekenen van de emissiereductie van broeikasgassen over de levenscyclus van een project.

Daarnaast wordt, op basis van de ontwikkelde methodiek, voor een aantal kansrijk geachte behandelingsmethoden voor mest een analyse uitgevoerd naar het reductiepotentieel voor overige broeikasgassen. Op basis van deze waarden is een onderlinge ranking gegeven waarmee een indicatie wordt gegeven van het reductiepotentieel voor de emissie van (overige) broeikasgassen van de geanalyseerde technieken.

Dit onderzoek heeft geleid tot een TEWI-invulformulier dat als separate document aan deze studie is toegevoegd en een ranking ten aanzien van de emissie van broeikasgassen van de meest gangbare mestverwerkingstechnieken.

## 1.3 Uitvoerenden

Het projectmanagement van dit onderzoek was in handen van Grontmij, Water & Reststoffen, te De Bilt. Grontmij werd hierbij geassisteerd door de overige consortiumleden bestaande uit:

- CE Delft;
- het Instituut voor Milieu- en Agritechniek (IMAG);
- Sub-departement Milieutechnologie, Wageningen Universiteit en Researchcentrum (WUR).

## 1.4 Leeswijzer

De achtergrond van dit onderzoek is weergegeven in hoofdstuk 2 van dit rapport. De gevolgde aanpak is beschreven in hoofdstuk 3.

In hoofdstuk 4 zijn de resultaten weergegeven van de geïnventariseerde en berekende emissies van broeikasgassen ten gevolge van de behandeling van mest en is een overzicht gegeven van de relevante emissiekentallen.

Deze gegevens zijn gebruikt in hoofdstuk 5 waarin de berekeningsmethode conform de TEWI-systematiek is uitgewerkt en toegelicht.

In hoofdstuk 6 vindt de beoordeling plaats van een aantal relevante scenario's voor de behandeling van mest. Hoofdstuk 7 betreft een discussie omtrent de bewerking en verwerking van mest en de hieraan gerelateerde emissie van broeikasgassen en het rapport wordt afgesloten met een hoofdstuk conclusies en aanbevelingen.

Als separate bijlage is een TEWI-in Vulformulier toegevoegd.

## 2 Achtergrond

### 2.1 Broeikasgasemissie en programma ROB (reductie overige broeikasgasen)

De temperatuur van de aardse atmosfeer wordt bepaald door de natuurlijke aanwezigheid van gasen die transparant zijn voor de invallende zonnestraling, maar de straling van het opgewarmde aardoppervlak absorberen. De voornaamste van deze natuurlijke broeikasgassen zijn waterdamp, koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) en methaan (CH<sub>4</sub>) (zonder het natuurlijke broeikaseffect zou de temperatuur op aarde gemiddeld 33°C lager zijn dan nu het geval is).

Menselijke activiteiten zoals verbranding van fossiele brandstoffen, industriële productie, ontbossing, landbouw en veeteelt veroorzaken verhoogde emissies van bijkomende broeikasgassen, voornamelijk koolstofdioxide, methaan, lachgas, CFK's en ozon. Deze broeikasgassen accumuleren in de atmosfeer en beïnvloeden het broeikaseffect en zorgen daarmee voor een stijging van de gemiddelde temperatuur op aarde.

Op de klimaatconferentie in Kyoto heeft Nederland zich gecommitteerd aan een reductiedoelstelling van 6% broeikasgassen ten opzichte van 1990 uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-equivalenten. Dit komt overeen met een reductie van broeikasgassen met circa 50 Mton CO<sub>2</sub>-eq in de periode 2008-2012. Het kabinet heeft bepaald dat circa 8 Mton daarvan in Nederland met een reductie van *overige* broeikasgassen (dus: broeikasgassen anders dan CO<sub>2</sub>) moet worden bereikt (NOVEM, 2003).

*CO<sub>2</sub>-equivalenten: het klimaateffect van een gewichtseenheid CO<sub>2</sub> op een tijdschaal van 100 jaar. Het effect van 1 kilogram methaan (CH<sub>4</sub>) en lachgas (N<sub>2</sub>O) is op deze tijdschaal respectievelijk 21 en 310 maal groter dan het effect van 1 kilogram CO<sub>2</sub>. De Global Warming Potential (GWP) van methaan en lachgas is dan 21 resp. 310.*

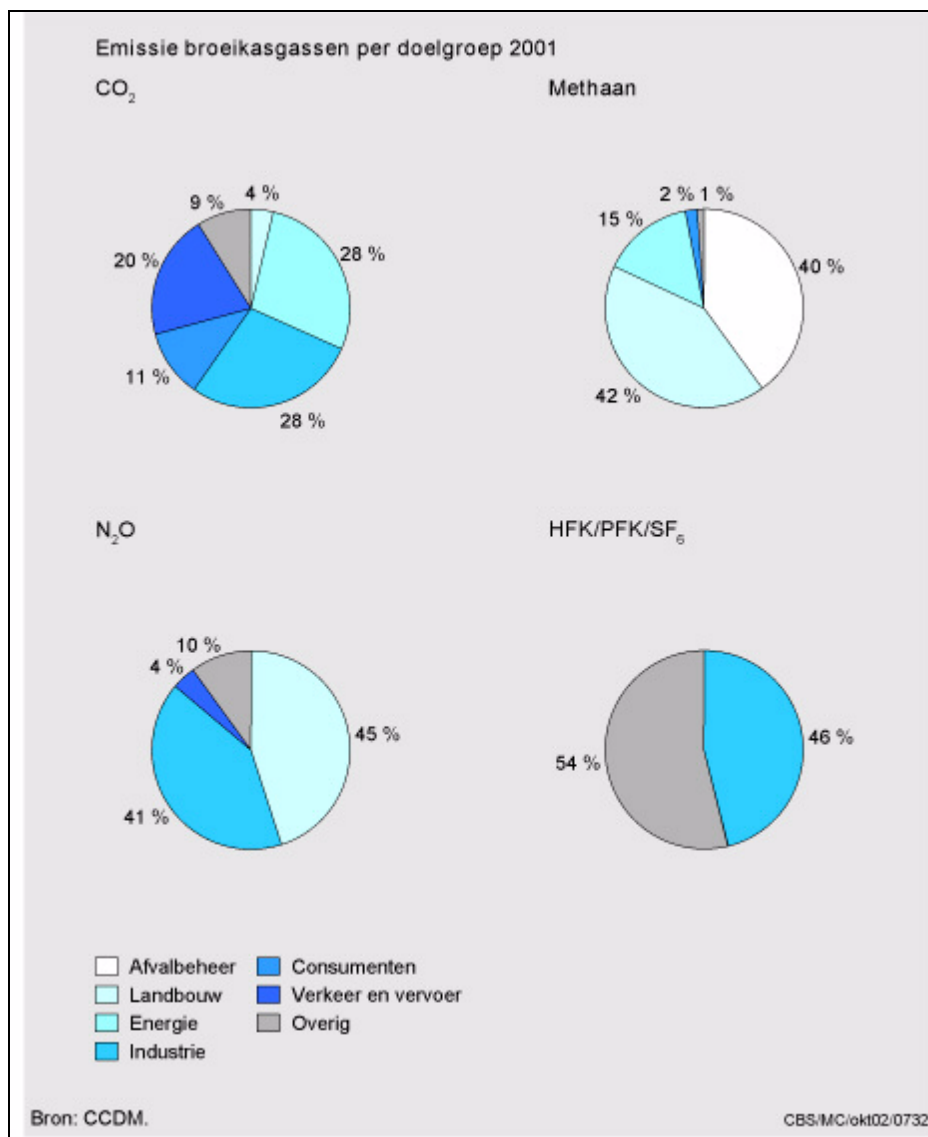
Als één van de instrumenten om de doelstelling te realiseren, is het Reductieplan Overige Broeikasgassen (ROB) opgesteld. Het ROB is een meerjarig programma dat loopt van 1999 tot 2012. Hierbij worden verschillende fasen onderscheiden:

- initiatief en inventarisatie, benaderen van betrokken partijen en het uitstippelen van een vervolgtraject;
- research, development & demonstratie, het zoeken van (technische) oplossingen voor de geconstateerde problemen. Het ROB kan geschikte, kansrijke projecten subsidiëren;
- implementatie, het realiseren van daadwerkelijke emissiereductie. Dit kan worden bereikt door fiscale maatregelen, het vastleggen van convenanten met brancheorganisatie en wetgeving.

Een subsidieaanvraag in het ROB wordt onder andere beoordeeld op het totale reductiepotentieel voor Nederland. Het reductiepotentieel van het voorgestelde project dient volgens het zogenaamde TEWI-concept (Total Equivalent Warming Impact) te worden berekend. Met TEWI kan een inschatting worden gemaakt van de totale emissiereductie van broeikasgassen over de levenscyclus van het project. Er wordt rekening gehouden met verandering in directe emissies van (niet -CO<sub>2</sub>) broeikasgassen én met verandering in indirecte emissies van broeikasgassen ten gevolge van verandering in energiegebruik of materiaalgebruik.

### 2.2 Agrarische sector

De agrarische sector in Nederland produceert directe emissies van kooldioxide (CO<sub>2</sub>), methaan (GWP 21) en lachgas (GWP 310) in de orde van 23 Mton CO<sub>2</sub>-equivalenten per jaar (RIVM, 2001). De relatieve bijdrage van de agrarische sector aan de daadwerkelijke CO<sub>2</sub>-emissie is gering (circa 4%), maar de bijdrage aan de overige broeikasgassen methaan en lachgas is relatief hoog (40-45%). Een overzicht van de relatieve bijdrage aan de emissie van broeikasgassen per doelgroep is gegeven in Figuur 2-1.



Figuur 2-1 Emissie van broeikasgassen per doelgroep (RIVM Milieucompendium 2001)

Ruim 80% van de door de landbouw geproduceerde *kooldioxide* komt voornamelijk vrij ten gevolge van de verbranding van fossiele brandstoffen in de glastuinbouw. De overige 20% is afkomstig van diverse niet nader gespecificeerde activiteiten.

De door de landbouw geproduceerde *methaan* komt voornamelijk vrij als spijsverteringsgas bij herkauwers (80%). De overige 20% komt met name vrij bij de mestopslag (circa 2 Mton CO<sub>2</sub>-eq; CBS 1997) en in mindere mate bij de aanwending van dierlijke mest.

Beweiding en toepassing van mest en kunstmest veroorzaken emissies van *lachgas* (N<sub>2</sub>O) vanuit de bodem naar de lucht. Ook stal en mestopslag dragen voor een klein deel bij aan de N<sub>2</sub>O-uitstoot.

Indirect draagt de landbouw bij aan de emissie van broeikasgassen door het grootschalige gebruik van krachtvoer en kunstmest, energieverbruik en door het agrarisch gerelateerde transport.

In Tabel 2-1 wordt een overzicht gegeven van de door RIVM berekende broeikasgasemissies door de landbouwsector in het jaar 2000.

**Tabel 2-1 Broeikasgasemissies door de landbouwsector in het jaar 2000**  
(bron: RIVM, 2001/2002)

		Kton	Mton CO <sub>2</sub> -eq
Kooldioxide (CO <sub>2</sub> )		6.900	6,9
Methaan (CH <sub>4</sub> )		410	8,6
Waaronder:	mestopslag	89	1,8
	overig (waaronder fermentatie)	321	6,8
Di-stikstofoxide (N <sub>2</sub> O)		24,4	7,6
Waaronder:	stal en mestopslag	0,63	0,2
	mestaanwending	9,73	3,0
	kunstmestgebruik	6,45	2,0
	overig	7,53	2,4
<b>Totaal</b>			<b>23,1</b>

CO<sub>2</sub>-equivalenten: het klimaat-effect van een gewichtseenheid CO<sub>2</sub> op een tijdschaal van 100 jaar. Het effect van 1 kilogram methaan (CH<sub>4</sub>) en lachgas (N<sub>2</sub>O) is op deze tijdschaal respectievelijk 21 en 310 maal groter dan het effect van 1 kilogram CO<sub>2</sub>.

### 2.3 Mestbewerking en mestverwerking

Een manier om de emissie van broeikasgassen uit mest te beïnvloeden is door de behandeling van mest alvorens deze wordt ingezet als meststof. Er zijn mestverwerkingstechnieken die de emissie van broeikasgassen uit mest kunnen vergroten, maar ook technieken die de emissie kunnen beperken.

*Ten behoeve van dit onderzoek wordt een definitie voor mestbewerking en mestverwerking gehanteerd die analoog is aan de definitie in de Richtlijn mestverwerkingsinstallaties en luidt als volgt:*

**Mestverwerking** wordt gedefinieerd als de toepassing van basistechnieken of combinaties daarvan met als doel de aard, samenstelling of hoedanigheid van dierlijke mest te wijzigen zoals: scheiding, bezinking, toevoeging van additieven, vergisting, beluchting, droging, compostering, indamping, vergassing en verbranding.

**Mestbewerking** wordt gedefinieerd als behandeling van mest zonder noemenswaardige veranderingen aan het product teweeg te brengen zoals mengen, roeren, homogeniseren en verwijderen van mestvreemde materialen. Ten behoeve van de eenvoud van formuleren in dit rapport wordt de bewerking en verwerking van mest samengevat met de term: "behandeling van mest".

Mestverwerking is in sterke mate gerelateerd aan de bestrijding van de overbemesting. De bestrijding van de overbemesting vormt al lange tijd een wezenlijk onderdeel van het landbouwbeleid in Nederland.

In het najaar van 1999 heeft de tweede kamer ingestemd met een integrale aanpak van deze mestproblematiek. Belangrijke onderdelen van die aanpak zijn een systematiek van mestafzetcontracten en een versnelde aanscherping van de MINAS-eindnormen. MINAS (Mineralen Aangifte Systeem) is een mineralenboekhouding waarmee de mineralenstromen (fosfaat en stikstof) op een bedrijf in beeld worden gebracht. Wie meer mineralen heeft aangevoerd dan afgevoerd moet een heffing betalen over het teveel aan mineralen. Het beoogde effect is dat boeren streven naar een dusdanige mineralenbalans dat er geen heffingen betaald hoeven te worden waardoor er geen mestoverschotten en overbemesting ontstaat.

Daarnaast bestaat de kans dat de door Nederland aangehouden stikstofnorm voor het opbrengen van 250 kg N/ha grasland door de EU wordt verlaagd naar een stikstofbelasting 170 kg N/ha grasland.

Door deze regelingen veranderen de toepassingsmogelijkheden van (onbewerkte) mest in de akkerbouw, zowel kwalitatief als kwantitatief. Dit vergroot de behoefte in de agrarische sector om naar oplossingen te zoeken voor deze mestproblematiek.

Eén van die mogelijkheden is het toepassen van de behandeling van mest alvorens dit naar zijn eindbestemming gebracht wordt. Hierdoor kan het mineralenverbruik beter worden afgestemd op gewas en bodembehoefte en kunnen de afzetmogelijkheden voor de mest worden verruimd. In het kader van de mestproblematiek zijn de voordelen van mestbehandeling onder meer:

- verbetering van de benutbaarheid van nutriënten;
- verminderde uitstoot van ammoniak en stank;
- betere acceptatie van het product door de akkerbouw.

Additionele voordelen van de behandeling van mest zijn:

- de productie van duurzame energie (vergisten, vergassen, verbranden)
- het inbouwen van een hygiënisatiestap (vergisten, drogen, extensief composteren), waardoor ziektekiemen worden afgedood, en de mest op brede schaal toegepast kan worden.

Bij de opslag, transport en toepassing op land van (on)bewerkte mest, alsmede bij mestbe-/verwerkingsprocessen zelf, komen emissies vrij. In het verleden is beleidsmatig de aandacht met name uitgegaan naar die emissies die verzurende of vermestende effecten tot gevolg hebben, voornamelijk ammoniak en fosfaatverbindingen. Hierdoor is het in theorie mogelijk dat er technieken bestaan die weliswaar tot een vermindering kunnen leiden van verzurende of vermestende emissies maar een toename tot gevolg hebben van de broeikasgasemissies. Dit mechanisme, dat algemeen wordt aangeduid als afwenteling, maakt een integrale beschouwing van de emissies ten gevolge van de behandeling van mest noodzakelijk, om tot een objectieve afweging van het milieurendement te komen.

In het onderhavige onderzoek wordt een methodiek ontwikkeld voor het berekenen van de emissies van overige broeikassen voor een breed scala aan initiatieven voor mestbehandeling. Daarnaast wordt deze methodiek gebruikt om de emissie van een aantal gangbare initiatieven te bepalen en resultaten onderling met elkaar te vergelijken.

### 3 Projectaanpak

Onder de definitie van mestverwerking valt een groot scala aan installaties, die onderling onder meer verschillen in:

- toegepaste technieken, uitvoeringsvorm van de technieken, en de wijze waarop de technieken onderling zijn gekoppeld of verweven (systemen);
- de schaalgrootte, variërend van kleine installaties op boerderijniveau tot centraal opgestelde installaties met verwerkingscapaciteiten van 100.000 ton mest/jaar en meer;
- de samenstelling van de inputstromen. Hierbij kan grofweg onderscheid worden gemaakt tussen dierlijke mest en eventueel andere organische residuen. Binnen deze beide hoofdstromen is een brede variëteit aan deelstromen te onderscheiden, met verschillende karakteristieken.

Deze verschillen geven in theorie een oneindig aantal mogelijke combinaties, die allen in emissies van overige broeikasgassen zullen variëren. Het toepassen van een TEWI-benadering voor al deze combinaties afzonderlijk, is derhalve onmogelijk. Daarnaast is van een beperkt aantal typen mestverwerkingsinstallaties iets bekend omtrent de emissie van broeikasgassen.

Bij het ontwikkelen van een methode voor het berekenen van de broeikasgasemissie is derhalve rekening gehouden met de volgende randvoorwaarden:

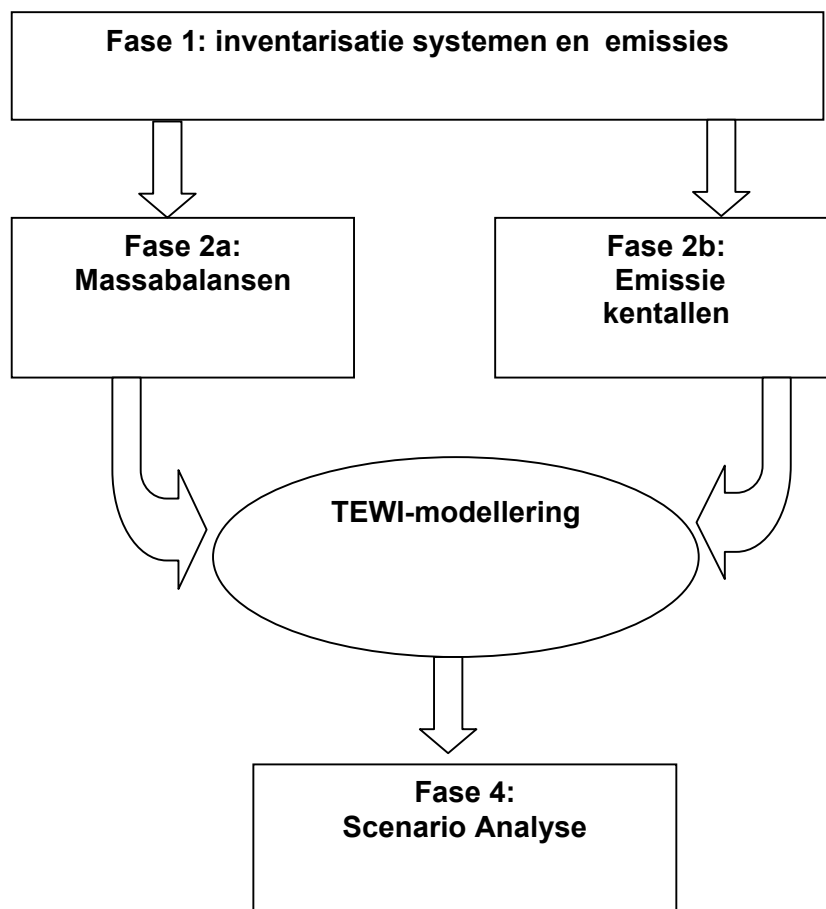
- de methode dient voldoende houvast te bieden om een TEWI-beoordeling van de diverse technieken mogelijk te maken
- de methode moet voor een breed scala aan initiatieven geldig zijn
- de berekening moet eenvoudig zijn, zonder dat een diepgaand technisch-inhoudelijke kennis vereist is van de gebruiker van de methode
- de berekening moet gebaseerd zijn op algemeen beschikbare gegevens; er dient ten behoeve van de analyse geen additionele metingen of onderzoeken uitgevoerd te worden

Uitgaande van de gestelde randvoorwaarden is bij de ontwikkeling van de methode aangesloten bij de bestaande TEWI-systematiek. Verder is er voor gekozen om de emissie ten gevolge van de technieken te baseren op een massabalans voor koolstof en stikstof. Uit deze balansen kunnen de emissies van de voor mestverwerking relevante broeikasgassen (methaan en lachgas) op een eenvoudige manier worden afgeleid.

De details van de gekozen benadering evenals de resultaten van dit onderzoek worden in hoofdstuk 4 en 5 nader toegelicht. Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de gehanteerde aanpak van het onderzoek.

### 3.1 Fasering

Ten behoeve van dit onderzoek zijn de activiteiten opgedeeld in een viertal fasen. De activiteiten en hun onderlinge interactie zijn in Figuur 3-1 schematisch weergegeven en worden in het vervolg van dit hoofdstuk nader toegelicht.



Figuur 3-1 Projectaanpak

### 3.2 Fase 1: inventarisatie systemen en emissies

In fase 1 zijn de basistechnieken geselecteerd, die in het vervolg van de studie dienen als bouwstenen voor het beschrijven van de mestverwerkingsystemen. Daarnaast zijn de in de praktijk gemeten emissies van broeikasgassen van deze technieken geïnventariseerd.

Het resultaat van fase 1 is een overzicht van de relevante technieken met de hierbij behorende praktijkwaarden voor de emissies van broeikasgassen.

#### Keuze systemen

Mestverwerkingsystemen zijn, conform de definitie voor mestverwerking, onderverdeeld naar een aantal gestandaardiseerde deelbewerkingen (basistechnieken). Een mestverwerkingsysteem is derhalve een logische koppeling van een aantal relevante basistechnieken.



*Voorbeelden van basistechnieken zijn een mechanische mestscheider, een composteertunnel en een verbrandingsketel.*

*Voorbeeld van een mestverwerkingsysteem is een installatie waarin drijfmest door middel van een mestscheider wordt verdeeld in een dunne en een dikke fractie, waarin de dikke fractie vervolgens op biologische wijze wordt gedroogd in een composteertunnel, waarna de gedroogde fractie wordt verbrand in een ketel.*

Ten behoeve van dit onderzoek is elke basistechniek weer onderverdeeld naar een aantal basisprocessen (zie fase 2a). Een basisproces is een omzettingstap die van invloed is op de samenstelling van de behandelde mest en daardoor op de emissie van broeikasgassen (een gedetailleerde beschrijving van de gehanteerde systematiek is gegeven in hoofdstuk 4).

Binnen de gehanteerde systematiek geldt dus dat een mestverwerkingsysteem wordt beschreven door een combinatie van basistechnieken. De principekeuze voor basistechnieken is derhalve gebaseerd op een inventarisatie van gangbare mestverwerkingsystemen in binnen- en buitenland. Bij de selectie van relevante mestverwerkingsystemen is gekeken naar de ingeschatte invloed op de emissie van broeikasgassen, het marktpotentieel en de toepasbaarheid in de sector.

De geselecteerde basistechnieken worden representatief geacht voor een groot deel van de geïnventariseerde verwerkingssystemen. Indien dit incidenteel niet het geval is dan zal door de gebruiker van de methodiek moeten worden afgewogen of de emissie berekend kan worden door een geringe aanpassing van de beschikbare gegevens of dat er een nieuwe basistechniek gedefinieerd dient te worden.

### **Emissiegegevens**

Om de emissie van broeikasgassen te kwantificeren zijn gegevens verzameld uit studies en metingen (met name uitgevoerd onder verantwoordelijkheid van het IMAG). Hierbij is gebruik gemaakt van rapporten waarin verslag wordt gedaan van metingen van broeikasgassen aan verschillende behandelingsystemen en opslag van mest.

Ook zijn emissiekentallen verkregen door middel van literatuurstudie en het benaderen van bedrijfsvoerders van mestverwerkinginstallaties. Hier zijn ook bedrijven bij betrokken die in het verleden de TEWI-benadering hebben gebruikt voor het aanvragen van subsidie voor een mestverwerkingproject.

De resultaten zijn, waar mogelijk, gebruikt voor het valideren van de massabalansen in fase 2 van dit onderzoek. Om een indicatie te krijgen van de betrouwbaarheid en daarmee toepasbaarheid van deze praktijkwaarden is nagegaan wat de spreiding is van de gemeten waarden.

### **3.3 Fase 2: opstellen balansen en vaststellen overige emissiekentallen**

Om een indruk te krijgen van de emissie van broeikasgassen ten gevolge van het behandelen van mest is een onderscheid gemaakt naar de emissie ten gevolge van de toegepaste technieken en hiermee samenhangende processen (procesemissies) enerzijds en de emissie ten gevolge van de overige noodzakelijke activiteiten anderzijds.

Het resultaat van fase 2 is een set van gekwantificeerde koolstof- en stikstofbalansen voor de geselecteerde basistechnieken, met de daarbij behorende kentallen voor de emissie van broeikasgassen. Daarnaast wordt een overzicht gegeven van de geïnventariseerde emissiekentallen voor de overige – niet procesgebonden – activiteiten, die van belang zijn bij de totale beoordeling van een compleet mestverwerkinginitiatief.

### **Procesemissies (fase 2a)**

In deze fase zijn voor de geselecteerde basistechnieken stikstof- en koolstofbalansen opgesteld waarmee vervolgens de emissie van broeikasgassen berekend is. Hiertoe is per basistechniek is een selectie gemaakt van de relevante omzettingsprocessen bestaande uit:

- aërobe afbraak (organische stof naar CO<sub>2</sub>);
- anaërobe afbraak (organische stof naar CH<sub>4</sub> en CO<sub>2</sub>);
- nitrificatie (stikstofomzettingen met vorming van N<sub>2</sub>O);
- denitrificatie (stikstofomzetting met vorming van N<sub>2</sub>O);
- stikstofmineralisatie (organische stikstof wordt minerale stikstof).

Opgemerkt wordt dat de nauwkeurigheid van de balansen en de hieruit berekende emissiekentallen in sterke mate afhankelijk is van de ‘hardheid’ van de gehanteerde uitgangspunten. De berekening is gebaseerd op aannames waarbij zo veel mogelijk gebruik is gemaakt van in de praktijk gerapporteerde en geverifieerde waarden. In de evaluatie van het project wordt ingegaan op de ‘hardheid’ en de daaraan gekoppelde nauwkeurigheid van de gegenereerde emissiekentallen.

De invloed van de omzettingsprocessen op de balansen en emissies van broeikasgassen is in hoofdstuk 4 nader toegelicht.

### **Emissies ten gevolge van overige activiteiten (fase 2b)**

Naast het kwantificeren van de procesemissies is er een analyse gemaakt van de overige relevante emissiekentallen die noodzakelijk zijn voor het opstellen van een TEWI-analyse, zoals de emissie ten gevolge van het gebruik van hulpstoffen en energie, emissie ten gevolge van transport, emissie door extra aanwending of vervanging van kunstmest et cetera.

De specifieke kentallen ter bepaling van de broeikasgasemissies voor de productie (chemicaliën, energie), toepassing (transport) of aanwending (organische mest, kunstmest) zijn afgeleid uit de in de literatuur gevonden waarden en waar mogelijk omgerekend naar indirecte broeikasgasemissie (bijvoorbeeld CO<sub>2</sub>-uitstoot bij de productie van 1 kWh elektrische energie uit fossiele brandstof).

Hierbij wordt opgemerkt dat bij het vaststellen van de hiervoor genoemde kentallen zoveel mogelijk wordt aangesloten bij bestaande consensus.

## **3.4 Fase 3: TEWI-analyse**

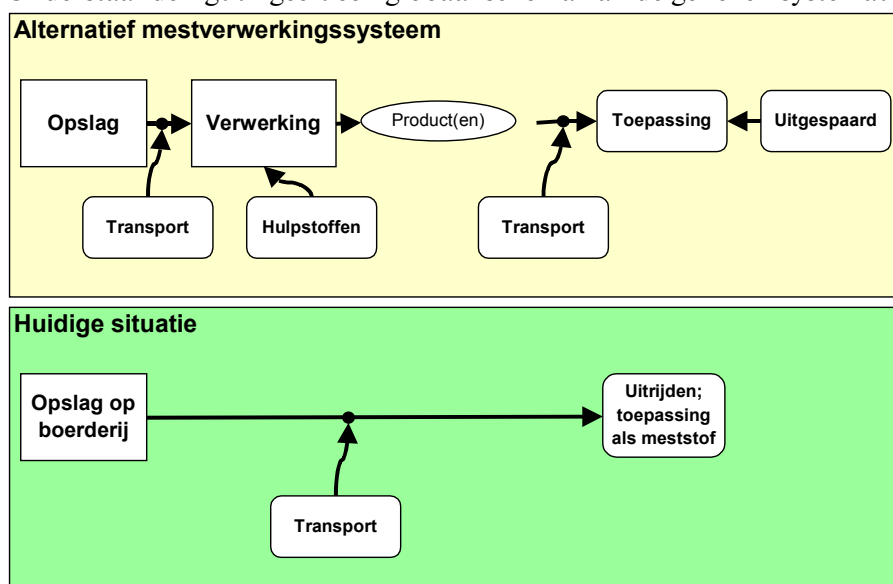
In deze fase van het project is een methode ontwikkeld voor het berekenen van de emissie van overige broeikasgassen ten gevolge van het behandelen van mest. Hierbij is gebruik gemaakt van de resultaten uit voorgaande fasen. Bij het formuleren van deze methode is aangesloten bij de Richtlijnen voor TEWI-berekeningen in het kader van het Reductieplan Overige Broeikasgassen (ROB).

Conform de gehanteerde systematiek dient het emissiereductiepotentieel van een specifiek initiatief berekend te worden ten opzichte van een referentiesituatie.

In dit onderzoek is er voor gekozen om de referentiesituatie vooraf te definiëren terwijl het initiatief door de gebruiker wordt gedefinieerd. Door de resultaten van het initiatief te vergelijken met de referentiesituatie wordt zichtbaar gemaakt wat de netto invloed is op de emissie van broeikasgassen. Als referentiesituatie is in deze studie gekozen voor de momenteel algemeen gangbaar geachte manier om een bepaalde mestsoort te verwerken, namelijk het opslaan van mest gedurende een periode van circa 6 maanden, gevolgd door het uitrijden van de mest op het land.

De analyseresultaten worden uitgedrukt als de totale - directe en indirecte - netto broeikasgasemissie van een bepaald proces per ton mest, uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-equivalenten.

Onderstaande figuur geeft een globaal schema van de gekozen systematiek.



Figuur 3-2 Mestverwerkingsystemen

De directe emissies betreffen de emissies, die optreden tijdens de behandeling van de mest en de verwerking van producten/reststromen.

De indirecte emissies betreffen de emissies die (elders) optreden of gereduceerd worden bij de productie van toeslagstoffen, materiaal en energie, die nodig zijn om het bewerkings-/verwerkingsproces te kunnen uitvoeren.

*Wanneer ten gevolge van een verwerkingsproces elektriciteit wordt geproduceerd (inzet van methaan als energiebron), hoeft die energie niet meer uit bijvoorbeeld een fossiele energiebron te worden opgewekt. Het positieve effect op de emissie van broeikasgassen ten gevolge van dit initiatief wordt dan berekend met behulp van algemeen gangbare emissiekentallen omtrent de productie van elektriciteit (0,67 kg CO<sub>2</sub>-equivalenten per kWh) en vermenigvuldigd met de totale hoeveelheid elektriciteit dat wordt geproduceerd.*

Indirecte emissies betreffen ook emissies als gevolg van de bouw van bijvoorbeeld de verwerkingsinstallatie. Deze emissies zijn laag in vergelijking met de emissies van het proces en stoffen die voor het proces nodig zijn. Hiervan wordt melding gemaakt in de studie 'Mestvergisting op boerderijschaal in bestaande opslagsystemen' (Tijmensens *et al.*, 2002).

De bouw van kelders, silo's en dergelijke, geeft een extra emissie van broeikasgassen, die kleiner is dan 1% van de broeikasgassen die bij het proces vrijkomen. De emissies ten gevolge van deze activiteiten zijn in het onderzoek en de modellering derhalve buiten beschouwing gelaten.

Het resultaat van fase 3 is, conform de TEWI-systematiek een methode voor de berekening van de het reductiepotentieel voor overige broeikasgassen voor een groot aantal mestverwerkingsinitiatieven. Dit heeft geresulteerd in een invulformulier (TEWI-formulier), opgesteld om de emissie op een eenvoudige wijze te berekenen. Dit formulier is als separate bijlage toegevoegd.

### **3.5 Fase 4: scenarioanalyse**

In fase 4 wordt gebruikgemaakt van het opgestelde TEWI-benadering voor het doorrekenen van de meest kansrijk geachte verwerkingsystemen: scenario's. De systemen zijn samengesteld vanuit logische combinaties (bestaand, perspectiefvol), en vanuit mogelijk te verwachten maatregelen. Mogelijk te nemen maatregelen zijn de maatregelen (beleidsmatig, technisch) met een hoog perspectief op verwezenlijking. Theoretische benaderingen van scenario's en de resultaten zijn waar mogelijk ondersteund met voorbeelden.

De verkregen scenario's zijn vervolgens met elkaar vergeleken met als belangrijkste criteria de emissies van broeikasgassen, getotaliseerd tot het aantal CO<sub>2</sub>-equivalenten. Hierbij is een vergelijking gemaakt tussen de netto emissie van broeikasgassen van de onderling verschillende mestverwerkingsysteem minus de emissie ten gevolge van de referentiesituatie.

## 4 Broeikasgasemissies bij mestverwerking

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de activiteiten die in fase 1 en fase 2 van dit onderzoek zijn uitgevoerd. Het betreft een selectie van de basistechnieken en de hierbij behorende emissies die in de praktijk gemeten zijn (fase 1). Daarnaast wordt een overzicht gegeven van de procesemissies die middels een modelmatige benadering berekend zijn (fase 2a). Tevens wordt een overzicht gegeven van de emissiekentallen voor de overige (niet procesgebonden) activiteiten (fase 2b).

### 4.1 Basissystemen mestverwerking en gemeten emissie

#### 4.1.1 Selectie basistechnieken

Op basis van de beschreven aanpak in hoofdstuk 3 zijn de volgende basistechnieken geselecteerd

- *opslag*: opslag van mest in een kelder of silo;
- *scheiden*: het scheiden van mest in een dikke fractie en dunne (waterige) fractie;
- *drogen*: het verwijderen van water uit de mest waardoor een dikkere mestfractie ontstaat;
- *biologische stikstofverwijdering*: in de mest aanwezige (minerale) stikstof wordt door biologische omzettingsprocessen verwijderd;
- *vergisten*: gecontroleerde opslag waarbij anaërobe omzetting plaatsvindt van de biologisch afbreekbare koolstof fractie en er biogas wordt geproduceerd;
- *composteren*: bij composteren vinden diverse biologische omzettingsprocessen plaats waarbij een onderscheid gemaakt wordt tussen extensief (ondermaat lucht) en intensieve (overmaat lucht) compostering;
- *thermisch verwerken*: verbranden of vergassen van mest;
- *toevoegen/binden*: toevoegen van toeslagstoffen om de samenstelling van de mest te veranderen

Een uitgebreide beschrijving van de relevante aspecten van deze technieken wordt gegeven in Bijlage 3 en 4.

De hierboven beschreven basistechnieken zijn de modelsystemen waaraan het verder onderzoek ter beoordeling van de broeikasgassen gerelateerd is. De uiteindelijke selectie is gebaseerd op een inschatting van de algemene toepasbaarheid, marktpotentieel en effect op de emissie van broeikasgassen.

#### 4.1.2 Gemeten emissies van broeikasgassen

In fase 1 zijn de gemeten emissies van broeikasgassen geïnventariseerd. In bijlage 1 wordt een algemeen overzicht gegeven van de gemeten emissies van de basistechnieken en labexperimenten. In de volgende tabel 4-1 zijn de emissies samengevat die bepaald zijn bij praktijk installaties.

**Tabel 4-1** Overzicht praktijkwaarden mestverwerkingsinstallaties, voor extra emissiewaarden onder labcondities zie bijlage 1.

omschrijving	mestsoort	metingen	
		CH <sub>4</sub> (g/ton mest)	N <sub>2</sub> O (g/ton mest)
opslag (lang = 6 maanden)	varkensdrijfmest	2,5 – 73 <sup>(4)</sup> 2100 <sup>(3)</sup>	n.b.
idem	runderdrijfmest	5,6 – 73 <sup>(4)</sup> 42 <sup>(6)</sup> 1500 <sup>(5)</sup>	0 - 50 <sup>(6)</sup>
vergisting	"onbekend"	2,4-3,0% van totale CH <sub>4</sub> productie <sup>(8)</sup>	n.b.
scheiden	varkensdrijfmest	349 – 620 <sup>(1)</sup>	0 - 6,3 <sup>(1)</sup>
nitrificatie/denitrificatie	varkensdrijfmest	6 - 21 <sup>(2)</sup> 31 <sup>(7)</sup>	0,005 - 881 <sup>(2)</sup> 323 <sup>(7)</sup>
composteren (extensief)	pluimveemest	n.b.	0 - 3,5 <sup>(9)</sup>
composteren (intensief)	pluimveemest	n.b.	n.b.
verbranden	pluimveemest	n.b.	n.b.

*n.b.* = geen praktijkinstallaties beschikbaar, wel labwaarden, zie Bijlage 1

<sup>(1)</sup> Systeem Dirven (Melse et al., 2002a). <sup>(2)</sup> Systeem Biovink (Melse, et al., 2002b). <sup>(3)</sup> Berekend uit Husted, 1994 (DS is 2%). <sup>(4)</sup> Berekend uit Phillips et al., 1997. <sup>(5)</sup> Berekend uit Husted, 1994 (DS is 6,5%). <sup>(6)</sup> Berekend uit Sommer et al., 2000 (DS is 6,2 - 7,6%).

<sup>(7)</sup> Systeem Biotower (Gijssels et al., 2001b) <sup>(8)</sup> Berekend uit Cumby et al., 2000; Sommer et al., 2001. <sup>(9)</sup> Berekend op basis van Tenuta, 2000, aannemend dat emissieduur 3 maanden bedraagt.

Een analyse van de meetgegevens zoals deze zijn weergegeven in bijlage 1 en samengevat in tabel 4-1 levert de volgende conclusie op:

- er is een beperkt aantal gegevens beschikbaar voor opslag, composteren en nitrificatie/ denitrificatie van mest. Daarnaast zijn een aantal gegevens beschikbaar voor de combinatie van een aantal basistechnieken;
- de methaanemissie ten gevolge van opslag evenals de emissie van lachgas ten gevolge van nitrificatie gevolgd door denitrificatie is significant;
- de geconstateerde emissie van methaan van vergisting wordt naar alle waarschijnlijkheid veroorzaakt door lekverliezen;
- tussen de diverse metingen aan (schijnbaar) identieke mestverwerkingsystemen wordt een grote spreiding geconstateerd. De oorzaak van deze spreiding is niet eenduidig maar moet gezocht worden in een aantal factoren:
  - behandeling van mest met een onderling verschillende samenstelling;
  - verschillen in uitvoering van in naam identieke systemen;
  - verschil in bedrijfsvoering;
  - verschillende procesparameters.

Door het beperkte aantal gegevens en de grote spreiding hierin zijn deze waarden niet bruikbaar om de gemodelleerde en berekende emissies van broeikasgassen in fase 3 van dit onderzoek te valideren. Wel kunnen de gegevens gebruikt worden ter bepaling van de grootte orde van de theoretisch berekende waarden. Daarnaast doen ze tevens dienst als indicatie van de emissie van een specifiek verwerkingssysteem.

In hoofdstuk 7 wordt nader ingegaan op de toepasbaarheid van de gevonden meetwaarden.

#### 4.2 Massabalans mestverwerking (fase 2a)

Ten behoeve van de TEWI-analyse is er voor gekozen om de procesemissies te bepalen aan de hand van een modelmatige benadering.

Deze modelmatige benadering is in analogie met de methodologie van Barton *et. al.* (1996) uitgevoerd. Barton *et. al.* (1996) hebben een methode beschreven voor de inventarisatie van milieubelasting (milieu-impact) van afvalverwerkingsystemen. Het vernieuwende aspect in de aanpak van Barton is het definiëren van zogenaamde unit operations (UO) onafhankelijk van de aard van de input. De milieubelasting van iedere bewerkingseenheid of UO wordt onderverdeeld in:

- belastingen onafhankelijk van de samenstelling van de ingaande stroom;
- belastingen afhankelijk van de samenstelling van de ingaande stroom.

Een UO is een verzameling van basisprocessen en vormt daarmee de grondslag voor het definiëren van een basistechniek. De beschrijving van de processen in unit operations geeft de mogelijkheid om elke mestverwerkinginstallatie met behulp van de basistechnieken te definiëren.

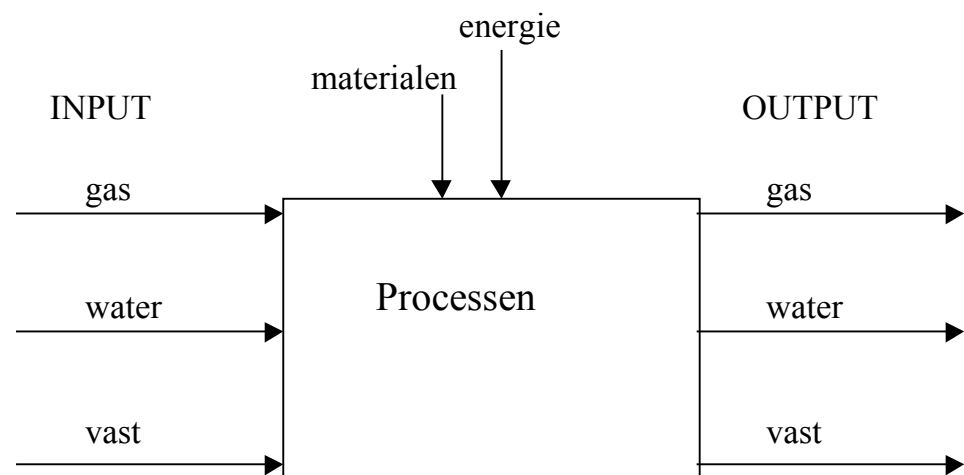
Een gedetailleerde uitleg van de gehanteerde aanpak is weergegeven in bijlage 2 van dit rapport. In de volgende (sub)paragrafen wordt een samenvatting gegeven van deze aanpak en gehanteerde aannames.

#### 4.2.1 Beschrijving methode

De broeikasgasemissies worden bepaald uit de massabalansen voor koolstof en stikstof. Koolstof en stikstof zijn als basis voor de balansen gekozen, omdat dit de elementen zijn waaruit relevante broeikasgasemissies, respectievelijk methaan en lachgas, ontstaan. Kooldioxide uit organische mest telt overigens niet als broeikasgas, omdat het deel uitmaakt van de korte CO<sub>2</sub>-kringloop.

Ter bepaling van de procesgebonden emissies zijn in deze fase van het onderzoek de volgende stappen genomen:

- kwalitatieve beschrijving van koolstof- en stikstofbalansen; beschrijving van de relevante processen (basisprocessen);
- vaststellen en kwantificeren van de benodigde parameters, gebruikmakend van algemene milieutechnologische kennis met betrekking tot de beschreven processen;
- opstellen van balansen en berekenen van de hieraan gerelateerde emissie van broeikasgassen.



Figuur 4-1 Schematische weergave van een basistechniek

In Figuur 4-1 is het balansmodel schematisch weergegeven voor een specifieke basistechniek. De input wordt bepaald door mest die afkomstig is uit de opslag dan wel een product- of reststroom afkomstig van een andere (voorgeschakelde) basistechniek. Daarnaast worden er toeslagstoffen en energie toegevoegd om de gewenste processen te laten verlopen. De output wordt bepaald door de input en de conversieprocessen die zich afspelen in de basistechniek.

Uit de schematische weergave blijkt dat voor het opstellen van de N- en C-balansen en de hieruit af te leiden broeikasgasemissies de volgende gegevens noodzakelijk zijn:

- samenstelling mest;
- definitie van de basisprocessen die zich in de techniek afspelen;
- conversiefactoren voor stikstof (N) naar lachgas (N<sub>2</sub>O);
- conversiefactoren voor koolstof (C) naar methaan (CH<sub>4</sub>);
- verdeling van vluchtige componenten over lucht- en waterfase.

#### 4.2.2 Basisprocessen

Voor de geselecteerde basissystemen is een analyse gemaakt van de bijbehorende relevante basisprocessen. Dit heeft geleid tot de combinatie van basistechnieken met basisprocessen zoals is weergegeven in tabel 4-2.

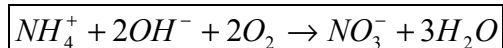
**Tabel 4-2 Beschrijven biologische omzetting per basistechniek**

	opslag drijfmest	opslag vaste mest	scheiden/ drogen/ indampen	biologische stikstof verwijde-	vergisten	compos- ten	toevoegen/ binden	thermische verwerking
nitrificatie	-	+	-	+	+	-	-	-
denitrificatie	+	+	-	+	-	-	-	-
aërobe afbraak	-	+	-	-	-	+	-	-
anaërobe afbraak	+	+	-	-	+	-	-	-
stikstofmineralisatie	+	+	-	-	+	+	-	-

Een beschrijving van de relevante processen en de hierbij behorende parameters ter bepaling van de emissie van broeikasgassen is onderstaand weergegeven. Een meer gedetailleerd overzicht is weergegeven in bijlage 3 en 4.

#### ***Nitrificatie***

Nitrificatie vindt plaats wanneer er zuurstof aan de mest wordt toegevoegd. De minerale stikstof (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) in mest wordt omgezet naar nitraat volgens de algemene reactievergelijking:



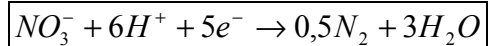
Hieruit volgt dat bij nitrificatie de omzetting van 1 gr NH<sub>4</sub>-N ook 1 gr NO<sub>3</sub>-N oplevert.

Bij één van de tussenstappen naar NO<sub>3</sub><sup>-</sup> kan N<sub>2</sub>O gevormd worden (Otte, 2000) dat nauwelijks oplosbaar is in water en derhalve snel naar de gasfase verdwijnt. In het algemeen is het aandeel van N<sub>2</sub>O-vorming bij nitrificatie vrij laag (Davidson en Swank, 1986). Ten behoeve van deze studie is aangenomen dat 1% van de minerale stikstof wordt omgezet naar N<sub>2</sub>O



**Denitrificatie**

Wanneer er na nitrificatie geen beluchting meer plaatsvindt gaat de omzetting naar stikstofgas als volgt:

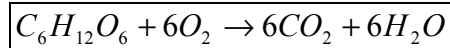


Hieruit blijkt dat de denitrificatie van 1 mol  $NO_3$ -N dan 0,5 mol  $N_2$  geeft.

Bij één van de tussenstappen wordt  $N_2O$  gevormd (Otte, 2000). In het algemeen is het aandeel van  $N_2O$ -vorming bij nitrificatie vrij laag, maar bij denitrificatie kan het aandeel aanzienlijk zijn (Davidson en Swank, 1986). Ten behoeve van deze studie is aangenomen dat 10% van de  $NO_3$  wordt omgezet naar  $N_2O$ .

**Aërobe afbraak**

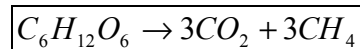
De samenstelling van organische stof kan benaderd worden door de molecuulformule  $C_6H_{12}O_6$ . Aërobe afbraak kan dan beschreven worden volgens:



De  $CO_2$  gevormd uit mest maakt deel uit van de korte  $CO_2$  kringloop en hoeft daardoor niet meegenomen te worden bij de beoordeling.

**Anaërobe afbraak**

Wanneer organische stof wordt benaderd volgens bovenstaande formule kan de anaërobe afbraak beschreven worden als:



Bij anaërobe omzetting zijn de volume verhoudingen van  $CO_2$  en  $CH_4$  dus 50%  $CH_4$  tegen 50%  $CO_2$ . Op gewichtsbasis wordt er dan uit organische stof ( $C_6H_{12}O_6$ ) circa 27% omgezet tot  $CH_4$ . In de praktijk worden vaak hogere volume percentages  $CH_4$  gevonden dan 50%. Dit komt doordat een deel van de gevormde  $CO_2$  in oplossing gaat in de mest. Hierdoor stijgt het aandeel  $CH_4$  in het gevormde biogas.

**Stikstofmineralisatie**

Ten gevolge van stikstofmineralisatie wordt organisch gebonden stikstof omgezet naar minerale stikstof ( $NH_4$ ) door aërobe of anaërobe afbraak van de organische stof. Hierdoor stijgt de concentratie aan minerale stikstof in de behandelde mest.

**4.2.3 Samenstelling; selectie mestsoorten**

Ten behoeve van de systematiek zijn acht typen mest geselecteerd waaraan een standaard samenstelling is gekoppeld. De samenstelling van de mest is gebaseerd op gegevens van het CBS uit 2001. Deze gegevens zijn gebaseerd op een groot aantal meetwaarden en is representatief voor de Nederlandse situatie. De gedefinieerde 8 typen mest, die worden gebruikt in deze studie, zijn representatief voor circa 60 - 70% van de totale vrijkomende mest in Nederland (peildatum 2001, CBS). Er is gekozen voor deze benadering vanwege de eenvoud bij het vaststellen van de mestsamenstelling, de gebruiker hoeft geen eigen data in te voeren.

Daarnaast bevordert een dergelijke aanpak de betrouwbaarheid en reproduceerbaarheid van de resultaten omdat de ruimte voor eigen interpretatie ten aanzien van de mestsamenstelling nu wordt uitgesloten.

De gedefinieerde mestsoorten en de hierbij behorende samenstelling staan beschreven in bijlage 5.

#### 4.2.4 Biologische afbreekbaarheid en stikstofmineralisatie

In de eerder genoemde publicatie van het CBS (CBS, 2001) worden de volgende gegevens over de samenstelling van mest gerapporteerd:

- drogestof gehalte;
- gehalte organische stof;
- gehalte N-totaal;
- gehalte aan minerale stikstof (NH<sub>4</sub>);
- gehalte aan nutriënten (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O).

Hiervan is het gehalte aan droge stof, organisch stof, N-totaal en minerale stikstof relevant voor deze studie. Ten behoeve van de studie is het van belang om naast het gehalte aan organische stof en N-totaal ook een indicatie te hebben van de biologische afbreekbaarheid van organisch stof (**BOS**) en organisch stikstof (**BON**). Deze wordt niet gerapporteerd en hiervoor zijn aannames gemaakt.

De afbreekbare organische fractie is afhankelijk van het type mest, omdat de voederconversie voor iedere soort dier anders is. Pluimvee converteert het minste voer gevolgd door varkens terwijl runderen de hoogste voederconversie hebben.

Een inschatting van de biologische afbreekbaarheid van organische stof is per mestsoort in Tabel 4-3 weergegeven.

**Tabel 4-3** *Biologische afbreekbaarheid*

mestsoort	dier	biologische afbreekbaarheid (%) Haug (1993) <sup>1</sup>	stikstof mineralisatie (%)
drijfmest	runderen	30	30
	kalveren	30	30
	vleesvarkens	50	50
	zeugen	50	50
	kippen	70	70
vaste mest	kippen (%DS<50)	70	70
	kippen (%DS>50)	70	70
	vleeskuikens	70	70

Er wordt aangenomen dat de stikstofmineralisatie analoog is aan de afbraak van het organische stofgehalte. Dit betekent dat de stikstof die eerst gebonden is aan organische stof vrijkomt als ammonium bij afbraak van deze organische stof. Hierbij wordt aangenomen dat de hoeveelheid stikstof die gebruikt wordt voor celmateriaal verwaarloosbaar is.

Verder is aangenomen dat de minerale stikstof in de ingaande mest volledig bestaat uit ammonium; nitraat is te verwaarlozen. Dit komt doordat er geen nitraat in urine of feces aanwezig is.

#### 4.2.5 Omzettingen en conversiefactoren van de basisprocessen

In Tabel 4-4 zijn de omzettings- en conversiefactoren gerapporteerd per basistechniek en de hieraan gerelateerde basisprocessen. Deze factoren worden gehanteerd bij het berekenen van de massabalansen en de hieraan gerelateerde broeikasgasemissie van methaan en lachgas. De gegevens zijn gebaseerd op bestaande kennis omtrent omzettingsprocessen en de hierbij behorende conversiefactoren en inschattingen op basis van praktijkvoorbeelden. Een beschrijving van de achtergrond en gehanteerde aannames die geleid hebben tot deze factoren wordt verder gedetailleerd in bijlage 4 van deze rapportage.

**Tabel 4-4 Omzettingen bij verwerkingsunits**

techniek	Nitrificatie	denitrificatie	aërobe afbraak	anaërobe afbraak	stikstof-mineralisatie	chemische oxidatie
opslag - kort	-	-	-	5% van BOS <sup>#</sup> 27% CH <sub>4</sub>	5% van BON <sup>§</sup>	-
opslag - lang (referentiesituatie)	-	-	-	95% van BOS 27% CH <sub>4</sub>	95% van BON	-
vergisten	-	-	-	95% van BOS 27% CH <sub>4</sub>	95% van BON	-
scheiding/drogen/indampen	-	-	-	-	-	-
biologische stikstofverwijdering, nitrificatie	95% van NH <sub>4</sub> 99% NO <sub>3</sub> , 1% N <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-
biologische stikstofverwijdering, denitrificatie	-	95% van NO <sub>3</sub> 90% N <sub>2</sub> , 10% N <sub>2</sub> O	-	-	-	-
extensief composteren (=opslag vaste mest)	95% van NH <sub>4</sub> 99% NO <sub>3</sub> , 1% N <sub>2</sub> O	95% van NO <sub>3</sub> 90% N <sub>2</sub> , 10% N <sub>2</sub> O	90% van BOS	5% van BOS 27% CH <sub>4</sub>	95% van BON	-
intensief composteren (=biologisch drogen)	-	-	95% van BOS	-	95% van BON	-
toevoegen/binden	-	-	-	-	-	-
thermische verwerking	-	-	-	-	-	100% OS 100% N-totaal 0 / 11% N <sub>2</sub> O

BOS= Biologische afbreekbaar deel van de organische stof (zie tabel 4-3) BON = biologisch afbreekbaar deel van de organische stikstof

#### 4.2.5.1 Emissie bij opslag

##### **Drijfmest**

Zoals in Tabel 4-2 is te zien, vinden bij opslag van drijfmest de volgende processen plaats:

- denitrificatie;
- anaërobe afbraak;
- stikstofmineralisatie;

Bij drijfmest wordt de emissie van methaan uit mestopslag berekend op grond van de maximale methaanproductie (MMP) per mestsoort en de tijdsduur van de opslag. De maximale methaanproductie per mestsoort wordt berekend uit de afbreekbaarheid van de organische stof (het BOS-gehalte) en is gebaseerd op in de praktijk gemeten biogasproducties voor de verschillende soorten mest (Lent en Van Dooren, 2001; GTZ, s.a. (1978); Hashimoto et al., 1981). De afbreekbaarheid van de organische stof die hieruit kan worden berekend, bedraagt voor rundermest, varkensmest en kippenmest respectievelijk maximaal 30, 50 en 70%.

Wat betreft de tijdsduur van mestopslag wordt aangenomen dat onder psychrofiële omstandigheden (circa 15°C) gedurende de eerste veertien dagen 5% van het BOS in methaan wordt omgezet en dat na een opslagduur van zes maanden 95% van het BOS is omgezet in methaan. Deze omzettingpercentages zijn gebaseerd op vergistingsonderzoek waarbij de methaanproductie uit drijfmest is gevolgd (Zeeman, 1991; Zeeman en Hamelers, 1992; Hoeksma en Zeeman, 1986).

##### **Vaste mest**

Indien de mest voldoende luchtdoorlatend is, is de opslag van vaste mest te vergelijken met extensief composteren. Hierbij vinden de volgende processen plaats:

- nitrificatie;
- denitrificatie;
- aërobe afbraak;
- anaërobe afbraak;
- stikstofmineralisatie.

Bij de opslag van vaste mest wordt uitgegaan van zuurstoftoevoer naar de mest, veroorzaakt door natuurlijke trek. Hierdoor vinden er ook aërobe processen plaats zoals nitrificatie en denitrificatie. Naast aërobe processen vinden ook anaërobe processen plaats door de aanwezigheid van zuurstofloze micorniches in de mest.

#### 4.2.5.2 Vergisten

Bij vergisten vinden identieke omzettingprocessen plaats als bij anaërobe opslag. Het verschil met de situatie in de opslag is echter dat het geproduceerde biogas wordt opgevangen en ingezet ten behoeve van de energieproductie.

Bij de verbranding van biogas vindt lekkage van methaan plaats. Deze kan oplopen tot 5% van de hoeveelheid geproduceerd biogas (Novem, Robklimaat.nl 2003). In buitenlandse literatuur varieert de lekkage van methaan tussen de 2,4% (Cumby *et al.* 2000) en 3% (Sommer *et al.*, 2001). In deze studie wordt ervan uitgegaan dat 3% van de hoeveelheid geproduceerde methaan weglekt.

#### 4.2.5.3 *Scheiden en drogen*

Zoals te zien is in Tabel 4-4 vindt tijdens scheiden en drogen geen extra emissie van broeikasgassen plaats ten gevolge van het proces.

#### 4.2.5.4 *Biologische stikstofverwijdering*

Bij biologische stikstofverwijdering wordt de mest intermitterend belucht en niet-belucht. Tijdens de beluchtingsfase vindt nitrificatie van de aanwezige  $\text{NH}_4$  plaats. Wanneer daarna geen beluchting plaatsvindt ontstaat er een anaërobe situatie en vindt er denitrificatie plaats van het gevormde nitraat.

#### 4.2.5.5 *Composteren*

Ten behoeve van dit onderzoek is er voor composteren een onderscheid gemaakt naar extensief composteren (waar de mest opgestapeld wordt en er niet actief belucht wordt) en intensief composteren (waarbij het proces wel gecontroleerd en belucht wordt). Bij extensief composteren vinden door de afwisselende aërobe en anaërobe condities nitrificatie en denitrificatie plaats als ook anaërobe afbraak van organische stof. Hierdoor kan  $\text{CH}_4$  en  $\text{N}_2\text{O}$  gevormd worden (NOVEM, 2000). Bij intensief composteren treedt aërobe afbraak van organische stof op (Zeman et al., 2002) en vindt geen emissie van overige broeikasgassen.

#### 4.2.5.6 *Toevoegen/binden*

Een voorbeeld van toevoegen/binden is het neerslaan en afscheiden van ammonium door het toevoegen van magnesium. Hierbij vinden tijdens het proces geen emissies van broeikasgassen plaats. Andere vormen van toevoegen/binden zijn het toevoegen van loog voor het strippen van ammoniak.

#### 4.2.5.7 *Thermische verwerking*

Bij thermische verwerking wordt de mest verbrand of vergast ten behoeve van energieproductie. Bij het vergassen van mest vinden geen broeikasgasemissies plaats. Bij het verbranden is dit afhankelijk van de verbrandingstemperatuur. Wanneer bij wervelbedverbranding de temperatuur tussen de 800 en 900°C is varieert het percentage N dat omgezet wordt naar  $\text{N}_2\text{O}$  tussen de 4 en 18% (Armesto et al. 2001, Armesto et al., 2002). Bij verbranding boven de 900°C is de vorming van  $\text{N}_2\text{O}$  verwaarloosbaar. Daarnaast is de geproduceerde hoeveelheid  $\text{CH}_4$  verwaarloosbaar omdat de uitbrand nagenoeg volledig is. Alle koolstof wordt omgezet in  $\text{CO}_2$ , stikstof wordt voor 99% omgezet in  $\text{N}_2$  en voor 1% in  $\text{NO}_x$ , die later alsnog grotendeels wordt omgezet in  $\text{N}_2$  (KEMA, 1997).

### 4.3 **Overige emissies**

De overige emissies zijn afkomstig van de niet-proces gebonden activiteiten te weten:

- het gebruik van hulpstoffen en energie;
- aanwending of vervanging van kunstmest;
- toepassen van eindproduct;
- transport.

Ten behoeve van de TEWI-analyse is een inventarisatie uitgevoerd ter bepaling van alle relevante emissiekentallen. De resultaten van deze inventarisatie zijn samengevat in Bijlage 7. In de volgende paragrafen is per activiteit aangegeven wat de relevante emissiekentallen zijn.

#### 4.3.1 Hulpstoffen en energie

In de volgende paragrafen staat een overzicht van het gebruik van hulpstoffen en energie bij verschillende processen en de hieraan gerelateerde kentallen. In paragraaf 4.3.1.8 is een samenvatting gegeven van de specifieke verbruikscijfers per basistechniek.

##### 4.3.1.1 Opslag

Bij opslag van mest worden geen hulpstoffen verbruikt.

##### 4.3.1.2 Vergisten

Bij vergisting wordt het biogas verbrand voor de productie van energie en warmte in een gasmotor. Er wordt uitgegaan van vergisting bij mesofiele condities (ca. 35°C). Verdere uitgangspunten hierbij zijn als volgt:

**Tabel 4-5** *Uitgangspunten energieproductie vergisting*

parameter	waarde
biogasproductie (m <sup>3</sup> biogas per ingaande kg organische stof)	0,544
percentage methaan in biogas	66%
energie inhoud biogas (MJ/m <sup>3</sup> )	22,2
netto elektrische opbrengst gasmotor (kWh/jaar)*	25%
netto warmte opbrengst gasmotor (kWh/jaar)*	35%

\* netto elektriciteit en warmte betekent na aftrek van de energie nodig voor het bedienen van de installatie

Bij verbranding van biogas in een gasmotor vindt emissie van N<sub>2</sub>O plaats, deze is 7,6 gr N<sub>2</sub>O/GJ (Gastec, 2001).

##### 4.3.1.3 Scheiden/drogen

#### Scheiden

In de volgende tabel is de energieverbruik weergegeven van verschillende scheidingsprocessen.

**Tabel 4-6** *Energieverbruiken van verschillende scheidingsprocessen*

techniek	energieverbruik (kWh/m <sup>3</sup> )
zeefbandpers	0,7 <sup>(1)</sup>
zeefdrom	1 <sup>(1)</sup>
vijzelpers	0,5-2 <sup>(1)</sup>
zeefcentrifuge	2,2-6,7 <sup>(1)</sup>
decanteercentrifuge	2-5,3 <sup>(1)</sup>
	7 <sup>(3)</sup>
	3 <sup>(4)</sup>
omgekeerde osmose (excl. noodzakelijke voorscheiding) <sup>(10)</sup>	23-25 <sup>(2)</sup>
	6,5 <sup>(7)</sup>
	7-15 <sup>(8)</sup>
ultrafiltratie (excl. noodzakelijke voorscheiding) <sup>(10)</sup>	28 <sup>(7)</sup>
ultrafiltratie + omgekeerde osmose (excl. noodzakelijke voorscheiding) <sup>(10)</sup>	28 <sup>(9)</sup>
systeem Dirven (vijzelpers, centrifuge, microfiltratie)	27 <sup>(5)</sup>

<sup>(1)</sup> Bron: Burton, CH (ed.) (1997) <sup>(2)</sup> Bron: Gastel van, JPBF; JGM Thelosen (1995) <sup>(3)</sup>

Bron: Melse, R.W.; Starmans, D.A.J.; Verdoes, N. (2002). <sup>(4)</sup> Bron: Melse, R.W.; Starmans, D.A.J.; Verdoes, N. (2002) <sup>(5)</sup> Melse, R.W.; Starmans, D.A.J.; Verdoes, N. (2002) <sup>(6)</sup> Feenstra, L.; Van Voorneburg, F. (1992) <sup>(7)</sup> Anoniem (1995) <sup>(8)</sup> Tongeren, van, WGJM; Have, ten, PJW (1991) <sup>(9)</sup> Poels J; Rompu, van, K; Verstraete W. (1988) <sup>(10)</sup> Uitgedrukt per m<sup>3</sup> dunne fractie die uit de voorscheiding komt, dus niet uitgedrukt per m<sup>3</sup> onbehandelde mest.

## Drogen

Bij drogen wordt onderscheid gemaakt tussen drogen met stallucht, thermisch drogen en indampen. Bij het drogen met stallucht wordt geen extra energie verbruikt. Bij thermisch drogen is het energieverbruik minstens de verdampingswarmte van water. Het energieverbruik varieert tussen de 2,9 en 7 GJ/ton verdamp water (NOVEM, 1998). Voor de berekening in hoofdstuk 6 is gebruik gemaakt van het gemiddelde van 4,95 GJ/ton verdamp water.

Wanneer de verdamping wordt gevolgd door condensatie van de waterdamp, zoals bij indampprocessen wordt een deel van de warmte teruggewonnen. Hierbij is het energieverbruik 0,25-1,2 GJ/ton verdamp water (Melse 2002d, Melse 2002e, NOVEM 1998).

### 4.3.1.4 *Biologische stikstofverwijdering*

Bij biologische stikstofverwijdering wordt elektriciteit verbruikt voor het beluchten van de mest. Dit is 10 kWh per ton dunne fractie. Hier is uitgegaan van de scheiding in dunne en dikke fractie vooraf aan nitrificatie (Starmans et al., 2003).

### 4.3.1.5 *Composteren*

#### **Extensief composteren**

Bij extensief composteren wordt uitgegaan van een zeefstap vooraf, wat 2,4 kWh/ton mest kost en het omzetten met een tractor van de mest 50MJ/ton mest aan dieserverbruik (Vroonhof et al., 1997).

#### **Intensief composteren**

Bij intensief composteren kost het beluchten 14 kWh/ton mest (Starmans et al., 2003). Ook wordt uitgegaan van luchtreiniging van de composteerinstallatie. Hierbij wordt 1 mol HNO<sub>3</sub> verbruikt per mol behandelde NH<sub>3</sub>.

### 4.3.1.6 *Toevoegen binden*

Bij het neerslaan van NH<sub>4</sub> uit mest en het vormen van struviet wordt 1 mol Mg gebruikt per mol NH<sub>4</sub> (Feyaerts et al., 2002). Er wordt vanuit gegaan dat de ammoniumconcentratie in de mest veel hoger is dan de fosfaatconcentratie. Ten behoeve van de pH-instelling van het proces (8,5-10) wordt bovendien loog toegevoegd.

### 4.3.1.7 *Thermische verwerking*

Ten behoeve van dit onderzoek is onderscheid gemaakt naar verbranden en vergassen van mest. De productie van energie uit mest wordt vastgesteld op basis van een aantal aannames, die in de onderstaande tekst wordt uitgewerkt.

## Verbranding

De energieproductie heeft betrekking op een standaard roosteroven met getrapte verbranding. De per geproduceerde hoeveelheid elektriciteit en (bij warmtekrachtkoppeling) warmte wordt berekend op basis van de chemische samenstelling van de te verbranden mest. De berekening vindt plaats conform standaardrekenregels voor verbrandingsprocessen en stoomketels.

Aangenomen is dat het verbrandingsproces wordt gecombineerd met een standaardstoomcyclus, waarin stoom van 40 bar, 400°C wordt geproduceerd. Deze methode is overigens ook gepland voor beide in Nederland te realiseren verbrandingsinstallaties voor pluimveemest (Apeldoorn en Moerdijk).



Er is verder uitgegaan van een rookgas-nakoeler na de gasreiniging voor het voorverwarmen van ketelvoedingswater, zoals toegepast bij verbrandingsinstallaties in Scandinavië. Voor de benutting van de stoom wordt uitgegaan van volledige benutting voor elektriciteitsproductie.

Aangenomen is dat de rookgassen in verband met gevaar voor  $H_2SO_4$ -condensatie de ketel verlaten bij  $200^\circ C$ . Bij maximale elektriciteitproductie wordt geëxpandeerde stoom gekoeld tegen oppervlaktewater. Bij warmtelevering is verondersteld dat een retoursysteem voor de stoom ontbreekt.

Aangenomen is dat een droge rookgasreiniging wordt toegepast, bestaande uit:

- een high dust SCR;
- elektrofilter voor stofafvang;
- semidroge scrubber met nageschakeld doekenfilter voor afvang van zware metalen, zwavel en halogenen.

Met het oog op het gebruik aan hulpstoffen is op basis van KEMA(1997) ingeschat dat in de praktijk circa 1% van de stikstof in de mest wordt omgezet in  $NO_x$ . Voor de rookgasreiniging wordt uitgegaan van 3,5 kg CaO per kg mest, en een ammonium verbruik van 0,3-0,7 kg/ ton mest.

De stookwaarde van het materiaal moet in de praktijk minimaal 6 MJ/kg bedragen. Niet alle materialen voldoen hieraan. Van de 8 geselecteerde soorten mest hebben alleen kippenmest (d.s.>50%) en de vleeskuikenmest een stook waarde groter dan 6MJ/kg.

### **Vergassing**

De berekening heeft betrekking op een wervelbed vergasser opererend bij een vergassingstemperatuur van circa  $850^\circ C$ . Het model berekent het koude chemische rendement en het hete chemische rendement op basis van de chemische samenstelling van de te vergassen mest. Inzet van het synthesegas in een gasmotor of ketel zijn niet verdisconteerd. In het model worden meerdere stappen doorlopen, waarin de samenstelling van het stookgas kloppend wordt gemaakt met zowel de chemische samenstelling van de te verwerken mest én de ligging van het watergasevenwicht. Dit is op zich een aanname, aangezien bij vergassing bij  $850^\circ C$  geen evenwicht wordt bereikt.

In de studie is aangenomen dat het stookgas wordt ingezet in een gasmotor met een elektrisch rendement van 35%. De door de gasmotor geproduceerde warmte wordt indien nodig gebruikt voor het drogen van het te vergassen materiaal. Een alternatief is de afzet van hoge temperatuur warmte (rendement 25%).

Ook bij vergassing dient de stookwaarde van de mest boven de 6MJ/kg te liggen.

#### *4.3.1.8 Overzicht hulpstoffen en energieverbruik per basistechniek*

In de onderstaande tabel is het verbruik van hulpstoffen en energie per basistechniek weergegeven.

**Tabel 4-7**      **Overzicht hulpstoffen en energiegebruik**

proces	elektragebruik	diesel	chemicaliën
opslag (lang/kort)	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
scheiding	1-7 kWh/ton mest (afhankelijk van type installatie)	n.v.t.	evt. vlokmiddelen (1-4 g/kg DS) <sup>3</sup>
nitrificatie	10 kWh/ton dunne fractie (afhankelijk van DS, N- totaal, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	n.v.t.	evt. anti- schuimmiddel (1 liter/ton mest)
denitrificatie	n.v.t.	n.v.t.	evt. C-bron (bijv. melasse: 0,1 liter/ton mest)
composteren – extensief	2,4 kWh/ton ingaande dikke fractie (trommel- zeef)	50 MJ/ton ingaande dikke fractie (tractor voor omzetten)	n.v.t.
composteren – intensief (incl. luchtwater)	14 kWh/ton ingaande dikke fractie <sup>1</sup>	n.v.t.	1 mol HNO <sub>3</sub> per mol NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (luchtwater)
toevoegen/ bin- den, bijvoorbeeld struvietproductie ( <sup>2</sup> ) voor NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> verwijdering	Gering	n.v.t.	1 mol MgO per mol NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 1 mol PO <sub>4</sub> per mol NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
indampen	0,25-1,2GJ / ton ver- dampt water <sup>5</sup>	n.v.t.	n.v.t.
Drogen	2,7-7,0 GJ/ton	n.v.t.	

1) *Starmans et al., 2003* 2) *struviet = MAP = MgNH<sub>4</sub>PO<sub>4</sub>* 3) *Feenstra et al., 1992* 5) *NOVEM, 1998*

#### 4.3.2 Aanwenden van mest op het land

Bij de berekening van de emissie van broeikasgassen bij het toedienen van mest op het land, is gebruik gemaakt van een methodiek die door RIVM wordt gehanteerd (Spakman et al., 1997). RIVM hanteert de in 1996 opgezette IPCC regels (Intergovernmental Panel on Climate Change, 1996, 2001). Ten behoeve van de landbouw wordt hiermee de emissie wereldwijd berekend ten gevolge van opslag en aanwending van mest. Voor de Nederlandse situatie is dat uitgewerkt in van Amstel et al. (1997). De emissiefactoren zoals deze in de onderhavige analyse worden gebruikt bij aanwending van de mest zijn derhalve gebaseerd op deze algemeen geaccepteerde IPCC-methode. In de IPCC-richtlijnen wordt de lachgasemissie bij het aanwenden van mest en kunstmest berekend op basis van een massabalans.

#### Toedienen dierlijke mest

Bij dierlijke onbehandelde mest is de hierboven genoemde verdeling weergegeven in Tabel 4-8. Voor de Nederlandse situatie komt dit neer op een emissiefactor van 2,76 wt% N<sub>2</sub>O die per gewichtseenheid aan totale stikstof via organische mest wordt opgebracht.

Deze emissiefactor wordt in deze studie aangehouden voor de berekening van de N<sub>2</sub>O emissie bij het toedienen van behandelde en onbehandelde mest op het land.

**Tabel 4-8** *Massabalans N<sub>2</sub>O-emissie mestaanwending (uit: Kroeze 1994)*

stap		eenheid	totaal 1994
A	totale mest in opslag	kton N	408,9
B	hoeveelheid geëxporteerd	kton N	18
C	hoeveelheid mest toegepast in Nederland (A-B)	kton N	390,9
D	NH <sub>3</sub> -emissie na aanwending op land	kton N	37,3
E	netto hoeveelheid op land	kton N	353,5
F	hoeveelheid na toediening op land of via injectie: 80% van E	kton N	294,1
G	overgebleven 20% van E	kton N	59,5
H	hoeveelheid mest op minerale bodem 23% van G	kton N	13,5
I	hoeveelheid mest op organische bodem: 77% van G	kton N	46,0
J	N <sub>2</sub> O-emissie na toediening injectie 2% van F	kton N	5,9
K	N <sub>2</sub> O-emissie van minerale bodem 1% van H	kton N	0,1
L	N <sub>2</sub> -emissie van organische bodem 2% van I	kton N	0,9
M	totale emissie van mest toediening (I+K+L)* 44/28	kton N <sub>2</sub> O	10,8

### Gebruik kunstmest

Bij het aanwenden van de kunstmest wordt gebruikgemaakt van de IPCC-normen uit 1996. De N<sub>2</sub>O-emissie bij zowel dierlijke mest als kunstmest wordt met een massabalans bepaald (Kroeze 1994). Voor kunstmest is de massabalans te vinden in Tabel 4-9. Voor de Nederlandse situatie komt deze massabalans neer op een emissiefactor van 1,69 wt% per gewichtseenheid aan stikstof dat via kunstmest wordt opgebracht. In deze studie wordt deze emissiefactor gebruikt voor het berekenen van de N<sub>2</sub>O emissie ten gevolge van het opbrengen van stikstof op het land met behulp van kunstmest.

**Tabel 4-9** *Massabalans N<sub>2</sub>O-emissie kunstmestgebruik (uit: Kroeze 1994)*

stap		eenheid	totaal 1994
A	totaal verbruik van kunstmest	kt N	372
B	omzetting tot NH <sub>3</sub> 2% van A	kt N	7,4
C	fractie toegepast op minerale grond	kt N	328,1
D	fractie toegepast op organische grond	kt N	36,5
E	N <sub>2</sub> O-emissie van minerale bodem 1% van C	kt N	3,3
F	N <sub>2</sub> O-emissie van organische bodem 2% van D	kt N	0,7
G	totaal emissie van N <sub>2</sub> O (E+F)*44/28	kt N <sub>2</sub> O	4,0

### Productie kunstmest

Voor de berekening van de emissie van lachgas ten gevolge van de productie van kunstmest wordt gebruik gemaakt van emissiefactoren (Smit et al., 2001) die vermeld zijn in Bijlage 7.

### Transport

Voor transport wordt een emissiefactor gebruikt zoals vermeld in Bijlage 7.

## 5 TEWI-analyse mestverwerking

Het hoofddoel van de onderhavige studie is het opstellen van een methodiek voor het berekenen van het reductiepotentieel voor de emissie van broeikasgassen ten gevolge van de inzet van mestverwerking. Hierbij wordt aansluiting gezocht bij de gehanteerde TEWI-systematiek.

Het reductie potentieel betreft het verschil in emissie van broeikasgassen tussen een gedefinieerd initiatief en de hiermee samenhangende referentiesituatie. De verandering in de emissies van broeikasgassen ten opzichte van de referentiesituatie wordt uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-equivalenten.

In dit hoofdstuk wordt inzicht gegeven in de TEWI-methodiek voor het berekenen van de broeikasgasemissie voor mestverwerking. In de volgende paragraaf wordt een algemene inleiding gegeven van de aspecten die van belang zijn voor een TEWI-analyse. Verderop in het hoofdstuk wordt inzicht gegeven in gebruikte methodiek en volgt uitleg over het opgestelde TEWI-formulier. Het TEWI-invulformulier is als separaat document beschikbaar.

### 5.1 Aspecten TEWI-methode

Zoals eerder aangegeven is de TEWI methodiek gebaseerd op een LCA, waarvoor de volgende aspecten vastgelegd dienen te worden:

- de systeemgrenzen;
- de functionele eenheid;
- de referentiesituatie;
- het in beschouwing te nemen mestbe- of verwerkingsinitiatief.

Het te beschouwen initiatief voor de bewerking of verwerking, is beschreven in het vorige hoofdstuk. De andere drie aspecten worden in de volgende paragrafen behandeld.

#### 5.1.1 Systeemgrenzen

Als systeemgrens van de TEWI-benadering is gekozen voor het moment dat de mest vrijkomt in de stal tot en met toepassing van het eindproduct. Vanwege de 'winbaarheid' wordt alleen in de stal vrijkomende mest beschouwd. Op het land vrijkomende mest wordt niet meegenomen in deze studie, omdat deze mest niet effectief te verzamelen valt.

De verwerkingsketen omvat niet alleen de directe, aan de relevante processen gerelateerde, emissies van broeikasgassen, maar ook de emissies gerelateerd aan de bij deze processen verbruikte energiedragers en hulpstoffen. De energiedragers zijn bijvoorbeeld bij transport verbruikte diesel of de voor aandrijving door middel van elektromotoren verbruikte elektriciteit. Hulpstoffen worden bijvoorbeeld ingezet bij waterzuivering (NaOH, FeCl<sub>3</sub>, et cetera) of rookgasreiniging (NaOH, CaO, NH<sub>3</sub>).

In het vorige hoofdstuk is voor een aantal referentieprocessen een overzicht gegeven van de emissies van broeikasgassen per eenheid product.

De emissie wordt beschouwd als vrijkomend binnen de agrarische sector in Nederland. De invloed van de bewerking op de export van mest en hiermee samenhangende verplaatsing van emissie buiten de landsgrenzen zijn buiten beschouwing gelaten.

#### 5.1.2 Functionele eenheid

Gezien het doel van de analyse - een resultaat produceren dat kan worden toegepast door initiatiefnemers - is als functionele eenheid gekozen voor één ton in de stal vrijkomende mest.

Door deze keuze wordt ook de productie van methaan en lachgas tijdens de opslag van de mest meegenomen en kunnen verschillen in mesteigenschappen door bijvoorbeeld verschillen in stalsystemen of door verschil in opslagtijd worden verdisconteerd.

Tevens kan door deze definitie de daadwerkelijke emissie van broeikasgassen op eenvoudige wijze berekend worden door de uiteindelijke emissiefactor van het initiatief te vermenigvuldigen met de geprognosticeerde doorzet.

*De keuze om in de stal vrijkomende mest als functionele eenheid te beschouwen hangt samen met het gegeven dat een deel van de in de 'mestketen' optredende emissies van broeikasgassen tijdens opslag bij de boerderij vrijkomt. Daarentegen kan het afvoeren van mest naar een centrale verwerkingsinstallatie - zeker bij opslag in een mestkelder op de boerderij - al een aanzienlijke reductie van de broeikasgassen tot gevolg hebben ten opzichte van de referentiesituatie.*

#### 5.1.3 De referentiesituatie

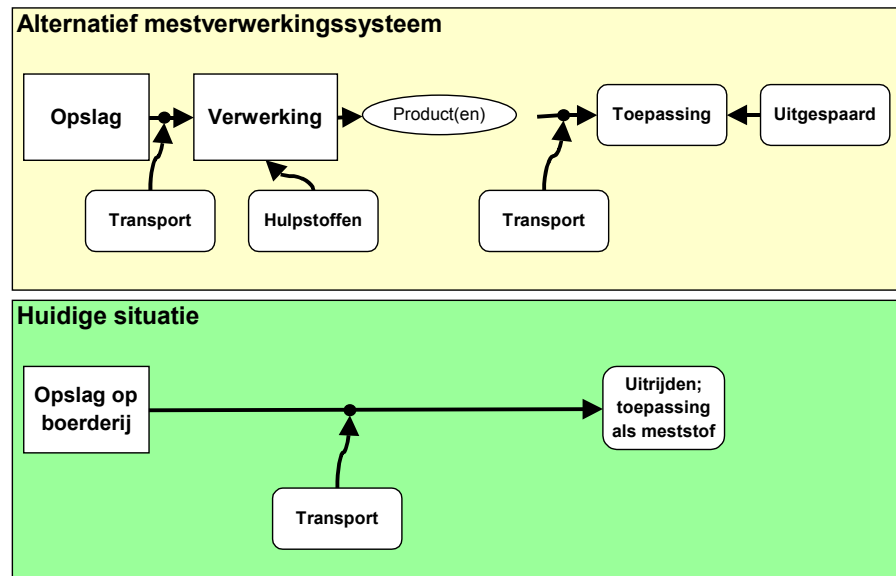
Voor de referentiesituatie is uitgegaan van de volgende uitgangspunten:

- mest wordt gedurende zes maanden op de boerderij opgeslagen;
- voorafgaand aan het groeiseizoen en na de oogst wordt de mest uitgereden op eigen land of in de buurt gelegen landbouwgronden.

In veel gebieden en met name voor dunnere mestsoorten is bovengeschetste situatie nog steeds gangbaar (Staalduinen et al., 2001). In feite is er enkel bij pluimveemest inmiddels een verandering qua structurele mestafzet opgetreden. Deze wordt steeds meer (biologisch) gedroogd en na hygiënisatie afgezet in het buitenland. Echter, ook bij pluimveemest wordt het grootste deel nog steeds zonder verdere voorbehandeling uitgereden (Staalduinen et al., 2001). In verband met de consistentie qua methodologie - het hanteren van gelijke referenties per mestsoort - en het doel van de studie - een waardering van mestverwerkingsprocessen - is daarom ook voor (droge) pluimveemest gekozen voor uitrijden als referentiesituatie.

## 5.2 Berekening emissie reductiepotentieel broeikasgassen

In de TEWI-analyse wordt de referentiesituatie (huidige situatie) vergeleken met een verwerkingsinitiatief. Dit wordt geïllustreerd met onderstaande figuur waarin de verschillende stappen schematisch zijn weergegeven.



Figuur 5-1 Vergelijking mestverwerkingsketens

Om per gekozen alternatief duidelijk te kunnen identificeren waar het zwaartepunt ligt bij de emissie van broeikasgassen is ervoor gekozen om bij het definiëren van emissiefactoren (EF) een onderscheid te maken naar volgende activiteiten:

1. emissie ten gevolge van opslag,  $EF_{\text{opslag}}$ ;
2. emissie ten gevolge van het mestverwerkingsproces,  $EF_{\text{proces}}$ ;
3. emissie ten gevolge van transport,  $EF_{\text{transport}}$ ;
4. emissie ten gevolge van het gebruik/de productie van hulpstoffen tijdens het proces,  $EF_{\text{hulpstoffen}}$ ;
5. emissie ten gevolge van de aanwending/ onttrekking van het eindproduct of kunstmest aan de mineralenkringloop,  $EF_{\text{aanwending}}$ .

De waarde van de emissiekentallen is gebaseerd op de gehanteerde uitgangspunten, berekende waarden en geïnventariseerde kentallen zoals deze gepresenteerd zijn in hoofdstuk 4.

Het Emissie Reductie Potentieel (ERP) wordt dan als volgt berekend:

$$ERP = \text{Emissie referentiesituatie} - \text{Emissie mestverwerkinginitiatief}$$

Waarbij:

$$\text{Emissie referentie situatie} = (EF_{\text{opslag}} + EF_{\text{transport}} + EF_{\text{aanwending}}) * \text{doorzet}$$

$$\text{Emissie mestverwerkingsinitiatief} = (EF_{\text{opslag}} + EF_{\text{transport}} + EF_{\text{proces}} + EF_{\text{hulpstof}} + EF_{\text{aanwending}}) * \text{doorzet}$$

### 5.3 Het TEWI-formulier, achtergronden en uitleg

Zoals in paragraaf 5.2 is aangegeven is voor iedere separate stap in de mestverwerkingsketen een omzettingfactor gedefinieerd. Met behulp van de gegevens die in voorgaande hoofdstukken zijn vastgesteld kan de emissiefactor berekend worden. In het model, dat gebaseerd is op de TEWI systematiek, worden deze emissiefactoren vermenigvuldigd met de doorzet van de installatie en kan het emissiereductiepotentieel berekend worden.

Het TEWI-formulier is een separaat document dat behoort bij deze studie.

Het model is samengevat in een formulier, het TEWI formulier. Met behulp van het TEWI-formulier kan een gebruiker op relatief eenvoudige wijze een berekening maken van het reductiepotentieel van het door hem gedefinieerde initiatief. Voor het berekenen van het emissiereductiepotentieel dient de gebruiker van het formulier een aantal specifieke parameters in te vullen:

- doorzet (ton mest/jaar);
- mesttype (acht soorten, conform vastgestelde kwaliteit);
- beschrijving initiatief door basistechnieken te definiëren;
- transportkilometers voor mest naar verwerking en eindproduct (km);
- toepassing eindproduct.

Om het model, en daarmee het te gebruiken formulier, eenvoudig te houden is er voor gekozen om het aantal in te vullen parameters tot een minimum te beperken. Hiermee wordt aan de ene kant een concessie gedaan aan de nauwkeurigheid, maar het geeft aan de andere kant een goed instrument om diverse verwerkingsinitiatieven eenduidig met elkaar te vergelijken. Daarnaast wordt opgemerkt dat, indien gewenst, een groot aantal parameters in de berekening gewijzigd kunnen worden, maar dat dit de eenvoud van de berekening niet ten goede komt.

#### 5.3.1 Doorzet

De doorzet is gedefinieerd als het aantal ton mest dat per jaar wordt verwerkt in de installatie. De doorzet is bepalend voor de totale omvang van de emissie van broeikasgassen. De hoeveelheid mest die wordt doorgezet in het door te rekenen initiatief is gelijk aan de doorzet in de referentiesituatie.

In de meeste gevallen neemt de emissie van broeikasgassen niet lineair toe met de schaalgrootte van de initiatieven. Naarmate de installatie groter is zal er voor een groot aantal initiatieven een lagere emissie optreden per ton verwerkte mest; schaalvoordelen. Er zullen schaalvoordelen optreden ten gevolge van betere procescontrole, de relatieve lagere kosten voor nabehandeling, toepassing van gesloten systemen etc. Dit is niet direct uit de praktijkmetingen af te leiden omdat hier ook andere factoren een rol speelden. De methode is het best toepasbaar voor een initiatieven met een schaalgrootte van 1.000-50.000 ton per jaar.

#### 5.3.2 Mestsoort

Vervolgens kan de initiatiefnemer een mestsoort met bijbehorende eigenschappen kiezen waarop de bewerking wordt uitgevoerd. Eigenschappen van de meest voorkomende mestsoorten zijn hierbij aangegeven (zie bijlage 5). De samenstelling van de verschillende mestsoorten wordt gebruikt als input voor de massabalansen.

#### 5.3.3 Beschrijving basistechnieken

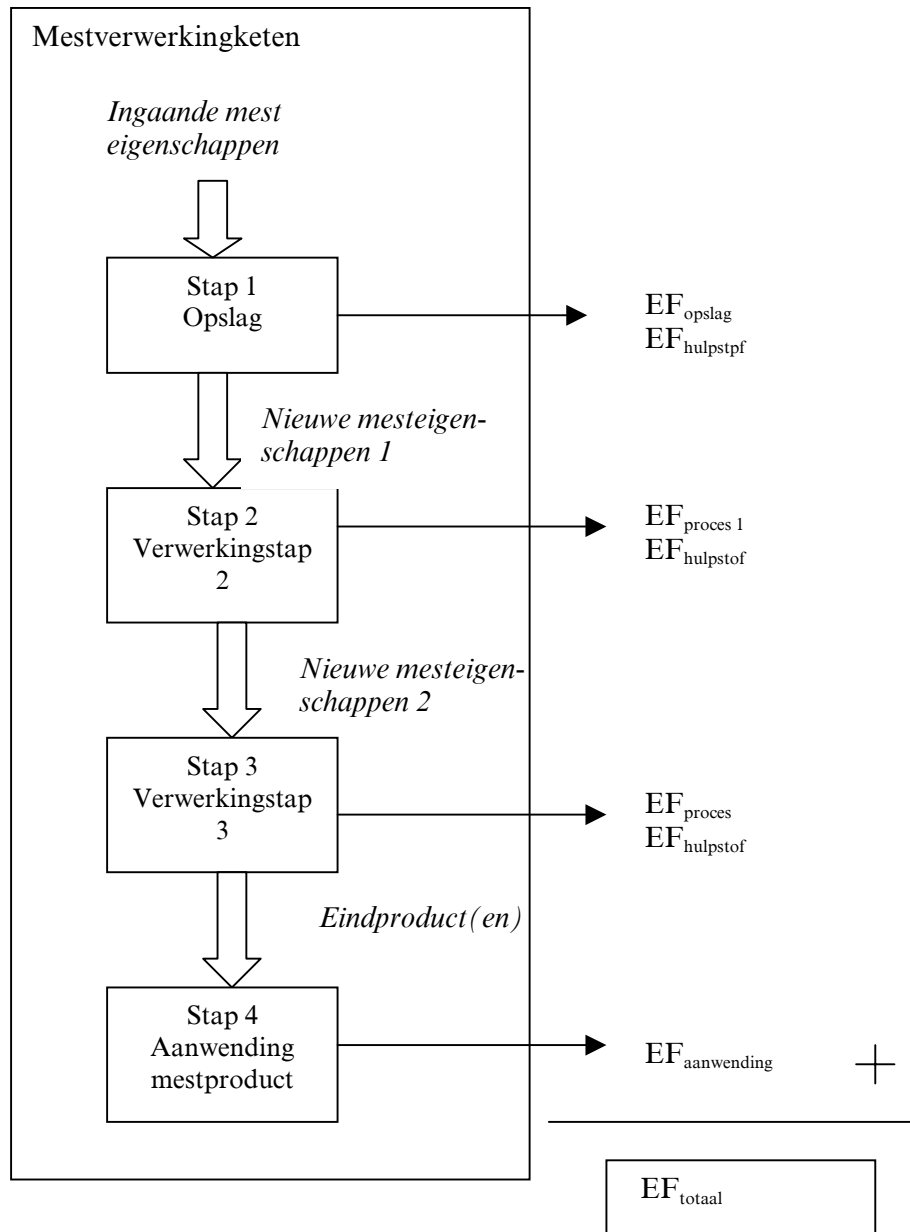
Zoals eerder vermeldt bestaat een mestverwerkingsketen uit verschillende basistechnieken, en heeft iedere basistechniek zijn eigen emissiefactoren. In de volgende figuur staat verwerkingsketen weergegeven als een combinatie van een aantal basistechnieken. De verwerkingsketen begint altijd met opslag en eindigt met aanwending.

De eigenschappen van de mest veranderen bij iedere verwerkingsstap, en dit heeft vervolgens weer invloed op de volgende stap. In de praktijk betekent dit dat de uitgaande mestsamenstelling van de eerste stap de ingaande mestsamenstelling van de volgende stap is.

Dit proces herhaalt zich totdat het eindproduct wordt toegepast.

*Bijvoorbeeld, wanneer er stikstof verwijderd is door nitrificatie en denitrificatie zorgt dit uiteindelijk voor minder stikstof op het land bij aanwending. Of wanneer er veel organische stof is afgebroken bij een lange opslag vindt er minder omzetting plaats in de vergistingstank.*

De stapsgewijze berekening van de emissiefactor bij mestverwerking is te zien in de volgende figuur.



Figuur 5-2 Schematische weergave van de TEWI-berekening

Wanneer de emissiefactor voor hulpstof een negatieve waarde heeft, betekent dit dat er een hulpstof geproduceerd wordt.



Door het vastleggen van de basistechnieken en de mestsoort kan er voor iedere deelstap een specifieke emissiefactor berekend worden. Aan het einde van de keten moeten deze emissiefactoren bij elkaar opgeteld worden en vermenigvuldigd met de doorzet voor de totale emissie van de keten. Ditzelfde moet gedaan worden voor de referentiesituatie. Daarna kunnen deze twee totalen met elkaar vergeleken worden zoals is weergegeven in paragraaf 5.2 en kan het emissiereductiepotentieel worden berekend.

#### 5.3.4 Transportemissie

Voor transport wordt een emissiefactor gebruikt (Dings, 2003) waarbij een onderscheid is gemaakt naar lokaal en regionaal transport. Deze is voor regionaal transport gelijk aan 0,03 kg CO<sub>2</sub> equivalenten per tonkilometer en voor lokaal transport 0,26 kg CO<sub>2</sub> equivalenten per tonkilometer. De gebruiker kan in het formulier zelf aangeven hoeveel kilometers er worden afgelegd. Indien hiervoor geen afstanden bekend zijn wordt een totale transportafstand aangehouden van 100 km (Mol et al., 2003).

#### 5.3.5 Emissie aanwending

De emissie ten gevolge van het aanwenden wordt bepaald door biologische reacties in de grond na het opbrengen van de mest en door de (extra) emissie die vrijkomt tijdens de productie van kunstmest. Mest wordt uitgereden op land vanwege de in de mest aanwezige nutriënten, die in een bepaalde mate beschikbaar zijn voor de planten. Van de benodigde mineralen is binnen de TEWI-benadering alleen stikstof van belang.

De inzet van kunstmest wordt bepaald door de mate waarin minerale stikstof wordt onttrokken of toegevoegd aan de mineralenbalans. Er wordt extra kunstmest ingezet indien er in het verwerkingsalternatief minder minerale stikstof vrijkomt via het eindproduct dan in de referentiesituatie en vice versa. Op basis van de omzettingen die in een basistechniek plaatsvinden kan minerale stikstof gevormd worden of juist verwijderd. Bij stikstofmineralisatie vindt vorming van minerale stikstof plaats. Door denitrificatie, verbranding en vergassing wordt de stikstof aan de mest onttrokken. De benodigde/ bespaarde hoeveelheid stikstof die ten gevolge van het verwerkingsinitiatief moet worden opgebracht via kunstmest (N-kunstmest) wordt dan als volgt berekend:

$$N_{\text{kunstmest}} \text{ (kg N-kunstmest)} = N_{\text{min}} \text{ (kg na referentie)} - N_{\text{min}} \text{ (kg na verwerking)}.$$

Een negatieve waarde betekent dat er ten gevolge van het verwerkingsinitiatief kunstmest wordt bespaard. De emissie ten gevolge van de biologische reacties na opbrengen van de dierlijke mest of de kunstmest worden bepaald door de in de IPPC gehanteerde emissiefactoren van respectievelijk 2,76 wt% en 1,69wt% lachgas per ton opgebrachte stikstof.

De emissie door aanwending wordt berekend met behulp van de emissiefactoren zoals weergegeven in Hoofdstuk 4.

### 5.3.6 Voorgerekende scenario's

Ter verdere vereenvoudiging van de TEWI-berekening zijn voor een aantal veelvoorkomende combinaties van mestsoorten en verwerkingsunits de emissiefactoren al berekend (zie ook hoofdstuk 6). Wanneer voor een dergelijke combinatie het TEWI-formulier wordt ingevuld kunnen de (voorgerekende) emissiefactoren direct uit een tabel worden gehaald. Deze emissiefactor hoeft alleen nog maar vermenigvuldigd te worden met de doorzet van de installatie. Wanneer een andere combinatie van verwerkingsstappen wordt gebruikt dienen de emissiefactoren zelf berekend te worden. In de bijlage van het TEWI-formulier worden hiervoor de rekenformules aangegeven.

## 6 Scenarioanalyse

### 6.1 Achtergrond

Ter vereenvoudiging van het ontwikkelde TEWI-formulier zijn een aantal voorkeursscenario's doorgerekend. Daarnaast zijn de resultaten van de berekeningen gebruikt om het effect van de verschillende scenario's op de broeikasgasemissie te bepalen.

De voorkeursscenario's zijn geselecteerd op basis van bewezen toepasbaarheid, marktpotentieel en effect op de emissie van broeikasgassen.

De resultaten van de berekening zijn emissiefactoren, uitgedrukt in aantal kg CO<sub>2</sub>-equivalenten per ton verwerkte mest. Daarbij is, conform de ontwikkelde systematiek, per scenario een emissiefactor bepaald die is opgebouwd uit de volgende deelactiviteiten:

- a) opslag;
- b) proces;
- c) transport;
- d) aanwending;
- e) hulpstoffenverbruik/energieverbruik dan wel productie.

De aldus berekende emissiefactoren zijn representatief voor een specifiek voorkeursscenario, gekoppeld aan de verwerking van een specifieke mestsoort.

De berekende emissiefactoren leveren in combinatie met de opgegeven doorzet, de totale emissie van het in beschouwing genomen voorkeursscenario, uitgedrukt in kg CO<sub>2</sub>-equivalenten dat per jaar vrijkomt.

Om te komen tot een ranking van de onderling verschillende scenario's zijn de berekende specifieke emissiefactoren met elkaar vergeleken. Hierbij is, per mestsoort, een vergelijking gemaakt tussen de netto emissie van broeikasgassen.

### 6.2 Beschrijving voorkeursscenario's

Als voorkeursscenario's zijn de volgende systemen geselecteerd:

- a) opslag gedurende zes maanden van drijfmest en vaste mest (referentiesituatie);
- b) vergisten: biologisch omzetten van mest in biogas en vergiste fractie ten behoeve van energieopwekking;
- c) scheiden: mechanisch scheiden van mest in een dikke en een dunne fractie;
- d) biologische stikstofverwijdering: nitrificatie/denitrificatie;
- e) intensief composteren;
- f) indampen/drogen;
- g) verbranden (roosteroven evenals wervelbedoven).

Bij de verdere uitwerking is een selectie gemaakt van de meest logische combinaties van mestsoort en voorkeursscenario's. Zo is al eerder aangegeven dat alleen van vleeskuikenmest en kippenmest (>50% d.s.) de stookwaarde hoog genoeg is om in aanmerking te komen voor verbranding in een oven. Daarentegen is voor vergisten en biologische stikstofverwijdering een laag droge stof percentage noodzakelijk. Hiervoor komt alleen de inzet van drijfmest hiervoor in aanmerking. Het composteren of drogen van drijfmest is alleen mogelijk na een voorbehandeling. De uitgebreide scenario's zijn echter niet in beschouwing genomen.

In de volgende tabel is aangegeven welke logische combinaties van scenario's en mestsoort is doorgerekend.

**Tabel 6-1 Doorgerekende scenario's per mestsoort**

techniek	mestsoort								
	drijfmest runderen	drijfmest kalveren	drijfmest vleesvarkens	drijfmest zeugen	drijfmest kippen	vaste mest kippen <50 d.s.	vaste mest kippen >50 d.s.	vaste mest vleeskuikens	
opslag referentie drijfmest	x	x	x	x	x				
vergisten	x	x	x	x	x				
scheiding door centrifuge	x	x	x	x	x				
biologische stikstofverwijdering	x	x	x	x	x				
extensief composteren (opslag referentie vaste mest						x	x	x	
intensief composteren (biologisch drogen)						x	x	x	
thermisch drogen						x	x	x	
verbranden							x	x	

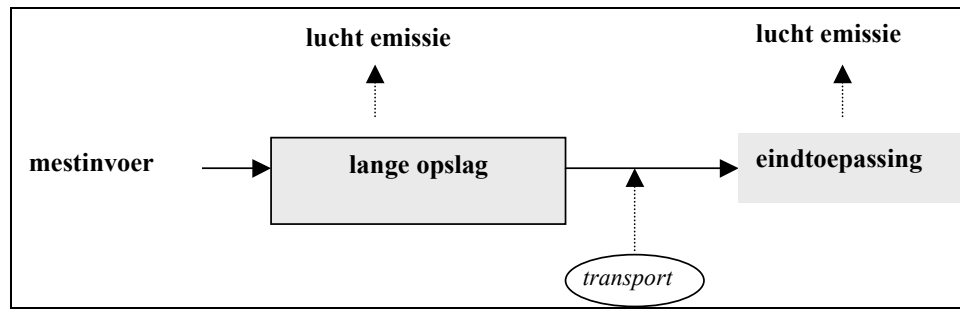
### 6.2.1 Referentiesituatie drijfmest en vaste mest

Een schema van de referentiesituatie met de hierbij relevante activiteiten is weergegeven in figuur 6.1. Analoog aan de beschrijving in hoofdstuk 5 is als referentiesituatie uitgegaan van de volgende aannames:

- mest wordt gedurende circa zes maanden op de boerderij opgeslagen;
- voorafgaand aan het groeiseizoen en na de oogst wordt de mest uitgereiden op eigen land of in de buurt gelegen landbouwgronden.

Ten aanzien van de biologische processen die ten grondslag liggen aan de emissie van broeikasgassen in de gedefinieerde opslagperiode wordt uitgegaan van anaërobe opslag voor drijfmestsoorten en (extensief) composteren voor de vaste mestsoorten.

Voor de opslagtemperatuur is uitgegaan van een gemiddelde temperatuur van 15°C. Verder is aangenomen dat de emissie van broeikasgassen methaan en lachgas onafhankelijk is van het opslagsysteem dat toegepast wordt.



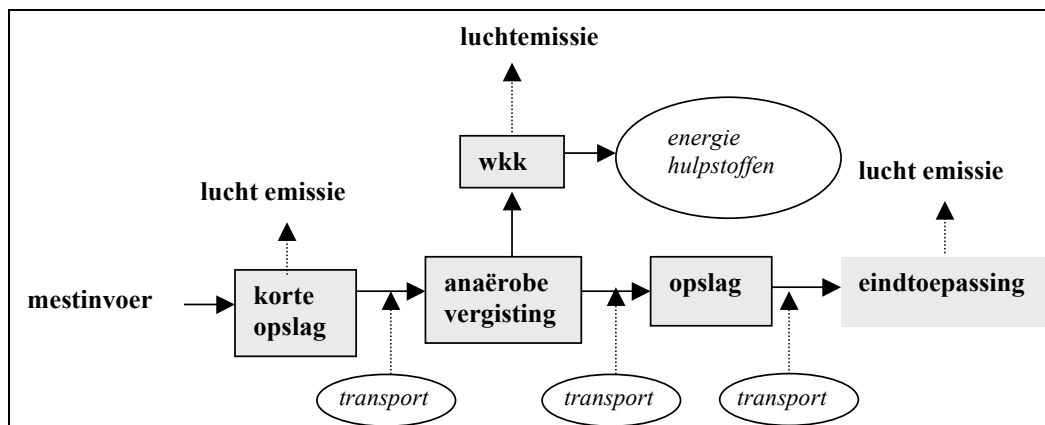
Figuur 6-1 Schematisch overzicht referentiesituatie

Een gedetailleerd overzicht van de gehanteerde uitgangspunten en biologische procesparameters is gegeven in hoofdstuk 4 en bijlage 2.

6.2.2 Vergisten

Een schema van de relevante activiteiten bij vergisten is weergegeven in figuur 6.2. Vergisten is gedefinieerd als de opslag van mest gedurende twee weken in een open systeem, gevolgd door fermentatie van de biologisch organische fractie (BOS) in een vergistingsinstallatie onder anaërobe condities tot biogas (mengsel van CH<sub>4</sub> en CO<sub>2</sub>). Het biogas wordt in een warmtekrachtinstallatie (WKK) omgezet tot elektriciteit en warmte. De vergiste fractie komt vrij en wordt na tussenopslag direct toegepast op het land. Er is aangenomen dat de mest na vergisting volledig biologisch stabiel is en er geen luchtmissie plaatsvindt tijdens de na-opslag.

Tijdens het vergistingsproces wordt extra minerale stikstof gevormd. Dit heeft tot gevolg dat er een analoge hoeveelheid kunstmest-N wordt bespaard, wat een positief effect heeft op de emissie van broeikasgassen.



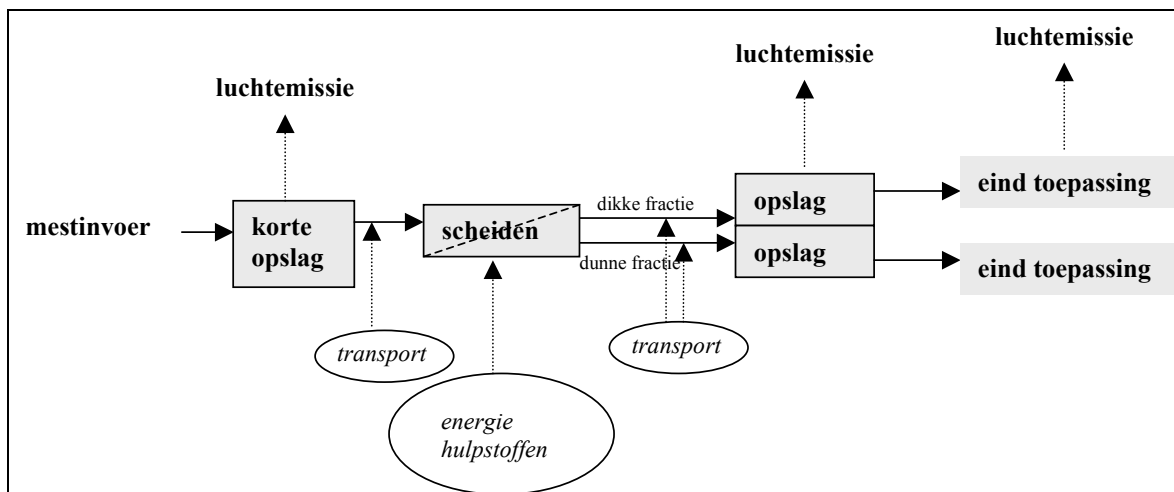
Figuur 6-2 Mestverwerkingsketen vergisting

6.2.3 Scheiding

Scheiding is gedefinieerd als een proces waarbij de mest, na een korte opslag van circa twee weken, wordt gescheiden in een fractie van de wateroplosbare componenten in het aanwezige water met een fractie van de onoplosbare componenten (permeaat). Het resterende deel gaat naar het slib (of retentaat). In deze scenarioberekening wordt uitgegaan van scheiding door middel van een centrifuge.

De gescheiden fractie wordt vervolgens afgezet als meststof waarbij de dunne fractie ten behoeve van eigen gebruik wordt ingezet (minimaal transportafstand) en de dikke fractie over grotere afstand wordt getransporteerd.

Omdat er geen chemische of biologische omzettingen plaatsvinden bij scheiding, zijn de emissies bij opslag (bij de voor- en naopslag samen) en de emissie bij aanwending hetzelfde als bij de referentiesituatie. Het verschil in emissie tussen referentie en alternatief wordt veroorzaakt door het additionele energieverbruik.



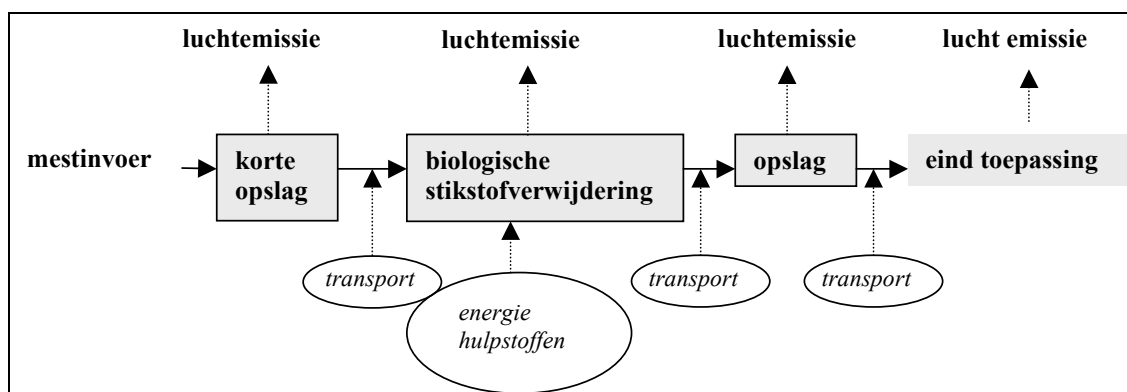
Figuur 6-3 Mestverwerkingsketen scheiden

#### 6.2.4 Biologische stikstofverwijdering

Een schema van de relevante activiteiten bij de biologische stikstofverwijdering (nitrificatie/ denitrificatie) is weergegeven in figuur 6.4.

Biologische stikstofverwijdering is gedefinieerd als het proces waarbij de stikstof in de mest, na opslag gedurende een korte periode van twee weken, verwijderd wordt uit de vloeibare fractie, zoals beschreven in hoofdstuk 4. In de eerste stap gebeurt dit door een nitrificatieproces waarbij de minerale stikstof, die bestaat uit ammoniak, wordt omgezet naar nitraat. In de tweede denitrificatiestap wordt het gevormde nitraat omgezet tot stikstof ( $N_2$ ) en verdwijnt naar de luchtfase. Het product wordt vervolgens gescheiden in een dikke en een dunne fractie. Het eindproduct wordt opgeslagen gedurende een vaste periode. Hiervoor is aangenomen dat dezelfde systematiek geldt als gewone opslagprocessen die plaatsvinden als in de referentiesituatie.

Er wordt vanuit gegaan dat de nutriënten die verwijderd zijn tijdens de nitrificatie en denitrificatie weer moeten worden aangevuld met kunstmest. De emissie bij het gebruik en de productie kunstmest heeft een toename van de broeikasgasemissie tot gevolg en is verwerkt in de emissie voor aanwending.

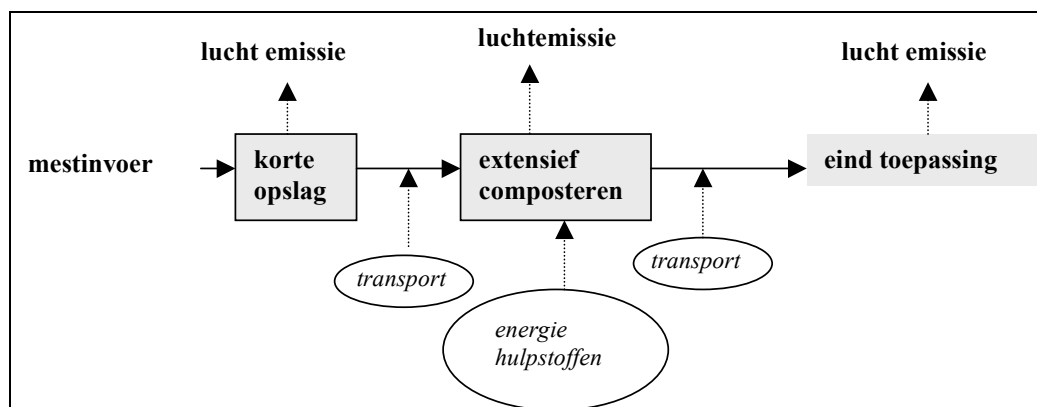


Figuur 6-4 Mestverwerkingsketen stikstofverwijdering

6.2.5 Extensief composteren

Een schema van de activiteiten die relevant zijn voor de broeikasgasemissies ten gevolge van extensief composteren is weergegeven in figuur 6.5.

Extensieve compostering wordt gedefinieerd als het proces waarbij de (vaste) mest onder niet gecontroleerde condities op hopen wordt geplaatst, waarbij geen intensieve menging of beluchting plaatsvindt. Hierdoor vinden er deels aërobe en deels anaërobe biologische omzetting plaats in de mesthoop. Het product zal, na afgraven, direct worden toegepast als meststof op het land.



Figuur 6-5 Mestverwerkingsketen extensief composteren

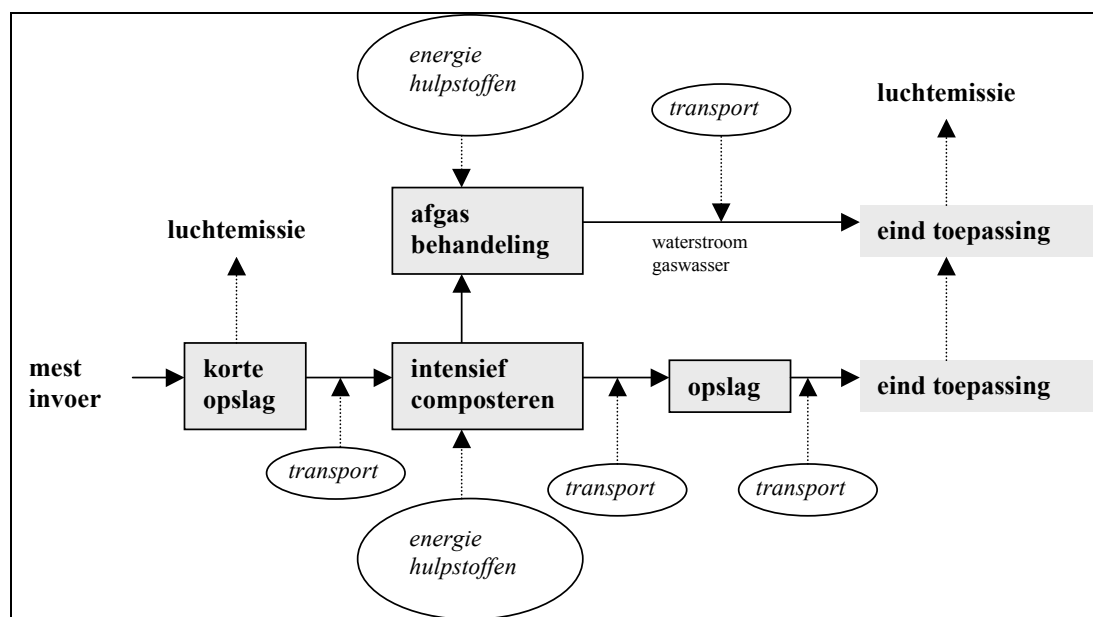
6.2.6 Intensief composteren

Een schema van de activiteiten die relevant zijn voor de broeikasgasemissies ten gevolge van intensief composteren is weergegeven in figuur 6.6.

Intensief composteren wordt gedefinieerd als het proces waarbij de mest, na een korte vooropslag van circa twee weken, onder gecontroleerde condities wordt gecomposteerd. Hierbij vindt intensieve menging plaats en wordt de composthoop belucht. Er spelen zich dan ook met name aërobe biologische processen af in de hoop. De composteringslucht wordt behandeld in een zure wasser om deze te ontdoen van ammoniak. Het eindproduct bezit geen biologische activiteit meer en kan, ook indien opslag plaatsvindt, gezien worden als biologisch gestabiliseerd materiaal.



Overigens kan biologisch drogen ook als een vorm van intensief composteren worden gezien, wanneer het stabiliseren van de organische stof niet het einddoel is maar het produceren van een droog eindproduct voor thermische verwerking.



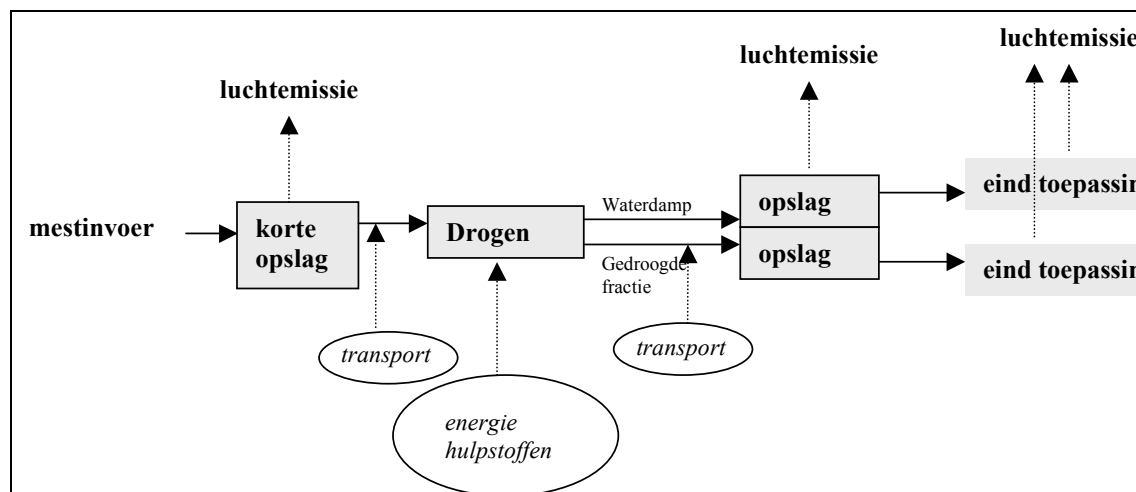
Figuur 6-6 Mestverwerkingsketen intensief composteren

### 6.2.7 Drogen/indampen

Een schema van de activiteiten die relevant zijn voor de broeikasgasemissies ten gevolge van drogen/ indampen is weergegeven in figuur 6.7.

Drogen dan wel indampen kan worden gedefinieerd als het fysisch proces waarbij door middel van warmte, water (en vluchtige componenten waaronder ammoniak) wordt (worden) verwijderd en als condensaat vrijkomt, terwijl de overige mest wordt ingedikt. Het drogen is alleen gedefinieerd voor een gesloten systeem. Er wordt voor de scenario berekening uitgegaan van thermisch drogen.

Tijdens de scheiding gaat een fractie van het water en een fractie van ammonium (enige geanalyseerde vluchtige component in mest) naar het condensaat. De rest blijft achter in de mest. Het condensaat wordt in de directe omgeving afgezet (minimale transportactiviteiten), terwijl het gedroogde product als meststof een bredere afzetmogelijkheid krijgt en op grotere afstand wordt afgezet. Omdat het materiaal erg droog is (d.s. >70%) is aangenomen dat er bij de na-opslag geen biologische omzettingen en derhalve geen emissie van overige broeikassen plaatsvinden.



Figuur 6-7 Mestverwerkingsketen drogen

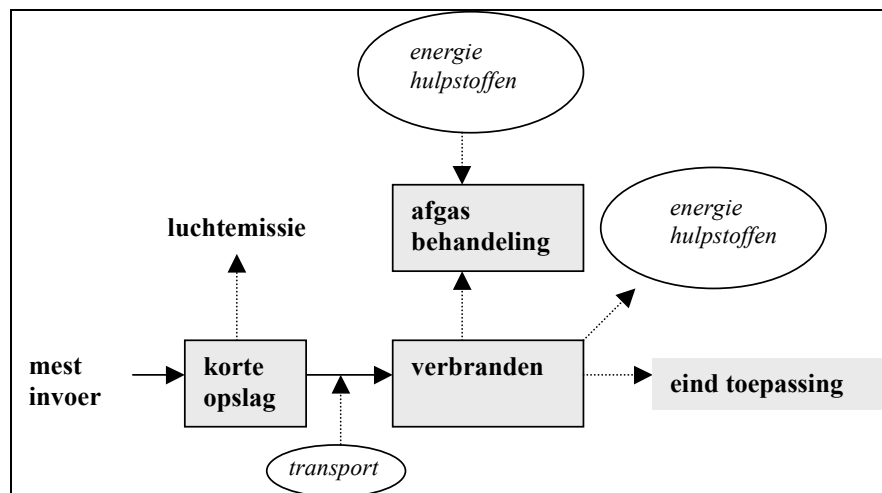
### 6.2.8 Verbranden

Een schema van de activiteiten die relevant zijn voor de broeikasgasemissies ten gevolge van verbranden is weergegeven in figuur 6.8.

Verbranden is het inzetten van vaste, gedroogde mest (doorgaans pluimveemest) ten behoeve van energiewinning door thermische conversie van de verbrandbare fractie van de mest. Het minerale gedeelte van de mest komt als as vrij en wordt ingezet als bouwstof en daarmee onttrokken aan de mineralenkringloop. Verder is aangenomen dat de afgassen op de gebruikelijke manier worden behandeld conform BLA.

Zoals in hoofdstuk 4 vermeld is de lachgasproductie afhankelijk van de verbrandingstemperatuur. Bij de scenarioanalyse is de emissiefactor berekend voor de verbranding in een roosteroven bij hoge temperaturen (er vindt daarbij geen emissie van broeikasgassen plaats) en een wervelbedoven (11% van de aanwezige stikstof wordt omgezet naar lachgas).

Verder wordt aangenomen dat de assen worden ingezet als bouwstof wat leidt tot een extra inzet van kunstmest.



Figuur 6-8 Mestverwerkingsketen verbranden

### 6.3 Emissiefactoren bewerkingsstappen

#### 6.3.1 Verwerking van drijfmest

Voor elke techniek is per mestsoort een berekening uitgevoerd van de broeikasgasemissies ten gevolge van een specifieke ver- en bewerkingsvariant. Deze berekening is uitgevoerd volgens de TEWI methode zoals uitgewerkt in hoofdstuk 5. De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in onderstaande tabellen.

**Tabel 6-2** *Emissieverwerking runderdrijfmest*

runderen (kg CO <sub>2</sub> -equivalenten per ton mest)				
emissie factor	referentie	vergisten	nitri/denitri	scheiden (centrifuge)
opslag	103,32	5,44	86,92	103,32
proces	0,00	2,94	148,18	0,00
transport	3,00	3,00	3,00	2,25
aanwending	47,14	46,98	69,54	47,14
hulpstoffen	0,00	-7,23	5,01	2,88
<b>totaal</b>	<b>153,46</b>	<b>51,13</b>	<b>312,64</b>	<b>155,59</b>

**Tabel 6-3** *Emissie kalverdrijfmest*

kalveren (kg CO <sub>2</sub> -equivalenten per ton mest)				
emissiefactor	referentie	vergisten	nitri/denitri	scheiden (centrifuge)
opslag	18,69	0,99	15,69	18,69
proces	0,00	0,53	57,97	0,00
transport	3,00	3,00	3,00	2,25
aanwending	23,79	23,71	36,34	23,79

hulpstoffen	0,00	-1,35	5,27	2,88
totaal	45,48	26,87	118,27	47,61

**Tabel 6-4 Emissieverwerking varkensdrijfmest**

emissiefactor	vleesvarkens (kg CO <sub>2</sub> -equivalenten per ton mest)			
	referentie	vergisten	nitri/denitri	scheiden (centrifuge)
opslag	152,67	8,04	127,32	152,67
proces	0,00	4,35	154,07	0,00
transport	3,00	3,00	3,00	2,25
aanwending	78,29	77,87	124,76	78,29
hulpstoffen	0,00	-10,88	5,01	2,88
totaal	233,96	82,38	414,17	236,09

**Tabel 6-5 Emissieverwerking zeugendrijfmest**

emissiefactor	zeugen (kg CO <sub>2</sub> equivalenten per ton mest)			
	referentie	vergisten	nitri/denitri	scheiden (centrifuge)
opslag	88,83	4,68	73,98	88,83
proces	0,00	2,53	82,15	0,00
transport	3,00	3,00	3,00	2,25
aanwending	43,64	43,47	70,66	43,64
hulpstoffen	0,00	-6,41	5,15	2,88
totaal	135,47	47,28	234,95	137,60

**Tabel 6-6 Emissieverwerking kippendrijfmest**

emissiefactor	kippen (kg CO <sub>2</sub> -equivalenten per ton mest)			
	referentie	vergisten	nitri/denitri	scheiden (centrifuge)
opslag	306,60	16,15	252,82	306,60
proces	0,00	8,74	230,33	0,00
transport	3,00	3,00	3,00	2,25
aanwending	100,79	100,38	166,52	100,79
hulpstoffen	0,00	-21,89	4,86	2,88
totaal	410,39	106,38	657,53	412,52

Op basis van de resultaten van de berekening wordt het volgende opgemerkt:

- de meest bepalende activiteit die van invloed is op de emissie van broeikasgassen zijn de biologische omzettingsprocessen tijdens opslag of verwerking van de mest;
- van alle beschouwde scenario's wordt met behulp van vergisten de hoogste reductie bereikt van broeikasgasemissies ten opzicht van de referentiesituatie. Dit wordt met name gerealiseerd door opvang en nuttige toepassing van het geproduceerde biogas als energiedrager;
- van alle beschouwde scenario's heeft de gedefinieerde biologische stikstofverwijdering de meest negatieve impact op de emissie van overige broeikasgassen. Dit wordt met name veroorzaakt door de relatieve hoge productie van lachgas tijdens de biologische omzetting van stikstof in de mest.

## 6.3.2 Verwerking van vaste mest

Doordat de eigenschappen van vaste mest verschillen van drijfmest worden andere verwerkingsscenario's voorzien. In de volgende tabellen worden de verschillende mogelijkheden met elkaar vergeleken.

**Tabel 6-7 Verwerking kippenmest <50% d.s.**

emissiefactor	kippen <50% d.s. (kg CO <sub>2</sub> -equivalenten per ton mest)		
	referentie (extensief composteren)	intensief composteren	drogen
opslag	463,27	56,72	56,72
proces	0,00	0,00	0,00
transport	3,00	3,00	2,25
aanwending	59,09	- 21,00	141,97
hulpstoffen	5,46	19,08	449,41
<b>totaal</b>	<b>530,82</b>	<b>58,00</b>	<b>650,35</b>

**Tabel 6-8 Verwerking kippenmest >50% d.s.**

emissiefactor	kippen >50% d.s. (kg CO <sub>2</sub> -equivalenten per ton mest)				
	referentie (extensief composteren)	intensief composteren	drogen	verbranden (roosteroven)	verbranden (wervelbed)
opslag	633,12	95,72	95,72	95,72	95,72
proces	0,00	0,00	0,00	0,00	1004,93
transport	3,00	3,00	2,25	6,00	6,00
aanwending	89,94	- 20,00	220,17	3,23	3,23
hulpstoffen	5,46	22,56	255,25	-256,26	-256,26
<b>totaal</b>	<b>731,52</b>	<b>102,00</b>	<b>573,38</b>	<b>- 151,00</b>	<b>854,00</b>

**Tabel 6-9 Verwerking vleeskippen mest**

emissiefactor	vleeskippen (kg CO <sub>2</sub> -equivalenten per ton mest)				
	referentie (extensief composteren)	intensief composteren	drogen	verbranden (roosteroven)	verbranden (wervelbed)
opslag	657,97	99,44	99,44	99,54	99,54
proces	0,00	0,00	0,00	0,00	1032,89
transport	3,00	3,00	2,25	6,00	6,00
aanwending	90,69	- 22,00	220,93	3,37	3,37
hulpstoffen	5,46	23,08	291,87	-275,13	-275,13
<b>totaal</b>	<b>757,11</b>	<b>103,00</b>	<b>614,48</b>	<b>- 166,00</b>	<b>866,00</b>

Verbranden van (droge) kippenmest is een zeer gunstige optie door de hoge energie opbrengst, wanneer dit gebeurt bij de juiste temperatuur. Wanneer in een wervelbed verbrand wordt bij een temperatuur tussen de 800-900°C vindt wel een N<sub>2</sub>O emissie plaats die op kan lopen tot 18 wt% van de hoeveelheid ingebrachte N.

## 6.3.3 Verwerking van mest, algemeen

Over het algemeen kan gesteld worden dat de emissie van broeikasgassen in hoge mate afhankelijk is van de mesteigenschappen. Ten eerste zijn concentraties van stikstof en organische stof in mest van grote invloed, maar ook de fractie biologische afbreekbaar materiaal speelt een grote rol. Hierdoor zijn de emissies bij vaste (kippen) mest veel groter dan bij drijfmest (runderen).

Verder is in de analyse te zien dat transport een relatief beperkte invloed heeft op de broeikasgasemissies.

## 7 Evaluatie

Het hoofddoel van dit onderzoek was het opstellen van een methodiek, volgens het zogenaamde TEWI-concept (Total Equivalent Warming Impact), voor de berekening van het reductiepotentieel voor de emissie van broeikasgassen ten gevolge van de inzet van mestbe- en verwerkingstechnieken. Daarnaast is, op basis van de ontwikkelde methodiek, voor een aantal kansrijke technieken een indicatie gegeven de onderlinge ranking ten aanzien van het reductiepotentieel voor de emissie van broeikasgassen. In dit hoofdstuk komen kort een aantal aandachtspunten en kanttekeningen aan de orde, die in het onderzoek naar boven zijn gekomen.

### 7.1 TEWI-methodiek

- Ten behoeve van de eenvoud van het model is gekozen om het aantal in te voeren parameters te beperken. Dit is gerealiseerd door in het model een aantal vooraannames te doen en sommige situaties te veralgemeniseren. Dit heeft een positief effect op de toegankelijkheid en eenduidigheid maar hiermee wordt een concessie gedaan aan de nauwkeurigheid van het model. Het model is derhalve uitermate geschikt om inzicht te krijgen in het emissiereductiepotentieel voor overige broeikasgassen voor een groot aantal mestbehandelingsinitiatieven. Het is echter niet geschikt om de specifieke emissie te bepalen die een korte periodevrijkomt. Het model is dan ook bedoeld voor het bepalen van het emissiereductiepotentieel, gedurende de levensfase van het initiatief maar dient niet gebruikt te worden om de daadwerkelijke emissie gedurende een beperkte periode te kwantificeren.
- Eén van de factoren die niet kan worden meegenomen in de theoretische beoordeling van de broeikasgassen is het effect van de bedrijfsvoering van de installatie. De uiteindelijke emissie van broeikasgassen kan in een belangrijke mate beïnvloed worden door de wijze waarop de installatie bedreven wordt (operationeel, onderhoud etc.). Gebruikers van het model kunnen hiervan afwijken indien zij dit afdoende kunnen onderbouwen.
- Het ontwikkelen van de systematiek en de analyse van de voorkeursscenario's heeft zich met name gericht op de verwerking van pure mestsoorten. De emissie tengevolge van het bijmengen van andere stromen (co-vergisten, bijstoken etc.) behoorde niet tot de scope van dit onderzoek. Indien relevant dan kan hieraan op eenvoudige wijze tegemoet worden gekomen door wijzigingen aan te brengen in de samenstelling van de ingaande biomassasamenstelling en een nieuw type uitgangsmateriaal te definiëren. Additioneel onderzoek blijft echter noodzakelijk om de samenstelling van de andere materialen evenals de invloed van deze materialen op de procesparameters te achterhalen.
- Ter bepaling van de voorkeursscenario's is gekeken naar de huidige ervaringen en initiatieven in het binnen- en buitenland.

Opgemerkt wordt dat deze ontwikkelingen erg afhankelijk zijn van het vigerende beleid en de hiermee samenhangende technologische vernieuwingen. De analyse van voorkeursscenario's zal dus met enige regelmaat herhaald dienen te worden.

- De gehanteerde systematiek is zodanig dat deze geen diepgaand technisch inhoudelijk inzicht vereist om het emissiereductiepotentieel van een initiatief te berekenen. Hierbij wordt echter opgemerkt dat naarmate er meer wordt afgeweken van de berekende basistechnieken en voorkeursscenario's er meer inhoudelijke kennis noodzakelijk is voor het berekenen van de emissie.
- Om de gebruiksvriendelijkheid en gemak te bevorderen wordt aangeraden om het model, na bewezen toepasbaarheid, te digitaliseren en als softwareprogramma ter beschikking te stellen. Gezien de hoge herhalingsfactor in de deelberekeningen leent deze berekening zich namelijk uitermate goed om te worden gedigitaliseerd. Op deze wijze wordt de ontwikkelde berekeningssystematiek nog toegankelijker gemaakt voor de individuele initiatiefnemer.

## 7.2 Validatie en hardheid getallen

Het model gaat uit van verschillende, vooraf gedefinieerde input gegevens. Deze gegevens zijn gebruikt voor het opzetten van de methodiek evenals het bepalen van de onderlinge ranking van onderling verschillende technieken. In onderstaande worden de diverse gegevens gecategoriseerd en wordt per categorie de hardheid weergegeven:

- mestkarakteristieken (Bijlage 5);  
De concentratie gegevens van de verschillende mestsoorten zijn verkregen uit de database van het CBS. Dit is het gemiddelde van de mest over 2001. Dit is een goede weergave van de huidige situatie. Naar verwachting zal de mestsamenstelling in de loop der jaren enigszins veranderen door ander veevoer of andere voeromstandigheden, maar op korte termijn worden daar geen grote veranderingen in verwacht. Updaten van deze getallen lijkt, zonder rigoureuze wijzigingen in de branche, niet noodzakelijk.
- Emissiekentallen (bijlage 7)  
De gebruikte emissiekentallen, bijvoorbeeld de productie van chemicaliën uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-equivalenten en de emissiefactor voor het aanwenden van mest en kunstmest zijn gebaseerd op breed geaccepteerde en vastgestelde getallen. Deze zijn vaak een gemiddelde van een land, en geven het huidige kennisniveau en situatie weer. Daarnaast zijn de emissiekentallen ten gevolge van de productie van grondstoffen en chemicaliën gebaseerd op een benadering die veel overeenkomst vertoont met een LCA. Naar verwachting zullen deze getallen periodiek aangepast worden aan het nieuwe kennisniveau en nieuwe situatie. Naar verwachting dienen deze getallen elk jaar geëvalueerd en aangepast te worden..
- omzettingsfactoren (tabel 4.4)  
Het biologisch afbreekbare deel is gebaseerd op literatuurstudies (o.a. Haug). Deze gegevens zijn gebaseerd op batchproeven en geven een goed beeld van de realiteit. Updaten van deze gegevens op korte termijn lijkt niet noodzakelijk. De thermische of chemische omzetting van biomassa is gebaseerd op literatuurgegevens met een terugkoppeling naar praktijkervaringen. Aanvulling of aanpassing zal met name noodzakelijk zijn bij een sterke doorontwikkeling van een bestaande techniek (b.v. verbranding) of



de introductie van een nieuwe, kansrijke technologie (bv torrefactie). Updaten en aanvullen van deze gegevens is dus sterk afhankelijk van de ontwikkelingen die zich op dit gebied voordoen. Input zal met name geleverd worden door de gebruikers van deze methode en evaluatie van de huidige getallen zal eens per 1 á 2 jaar nodig zijn.

- hulpstofgebruik en energieverbruik/ productie (tabel 4.7)  
De consumptie van hulpstoffen en energie is gebaseerd op een gemiddelde situatie zoals dit is opgegeven in de literatuur, leveranciers en bekende praktijkwaarden.  
De productie van energie uit vergisting, verbranding en vergassing is gebaseerd op een combinatie van praktijkervaring en theoretische berekeningen. Zoals gesteld zijn de getallen een weergave van de gemiddelde situatie per basistechniek. Er kan gesteld worden dat dit in een groot aantal situaties afdoende is om het verbruik te bepalen, specifieke toepassingsgebieden uitgezonderd. Evalueren en aanpassen van deze gegevens dient plaats te vinden door de gebruikers van het model, met name die initiatiefnemers die innoverende technieken toepassen. Jaarlijks dienen de gebruikte kentallen getoetst en eventueel aangepast te worden.
- procesemissies (tabel 4.1 (praktijkwaarden) en tabel 4.4 (theoretisch vastgestelde waarde))  
De emissies van broeikasgassen uit de massabalansen zijn gebaseerd op een beperkt aantal gegevens uit de literatuur en “expert opinions”. De waarde van de literatuurgegevens is indicatief maar vormt, in combinatie met specifieke kennis, een goede basis voor het berekenen van de emissie. De resultaten geven een goede indicatie van een (jaargemiddelde) emissie van een initiatief, maar kunnen echter niet gebruikt worden als specifieke indicator van de milieu-impact. Validatie van de getallen kan plaatsvinden door de theoretisch bepaalde resultaten uit het model te vergelijken met de in de praktijk gemeten waarden. De beschikbaarheid van praktijkmetingen van broeikasgassen is echter beperkt en de beschikbare metingen zijn vaak niet duidelijk omschreven. Het betreft vaak metingen aan een geheel systeem (opslag, verwerking en afzuiging stal) in plaats van de meting aan een specifieke basissysteem. Daarnaast zijn de metingen uitgevoerd over een beperkte tijdspanne (paar uur) waardoor de spreiding in de resultaten vaak groot is. Vanwege de beperkte hoeveelheid en de geringe betrouwbaarheid van de praktijkwaarden is het niet goed mogelijk om hiermee het model te valideren. Aanvullende metingen aan praktijksystemen dragen bij aan een verdere validatie en verbetering van het model.

### 7.3 Voorkeursscenario's

- Er is aangetoond dat met name de procesemissies (inclusief opslag) evenals de emissies ten gevolge van aanwending bepalend zijn voor de uiteindelijke emissie van broeikasgassen. Daarnaast geldt dat, in die gevallen waar veel energie geproduceerd of verbruikt wordt, de emissie die in het model ondergebracht is onder het kopje hulpstoffen (toeslagstoffen, materialen en energie) zeer significant is. Het transport lijkt geen significante bijdrage te leveren aan de emissie van broeikasgassen.
- Bij een nadere beschouwing van de gehanteerde systematiek lijkt het in sommige situaties alsof het produceren en op het land brengen van kunstmest gunstiger is dan het aanwenden van dierlijke mest. Uitgaande van de stikstofbalans geldt per ton opgebrachte stikstof:

1 ton dierlijke-N zorgt voor 8.556 [kg CO<sub>2</sub>-eq/ton N] berekend als volgt:

2,76 wt% aan  $N_2O$  \*310 (GWP) = 8.556 [kg  $CO_2$  eq/ton N]  
 1 ton kunstmest-N zorgt voor 14.039 kg [ $CO_2$ -eq/ton N] berekent als volgt:  
 1,69 wt% aan  $N_2O$  \*310 (GWP)+8800 (productie)=14.039 kg [ $CO_2$  eq/ton N]

Het effect zit hem in het feit dat de emissiefactor voor dierlijke mest gedefinieerd is op totaal-N, terwijl hiervan slechts een gedeelte bestaat uit minerale stikstof. Aanvulling of vervanging van kunstmest vindt echter plaats indien de hoeveelheid minerale stikstof in de nieuwe situatie is afgenomen respectievelijk is toegenomen. Bij bijvoorbeeld het verbranden van mest (en daarmee het onttrekken van alle stikstof aan de keten) zal dit gecompenseerd worden met slechts die hoeveelheid kunstmest, die gelijk staat aan de minerale fractie in de oude situatie.

De vermeende discrepantie komt voort uit het feit dat aangenomen wordt dat de organisch gebonden stikstof niet vervangen hoeft te worden door kunstmest-N. Een alternatieve factor die kan worden aangehouden als hoeveelheid kunstmest die moet worden aangewend om organische mest te vervangen is 0,95 \* minerale stikstof en 0,45\* organische stikstof (IMAG, Dijk, 1999). Bij gebruik van deze factor is het effect minder relevant.

Het is echter de mening van de schrijvers van dit rapport dat kunstmest nooit als een volledige vervanger van dierlijke mest gezien kan worden; dierlijke mest bevat een groot aandeel van de benodigde sporenelementen en maakt deel uit van een kringloop van nutriënten. Dierlijke mest is dus over de lange termijn wel duurzamer dan kunstmest.

- Als referentiesituatie voor vaste mest is ongecontroleerde opslag gekozen, vergelijkbaar met extensief composteren. De activiteit van de processen die zich hierin afspelen is o.a. afhankelijk van het vochtgehalte in de mest. In sommige gevallen zou deze vochtconcentraties wel eens onder de kritische grens kunnen komen waardoor de biologische processen stoppen evenals de emissie van methaan en lachgas. Net als bij de overige verwerkingstechnieken is de emissie die hierbij plaatsvindt dus sterk afhankelijk van de bedrijfsvoering maar de kans dat bovenstaande effecten optreden lijkt significant aanwezig. Bij de berekeningen is uitgegaan van 95% afbraak, en de daarbij behorende  $CH_4$  en  $N_2O$  productie dat, gezien bovenstaande overweging, wel eens een overschatting zou kunnen zijn van de daadwerkelijke emissie. Aanvullend onderzoek zou uitsluitel kunnen bieden in hoeverre de in dit onderzoek gedefinieerde uitgangspunten in lijn zijn met de praktijk.

#### 7.4 Mestverwerking

Zoals aangegeven in de inleiding van dit rapport heeft de toepassing van een mestverwerkingsysteem een aantal voordelen die onder te verdelen zijn in de volgende thema's:

- oplossen mestproblematiek;
- oplossen milieuproblematiek die samenhangt met de opslag en bewerking van mest;
- uitbreiden van de activiteiten en genereren van additionele inkomsten;
- reductie van de emissie van broeikasgassen.

De overweging om te investeren in een mestverwerkingsysteem is afhankelijk van de mate waarin de initiatiefnemer behoefte heeft aan een oplossing voor

een of een combinatie van bovenstaande thema's en de kosten die hiermee samenhangen.

Ten aanzien van de **mestproblematiek** kan het volgende gemeld worden:

In de jaren zeventig was er voor het eerst sprake van een mestoverschot en werd mestverwerking gezien als een (deel)oplossing van de hieraan gerelateerde problemen (fosfaatproblematiek, eutrofiëring van oppervlaktewater, ammoniakemissie, verzuring, nitraatuitspoeling naar grondwater).

Vandaag de dag zijn veel van deze milieuproblemen onder controle. Bovendien is het de vraag of er in Nederland nog sprake is van een mestoverschot. De afname van het aantal dieren in de afgelopen jaren (veel veehouderijbedrijven zijn gestopt, al dan niet uitgekocht door de overheid) en de verplichting tot het afsluiten van mestafzetcontracten, heeft tot gevolg gehad dat de mestproductie meer en meer afgestemd is op de afzetruimte van mest in de Nederlandse akkerbouw. Doordat het mestoverschot sterk is afgenomen, zijn de mestafzetkosten voor de veehouder eveneens gedaald, zodat mestverwerking een relatief steeds duurder alternatief wordt. De kans dat geïnvesteerd wordt voor het oplossen van een mestoverschot op lokaal of regionaal niveau wordt derhalve gering geacht. Dit wordt overigens bevestigd door een aantal marktpartijen (zie volgende paragraaf)

Het behandelen van mest kan een oplossing bieden voor de emissie van ammoniak en geur. Oplossen of reduceren van deze **milieuproblemen** levert op dit moment echter geen enkel voordeel op voor de initiatiefnemer. Het reduceren van de ammoniakemissie evenals het reduceren van de stankcirkel door verwerking van de mest levert op dit moment nog geen additioneel uitbreidingsvoordeel op voor de initiatiefnemer. Een oplossing hiervoor zou kunnen zijn dat de initiatiefnemer gecompenseerd wordt door de omvang van de activiteiten o.a. te koppelen aan de daadwerkelijk geëmitteerde hoeveelheid ammoniak en geur.

De huidige situatie is echter zodanig dat investeringen in mestverwerkings technieken - met als insteek het oplossen van de milieuproblematiek rond mest - alleen dan overwogen wordt indien de totale bedrijfsactiviteiten in gevaar dreigen te komen door de opgelegde milieunormen op het gebied van geur en ammoniak. De mogelijkheid om met mestverwerking een oplossing te creëren voor een aantal specifieke, aan mest gerelateerde, milieuproblemen (stank en ammoniak) kan de overweging zijn om te investeren in een dergelijk systeem. Dit beperkt naar verwachting tot een aantal incidentele gevallen (door die situatie).

Deze afweging kan verder gestimuleerd worden door op bestuurlijk niveau een koppeling te leggen tussen mestverwerking, de daadwerkelijke emissie van ammoniak en stank en de vergunde ruimte voor bedrijfsactiviteiten.

Indien investeren in een mestverwerkinginstallatie een **financieel rendabele activiteit** is dan zal dit door een aantal initiatiefnemers overwogen worden.

Echter bij een groot aantal verwerkingssystemen zijn de inkomsten in sterke mate afhankelijk van de prijs die wordt verkregen voor het verwerken van mest op het land (mestafzetprijzen). De schommelingen van de mestprijzen, het moeizaam verkrijgen van lange termijn leveringscontracten en de daaraan gekoppelde onzekerheid ten aanzien van de bedrijfsvoering wil nog wel eens de reden zijn dat wordt afgezien van een dergelijk initiatief. Indien dit technisch mogelijk is kan het risico ten aanzien van de prijs van de mest en leveringscontracten gespreid worden door meerdere stromen, ook niet meststromen, te contracteren (co-vergisting, bijstoken). Daarnaast kan gezocht wor

den naar een methode, waardoor de behandelde mest een hoge toegevoegde waarde krijgt (b.v. hygiëniseren).

Voor een groot aantal mestverwerkingssystemen is overigens aangetoond dat deze, zonder additionele inkomsten niet rendabel zijn. Indien echter voldoende zekerheid verkregen kan worden omtrent de financiële rentabiliteit van de investering dan zal een aantal initiatiefnemers bereid zijn om te investeren in dergelijke technieken.

Een aantal mestverwerkingstechnieken leidt tot de reductie van **broeikasgassen**. Alhoewel iedereen begaan is met het klimaat, zal dit feit op zich niet leiden tot een investering in dergelijke technieken. Voor die verwerkingssystemen die (groene) energie produceren, geldt dat er een additionele financiële incentive ontstaat om te investeren. Gezien het feit dat een aantal technieken een positief effect hebben op de reductie van broeikasgassen zou de overheid kunnen overwegen om de meest kansrijke technieken (financieel) te stimuleren door het beschikbaar stellen van additionele subsidies of ondersteuning te bieden bij het verlagen van financiële of bestuurlijk/ juridische drempels.

Samengevat geldt dat technieken met als insteek hygiënisatie, het produceren van duurzame energie of het beschikbaar maken van meststoffen een financiële insteek hebben en daardoor meer toekomst. Hierbij blijft gelden dat deze bedrijfseconomisch aantrekkelijker dienen te zijn dan de huidige afzetroutes voor mest.

## 7.5 Marktpartijen

In het kader van dit onderzoek zijn diverse partijen benaderd die hun visie hebben gegeven op mestverwerking. Dit betreft met name vertegenwoordigers die actief zijn in of werken binnen de agrarische sector.

Over het algemeen waren alle partijen het over eens dat de behoefte aan mestverwerking voor het oplossen van de overbemesting niet zo zeer meer aan de orde is. Over het toepassen van andere vormen van mestverwerking zijn twee algemene visies naar voren gekomen:

- De eerste mening is dat mestverwerking toegepast zou kunnen worden op centraal/regionaal niveau, wanneer de verwerking een toegevoegde waarde heeft en dit kan plaatsvinden onder de mestafzet prijs. Op dat moment wordt het interessant voor boeren om hun mest te behandelen in een verwerkingssysteem, i.p.v. het aan te bieden bij een mesthandelaar voor een hogere mestafzetsprijs. Er is echter geen directe behoefte om langdurige contracten aan te gaan met externe partijen die eigenaar zijn van mestverwerkingsinstallaties. Daarnaast is men in een aantal gevallen bereid om zelf te investeren in een mestverwerkingsinstallatie, indien een aantal randvoorwaarden worden ingevuld (bv. versoepeling van de besluitvormingsprocedure voor plaatsing, versoepeling van de norm zodat bijmengen van niet meststromen ook mogelijk wordt, duidelijkheid en zekerheid omtrent vergoeding groene stroom etc.)
- De tweede mening is dat men voor het differentiëren van de inkomsten een mestverwerkingsinstallatie als nevenactiviteit op boerderijniveau zou willen bedrijven. Ook hier geldt dus weer dat het een toegevoegde waarde moet hebben en financieel rendabel is. Dit kan gerealiseerd worden door het genereren van extra opbrengsten door bijvoorbeeld de productie van energie, hoogwaardige meststoffen of creëren van uitbreidingsruimte voor de bedrijfsactiviteiten. In het buitenland (Duitsland en Scandinavië) is dit gerealiseerd door bijvoorbeeld covergisting van mest op boerderijschaal

toe te staan. In Nederland is dit binnen de bestaande wetgeving (nog) niet mogelijk op grote schaal.

## 8 Conclusies en aanbevelingen

### 8.1 Beoordeling mestverwerkingsystemen

Met behulp van de ontwikkelde methode is een analyse uitgevoerd van de broeikasgasemissies van de diverse voorkeursscenario's. Dit heeft geresulteerd in de volgende tabel waarin de totale emissiefactor voor de diverse initiatieven is weergegeven.

**Tabel 8-1** *Emissie Reductie Potentieel drijfmest bij toepassen voorkeursscenario's*

type mest	ERP [% besparing t.o.v. de referentiesituatie]				
	runderen	kalveren	varkens	zeugen	kippen
vergisten	67%	41%	65%	65%	74%
nitrificatie/denitrificatie	-104%	-160%	-77%	-73%	-60%
scheiden/centrifugeren	-19%	-5%	-1%	-2%	-1%

Uit het bovenstaande overzicht blijkt dat het vergisten van drijfmest het meest positieve effect heeft op de reductie van de (overige) broeikasgassen terwijl de route nitrificatie/ denitrificatie een negatief effect heeft op de emissie van broeikasgassen ten opzichte van de referentiesituatie.

Het positieve effect van vergisten op de totale broeikasgasemissie heeft met name te maken met het omzetten van methaan (met een GWP van 21) naar energie en CO<sub>2</sub>, dat gezien kan worden als broeikasgasneutraal. De negatieve score van initiatieven op het gebied van nitrificatie en denitrificatie wordt vooral veroorzaakt door de additionele vorming van lachgas tijdens de omzettingsfasen.

De emissie in de referentiesituatie met name veroorzaakt wordt door de ongecontroleerde emissie van methaan tijdens opslag evenals de emissie van lachgas ten gevolge van het aanwenden van de mest op het land.

**Tabel 8-2** *Emissie Reductie Potentieel vaste mest bij toepassen voorkeursscenario's*

type mest	ERP [% besparing t.o.v. de referentiesituatie]		
	kippen (<50% d.s.)	kippen (> 50% d.s.)	vleeskippen
composteren (intensief)	89%	101%	103%
drogen	-23%	22%	19%
verbranden roosteroven		120%	122%
verbranden wervelbedoven		- 17%	- 14%

Uit het bovenstaande overzicht blijkt dat het verbranden van vaste mestsoorten in een roosteroven met het hoge verbrandingstemperatuur ( $T > 1.000^{\circ}\text{C}$ ) (indien mogelijk) het meest positieve effect heeft op de reductie van broeikasgassen. Dit wordt met name veroorzaakt door de productie van energie.

Hierbij wordt vermeld dat er bij de berekening van dit initiatief wordt verondersteld dat de verbranding plaatsvindt in een roosteroven, met een dermate hoge verbrandingstemperatuur dat er geen lachgas geproduceerd wordt. In geval dit plaatsvindt in een (wervel)bedoven met een lage verbrandingstemperatuur ( $T < 1.000^{\circ}\text{C}$ ) moet rekening gehouden worden met de vorming van lachgas in de orde grootte van 4 – 20% van de totale stikstoflast door de oven, en is het voordeel compleet tenietgedaan.

In zijn algemeenheid kan gesteld worden dat het verwerken van drijfmest in een vergistinginstallatie en het verbranden van vaste mest bij hoge temperatuur ( $T > 1.000^{\circ}\text{C}$ ) en met energierugwinning het meest positieve effect heeft op de reductie van de emissie van broeikasgassen.

## 8.2 Integrale benadering be- en verwerkingstechnieken voor mest

Een integrale beoordeling van de doorgerekende voorkeursscenario's heeft plaatsgevonden door het thema "broeikasgasemissies" gezamenlijk te beschouwen met de overige relevante (mestproblematiek) gerelateerde thema's. Deze overige thema's hebben betrekking op de volgende aspecten:

- de verzurende emissies;
- hergebruik nutriënten
- indicatie van kosten;
- perspectief van de maatregelen voor realisering.

Het nader uitwerken van deze overige thema's behoorde niet tot de scope van dit onderzoek. Hiervoor is uitgegaan van bekende informatie, die is verkregen uit voorgaande studies omtrent mestbe- en verwerkingstechnieken.

In de volgende tabel staat de kwalitatieve beoordeling van technieken voor het behandelen van drijfmest en vaste mest in tabelvorm weergegeven.

**Tabel 8-3 Beoordeling technieken voor het behandelen van drijfmest**

	broeikas-effect	hergebruik <sup>1</sup> nutriënten	verzuring <sup>1</sup>	kosten <sup>2</sup>	perspectief
opslag (ref)	0	-	+		Nvt
vergisten	++	+	+		+
nitrificatie/denitrificatie	--	-	+	€5,20,- per ton operationeel	0
scheiden/centrifugeren	0	+	0		0

1) Rabobank, 1999 2) Infomil 2003

**Tabel 8-4 Beoordeling technieken voor het behandelen van vaste mest**

	broeikas-effect	hergebruik <sup>1</sup> nutriënten <sup>1</sup>	verzuring <sup>1</sup>	kosten <sup>2</sup> (range)	perspectief
opslag (ref) (extensief composteren)	0	-	+	0	Nvt
intensief composteren	+	+	+	€20,- p.t.	+ / 0
drogen	+/-	0	-	€19,- p.t.	0
indampen	+/-	0	-	€19,- p.t.	0
verbranden	++	-	+	-	++
vergassen	++	-	+	€54,- p.t.	+

1) Rabobank, 1999 2) Infomil 2003.

Op basis van bovenstaande, kwalitatieve beoordeling per thema kunnen de volgende algemene conclusies getrokken worden:

- voor de behandeling van drijfmest scoort vergisten op alle thema's beter of gelijkwaardig;
- voor de behandeling van vaste mest lijkt het intensief composteren goed te scoren, alhoewel het effect op de reductie van broeikasgassen minder positief is dan de thermisch behandeling (met energierugwinning);
- de kosten voor verwerking lijken allen hoger te zijn dan de huidige mestverwerkingscontracten. De gevonden waarden voor de kosten zijn echter beperkt toepasbaar en zullen voor een diepgaande analyse verder gedefinieerd en onderzocht dienen te worden;
- een algemene integrale beoordeling van de in beschouwing genomen initiatieven is niet mogelijk, aangezien deze in sterke mate bepaald wordt door de specifieke invalshoek die gebruikt wordt.

### 8.3 Knelpunten en aanbevelingen

Ten behoeve van de TEWI-analyse zijn de volgende knelpunten voorzien en is, waar mogelijk, een aanbeveling gedefinieerd:

- de nauwkeurigheid van het model kan worden verbeterd door additioneel onderzoek te verrichten aan de processen. Dit is echter een kostbare en tijdrovende zaak en de vraag is in hoeverre het noodzakelijk om de nauwkeurigheid verder te verbeteren;
- er bestaat een discrepantie tussen de berekeningsmethode voor de lachgasemissie ten gevolge van de aanwending van dierlijke mest enerzijds en kunstmest anderzijds. Hiertoe dient in eerste instantie nagegaan te worden in hoeverre organisch gebonden stikstof bijdraagt aan de emissie van broeikasgas en tevens gezien dient te worden als een voedingsstof voor de planten. Daarnaast zal onderzocht dienen te worden in hoeverre er andere emissiefactoren bekend zijn voor de aanwending van dierlijk mest;
- bij bewezen toepasbaarheid van het model kan het model gedigitaliseerd worden om de toegankelijkheid verder te verhogen en het model (en daarmee het promoten van mestverwerkingstechnieken in relatie tot de reductie van broeikasgassen) breed in Nederland in te zetten.

Ten aanzien van de marktperspectieven van mestverwerkingstechnieken in relatie tot de reductie van de emissie van broeikasgassen is het volgende geconstateerd:

- in hoofdstuk 7 zijn een aantal afwegingen beschreven die kunnen leiden tot de beslissing tot investering. Uit een analyse van aspecten blijkt in zijn algemeenheid dat een initiatiefnemer bereid is om te investeren indien in de eerste plaats de financiële rentabiliteit voldoende goed is. Daarnaast is de bedrijfszekerheid een belangrijke factor;
- een beslissing tot investeren zal genomen worden indien een aantal zekerheden kunnen worden gegeven. Voor een aantal aspecten kan de overheid hierin faciliteren en zich zelf een sturende rol toe-eigenen. Acties betreffen maatregelen op gebied van bestuurlijke/ juridische aard en verschaffen van meer economische zekerheid op langere termijn. Hieronder staan een aantal knelpunten opgesomd die door of in samenwerking met de overheid opgelost kunnen worden:
  - versoepelen van wetgeving voor het verwerken van eindproduct (digestaat, dunne fractie, assen);
  - versoepelen van wetgeving voor het verwerken van additionele –niet mest- stromen voor een hogere energieproductie (vergisten, vergassen, verbranden) of structurele een verbetering van het eindproduct;



- versoepelen juridische procedures voor plaatsing en operatie van een mestverwerkingsinitiatief;
- toekennen van de middels mestverwerking gecreëerde (milieu)ruimte aan de initiatiefnemer, zodat uitbreiding van de activiteiten kan plaatsvinden binnen de vigerende milieueisen (bijv.: door te investeren in een vergistingsinstallatie zal de specifieke emissie per dier van geur en ammoniak afnemen. De ontstane milieuruimte in de vergunning kan dan door de overheid (deels) teruggegeven worden aan de initiatiefnemer, zodat deze het bedrijf kan uitbreiden). Nader onderzoek om de implicaties van deze kostenneutrale stimuleringsregeling te onderzoeken zal noodzakelijk zijn.

## Referenties

Amstel, A.R. van, Swart, R.J., Krol, M.S., Beck, J.P., Bouwman, A.F., Hoek, K.W. van der (1993) Methane. The other greenhouse gas. Research and policy in the Netherlands. Report no: 481507001, RIVM.

Anoniem (1995) Verslag van de onderzoeken ondernomen tijdens de periode 1 januari 1993 tot en met 31 december 1994. Comité voor onderzoek van mestverwerkingstechnieken (I.W.O.N.L.), Gent, januari 1995.

Armesto L., Boerrigerr, H., Bahillo, A., Otero., J. (2000) N<sub>2</sub>O emissions in Circulating Fluidised Bed Combustion: Effect of fuel properties and operating conditions. Ciemat en ECN.

Armesto, L., Boerrigetr, H., (2002) Biomass as reburn fuel to reduce nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) emissions form coal-fired circulated fluidised bed combustors. proceedings 12th European conference and Technology exhibition on biomass for energy, industry and climate protection, 17-21 june Amsterdam.

Ballastero, T.P., Douglas, E.M. (1996) Comparison between the nitrogen fluxes from composting farm wastes and composting yard wastes. Trans. ASAE 39, S. 1709-1715.

Barton, J.R., Dalley, D., Patel, V.S. (1996) Life cycle assesment for waste management. Waste management 16:1-3.

Burton, C.H., Sneath, R.W., Farrent, J.W. (1993a) The effect of continuous aerobic treatment on the fate of the nitrogen in piggery slurry. In: Nitrogen flow in pig production and environmental consequences, Symposium proceedings, Wageningen, 8-11 June, 1993 (Eds. Verstegen, M.W.A.; den Hartog,

Burton, C.H., Sneath, R.W., Farrent, J.W. (1993b) Emissions of nitrogen oxide gases during aerobic treatment of animal slurries. Short communication. Bioresource Technology, 45 (1193), p. 233-235.

Burton, CH (ed.) (1997) Manure management. Treatment strategies for sustainable agriculture. Silsoe Research Institute, Silsoe, UK. ISBN 0 9531282 0 2.

CBS (2003) [www.cbs.nl/statline](http://www.cbs.nl/statline)

Cumby, T.R., Nigro, E., Sandars, D.L., Canete, C., Williams, A.G., Scotford, I.M., Audsley, E. (2000) Cleaning up natural waste on land. Anaerobic digestion of agricultural wastes. Congres paper 14.45; 8/9/2000. Silsoe Research Institute, UK.

- Czepiel, P., Douglas, E., Harris, R., Crill, P. (1996) Measurements of N<sub>2</sub>O from composted organic wastes. *Environ. Sci. Technol.* 1996, 30, p. 2519-252.
- Dijk, V. van (1999) Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw en vollegrondsgroentegewassen. *Praktijkonderzoek voor de Akkerbouw en de Vollegrondsgroenteteelt*, Lelystad
- Dings, 2003, mondelinge mededeling dhr. Dings, CE Delft
- Feenstra, L., Van Voorneburg, F. (1992) Mestscheiding bij centrale mestverwerking. *Informatie Centrum Mestverwerking*, 192 pp.
- T. Feyaerts, Huybrechts D., Dijkmans R. (2002) Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor mestverwerking, tweede editie.
- Gastec (2001) Onderzoek naar de Emissie van het aardgasgestookte W/ K gasmotorenpark. Apeldoorn.
- Gastel, van, J.P.B.F., Thelosen, J.G.M. (1995) Vermindering van het volume van zeugenmest door middel van omgekeerde osmose. *Proefverslag P 1.129. Praktijkonderzoek Varkenshouderij*, Rosmalen. ISSN 0922-8586.
- Gijsel, P. de, Hol, J.M.G., Starmans, D.A.J. (2001a) Gasvormige emissie bij mestverwerkingsinstallaties. *Agramaat – Systeem Kon. Wageningen*, IMAG-nota P 2001-116, 19 pp. (incl. bijlagen).
- Gijsel, P. de, Hol, J.M.G., Starmans, D.A.J. (2001b) Gasvormige emissie bij mestverwerkingsinstallaties. *Biotower – Systeem Van Balkom. Wageningen*, IMAG-nota P 2001-115, 20 pp. (incl. bijlagen).
- GTZ (s.a.) (1978) Production and utilization of biogas in rural areas of industrialized and developing countries., *Schriftenreihe der GTZ*, No. 97, p. 63, after: Felix Maramba, *Biogas and waste recycling – The Philippine experience*, Metro Manila, Phillipines,
- Hashimoto, A.G., Varel, V.H., Chen, Y.R. (1981) Ultimate methane yield from beef cattle manure. Effect of temperature, ration constituents, antibiotics and manure age. *Agric. Wastes*, 3 (4), p. 241-56.
- Haug, R.T., (1993) *The practical handbook of compost engineering*,
- Hellebrand, H.J., Kalk, W.-D. (2000) Emissions caused by manure composting. *Agrartechnische Forschung* 6 Heft 2, S. E 26-E 31.
- Hellebrand, H.J., Kalk, W.-D. (2001) Emissions of methane, nitrous oxide, and ammonia from dung windrows. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 60, p. 83-87.
- Hoeksma, P., Zeeman G. (1986) Biogas production from cow and pig slurry under mesophilic and psychrophilic conditions. *Proceedings of the 1986 International Congress on Renewable Energy Sources*, 18-23 May, 1986, Madrid, Spain, p. 503-511.
- Husted, S. (1994) Seasonal variation in methane emission from stored slurry and solid manures. *Journal of Environmental Quality*, 23: 3, pp. 585-592.

Hüther, L., Schuchardt, F., Willke, T. (1997) Emissions of ammonia and greenhouse gases during storage and composting of animal manures. In: Proceedings of the international symposium on ammonia and odour control from animal production facilities; pp. 327-334. October 6-10, 1997, Vinke-loord, The Netherlands. ISBN 90-9011059-3.

IPCC (1996) revised 1996 guidelines for national greenhouse gas inventories: reference manual.

IPCC (2001) Good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories.

Infomil 2003, [www.infomil.nl](http://www.infomil.nl)

KEMA (1997) Haalbaarheidsstudie pluimveemestverbranding, Arnhem, 7 augustus 1997.

Kroeze, C. (1994) Nitrous oxide (N<sub>2</sub>O). Emission inventory and options for control in the Netherlands. RIVM (report 773001004).

Kuroda, K., Osada, T., Yonoaga, M., Kanematu, A., Nitta, T., Mouri, S., Kojima, T. (1996). Emissions of malodorous compounds and greenhouse gases from composting swine feces. *Bioresource Technology* 56, 265-271.

KWIN-V (2000) Kwantitatieve Informatie Veehouderij 2000-2001. September 2000. Praktijkonderzoek Rundvee, Schapen en Paarden (PR), Lelystad. ISSN 1385-0121.

Lent, van A.J.H. , Dooren, H.J.C. van (2001) Perspectieven mestvergiftiging op Nederlands melkvee- en varkensbedrijven. Rapport 194. Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad. ISSN 1382-0346.

Melse, R.W., Starmans, D.A.J., Verdoes, N. (2002a) Mestverwerking varkenshouderij. Strofilter in foliekas, De Swart te Alphen (NB). Praktijkboek nummer 8, mei 2002. Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad.

Melse, R.W., Starmans, D.A.J., Verdoes, N. (2002b) Mestverwerking varkenshouderij. Mestscheiding en microfiltratie, Dirven te Someren. Praktijkboek nummer 7, april 2002. Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad.

Melse, R.W., Starmans, D.A.J., Verdoes, N. (2002c) Mestverwerking varkenshouderij. Systeem Biovink, Evink te Oosterwolde (Gld). Praktijkboek nummer 6, april 2002. Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad.

Melse, R.W., Starmans, D.A.J., Verdoes, N. (2002d) Mestverwerking varkenshouderij. Manura 2000, Hollvoet te Reusel. Praktijkboek nummer 4, april 2002. Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad.

Melse, R.W., Starmans, D.A.J., Verdoes, N. (2002<sup>e</sup>) Mestverwerking varkenshouderij. Manura 2000, Houbensteyn te Ysselsteyn. Praktijkboek nummer 5, april 2002. Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad.

Mol, R.M., de, Hilhorst, M.A. (2003) Methaan- lachgas en ammoniakemissies bij productie, opslag en transport van mest. Wageningen IMAG (rapport 2003/03).

NOVEM (1998) Energie-efficiënt drogen en verwerken van slib en mest. MINT rapport.

NOVEM (2000) Overzicht en toelichting resultaten project 'Identificatie onbekende bronnen van overige broeikasgassen'. DHV Milieu en Infrastructuur.

NOVEM (2003) [www.robklimaat.nl](http://www.robklimaat.nl)

Otte, S. (2000) Nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) production during conversion of inorganic nitrogen compounds in pure and mixed cultures. Dissertation thesis, Technische Universiteit Delft.

Phillips, V.R., Sneath, R.W., Williams, A.G., Welch, S.K., Burgess, L.R., Demmers, T.G.M., Short, J.L. (1997) Measuring emission rates of ammonia, methane and nitrous oxide from full-sized slurry and manure stores. In: Proceedings of the international symposium on ammonia and odour control from animal production facilities; pp. 197-208. October 6-10, 1997, Vinkeeloord, The Netherlands. ISBN 90-9011059-3.

Poels, J., Rompu, van, K., Verstraete W. (1988) Het concentreren van varkensmest met membraanscheidingstechnieken. Landbouwtijdschrift 41, pp 929-945.

Rabobank (1999) Duurzaamheidsanalyse van technieken voor bewerking en opwaardering van mest, Rabobank Nederland, Stafgroep Duurzame ontwikkeling, Leusden.

Richtlijn mestverwerkingsinstallaties, Infomil Den Haag, februari 2001

RIVM milieucompendium 2001, [www.rivm.nl/milieucompendium](http://www.rivm.nl/milieucompendium).

Smit, A.W., Gent, M.M.C., Brink, R.W. (2001) Market analysis DeN2O market potential for reduction of N2O emissions at nitric acid facilities Jacobs Engineering Nederland, Leiden, mei 2001.

Sommer, S.G. (2000) Effect of composting on nutrient loss and nitrogen availability of cattle deep litter. European Journal of Agronomy 14, 123-133.

Sommer, S.G., Moller, H.B., Petersen, S.O. (2001) Reduktion af drivhusgasemission fra gylle og organisk affald ved biogasbehandling. DJF report nr. 31. Danmarks JordbrugsForskning, Denmark.

Sommer, S.G., Moller, H.B. (2000) Emission of greenhouse gases during composting of deep litter from pig production – effect of straw content. Journal of Agricultural Science, Cambridge 134, 327-335.

Sommer, S.G.; Petersen, S.O.; Sogaard, H.T. (2000) Atmospheric pollutants and trace gases. Greenhouse Gas Emission from Stored Livestock Slurry. Technical report. Journal of Environmental Quality, Vol. 29, May-June 2000, p. 744-751.

Tenuta, M; Barry, DAJ; Fairchild, G; Brauchamp, EG (2001) Nitrous oxide production by manure samples collected from six manure-handling systems. Canadian Journal of Soil Science; 81 (1): p. 33-38.

Spakman, J., Loon, M.M.J. van der, Auweraert, R.J.K. van der, Gielen, D.J., Olivier J.G.J., Zonneveld, E.A. (1997). Methode voor de berekening van broeikasgasemissies. Ministerie van VROM, Publicatiereeks Emissieregistratie Nr. 37, juli 1997.

Staalduinen, L.C. van, (2001) Het landelijk mestoverschot 2003 (Methodiek en berekeningen), LEI, Den Haag, mei 2001.

Starmans, D.A.J., Verdoes, N. (2002) Mestverwerking varkenshouderij. OrgAgro, Bouwmans te Bakel. Praktijkboek nummer 12, juni 2002. Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad.

Starmans, D.A.J., Bruins, M.A., Melse, R.W., Veeken, A.H.M., Willers, H.C. (2003) Mest: Compostering, nutriëntenverliezen en toepassing. Rapport 2003-11, juni 2003. IMAG, Wageningen. ISBN 90-5406-232-0. NUGI 849/NUR 950.

Tijmensens, M.J.A., van den Broek, R.C.A., Wasser, R., Kool, A., de Mol, R.M., Holhorst (2002) Mestvergisting op boerderijschaal in bestaande opslagsystemen. Ecofys, CLM en IMAG i.o.v. NOVEM.

Tongeren, van, W.G.J.M., Have, ten, P.J.W. (1991) Toepassing van omgekeerde osmose bij mestverwerking. Proces Technologie, december 1991, pp 21-25.

Veeken, A., Wilde, V. de., Szanto, G., Hamelers, B. (2002) Passively aerated composting of straw-rich organic pig manure. In: Insam, H.; Riddech, N.; Klammer, S. (Eds.) (2002) Microbiology of composting. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Verdoes, N., Starmans, D.A.J., (2002) Mestverwerking varkenshouderij. "Mest op maat", Mestac te Nuenen. Praktijkboek nummer 10, mei 2002. Praktijkonderzoek Veehouderij, Lelystad.

VROM (2000) Onderzoek herziening toetsingskader mestverwerkingsinstallaties. juli 2000

Vroonhof, J.T.W., Croezen, H.J., Weerd, G.J. de (1997), Scheiding van Bouwafval. Delft, juni 1997

Willers, H.C., Derikx, P.J.L., Ten Have, P.J.W., Vijn, T.K. (1996) Emission of ammonia and nitrous oxide from aerobic treatment of veal calf slurry. J. Agric. Engng. Res. (1996) 63, p. 345-352.

Williams, A.G., Nigro, E. (1997) Covering slurry stores and effects on emissions of ammonia and methane. In: Proceedings of the international symposium on ammonia and odour control from animal production facilities; pp. 421-428. October 6-10, 1997, Vinkeloord, The Netherlands. ISBN 90-9011059-3.

Zeeman, G., Hamelers, H.V.M. (1992) Voorspelling van de methaanproductie in mest-vergisters en mestopslagen. Samenvatting. Report Agricultural University Wageningen.

Zeeman, G. (1991) Mesophilic and psychrophilic digestion of liquid manure. Proefschrift Landbouwniversiteit Wageningen, 3 mei 1991.

Zeman, C., Depken, D., Rich, M. (2002) Research on how the composting process impacts greenhouse gas emissions and global warming. *Compost Science and Utilization*, 10: 72-85.

# **Bijlage 1**

Gemeten emissie gegevens



## Beschrijving combinatietechnieken

### 1. *Systeem de Swart* (Melse et al., 2002a)

Bij het systeem van de Swart wordt de ingaande drijfmest door een strofilter in een dunne en een dikke fractie gescheiden. Het verschil met gangbare strobedfilters is dat dit strofilter in een kas is geplaatst van lichtdoorlatend kunststof folie waardoor milieuschadelijke gassen niet rechtstreeks naar de atmosfeer kunnen worden uitgestoten. Aan de binnenkant van het folie ontstaan condensdruppels als gevolg van de instraling van de zon. Het condens wordt opgevangen als een aparte reststroom.

### 2. *Mestverwerkingssysteem Dirven* (Melse et al., 2002b)

Het mestbewerkingssysteem behandelt mengmest van zeugen, biggen en vleesvarkens. Allereerst wordt een mengsel van spoelvoerstof en mest uit de stallen afgevoerd en in een vijzelpers gescheiden. De dunne fractie uit de vijzelpers wordt opgevangen in een buffertank (50 m<sup>3</sup>) en vanuit de tank deels naar de stal teruggevoerd als spoelvoerstof en deels naar de decanteercentrifuge gevoerd. In de centrifuge wordt de vloeistof gescheiden in een dikke en een dunne fractie. De dunne fractie uit de centrifuge wordt via een tweede buffertank (50 m<sup>3</sup>) naar een microfiltratie-apparaat geleid. In dit apparaat wordt de mestvloeistof in een concentraat en een permeaat gescheiden. Een groot gedeelte van het permeaat wordt gerecirculeerd door het microfiltratie-apparaat.

De dikke fracties uit de vijzelpers en de centrifuge worden gezamenlijk opgevangen in een container en vervolgens in een loods gecomposteerd. Deze compostering vindt plaats zonder actieve beluchting of omzetten.

### 3. *Agramaat* (Gijssels et al., 2001a)

In drie filtratiestappen, een kamerfilterpers, ultra filtratie en omgekeerde osmose wordt in dit systeem de mest gescheiden in een vaste fractie en twee vloeibare fracties. Om de scheiding te vergemakkelijken wordt er emulsie-vlokmiddel toegevoegd. Waterstofperoxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) wordt toegevoegd om micro-organismen te doden.

### 4. *Biovink* (Melse et al., 2002c)

In het biologische mestzuiveringsproces Biovink wordt met behulp van bacteriën organische stof afgebroken en stikstof (deels) omgezet tot stikstofgas (N<sub>2</sub>). De mestbewerkingsinstallatie bestaat uit twee tanks die opgesteld zijn in de buitenlucht en twee bassins. Eén Tank voor nitrificatie en één voor denitrificatie. Toevoer van mest en afvoer van effluent vindt continu plaats. De drijfmest gaat rechtstreeks de denitrificatietank in waar kalk en melasse aan het systeem worden toegevoegd. Hierna gaat het mengsel naar de nitrificatietank waar anti-schuim middel gebruikt wordt. Na de nitrificatie wordt een groot deel gerecirculeerd. De rest wordt bezonken, waarna het vloeibare deel wordt geloosd op het riool.

### 5. *Bouwman* (Verdoes en Starmans 2002)

Bij deze verwerking wordt een mengsel van vaste varkensmest en kalkoemest met strooisel gecomposteerd. De proceslucht wordt gereinigd door middel van een zure wasser. Hierbij wordt zwavelzuur verbruikt.

## 6. Biotower (Gijssel et al., 2001b)

Het Biotower mestverwerkingssysteem is een combinatie van een chemische, mechanische en biologische behandeling. Mest wordt eerst door middel van flotatie gescheiden in een dunne en een dikke fractie, hiervoor wordt polymeer toegevoegd. De dikke fractie wordt afgescheiden en op een bandpers gedroogd en daarna opgeslagen. De dunne fractie wordt vervolgens vanuit een tussenopslag naar een tank met een submerged bed gepompt, waar een afwisselend aëroob/anaëroob milieu heerst voor nitrificatie van de ammoniak. Hierna werd door middel van een afscheider slib afgescheiden en teruggevoerd naar de mesttoevoer van het systeem. De vloeibare fractie kwam vervolgens in een tweede tank die parallel aan de eerste tank was geplaatst.

De behandelde vloeibare fractie wordt overgepompt in een denitrificator, waar zetmeel als koolstofbron aan de slurry werd toegevoegd, zodat het gevormde nitriet en nitraat kon worden omgezet naar N<sub>2</sub>. Via een laatste nabezinktank werd tot slot nog een slibfractie afgescheiden, die werd teruggeleid naar de mesttoevoer van het systeem. De gezuiverde dunne fractie werd geloosd op het riool.

## 7. Mest op maat (Verdoes, Starmans 2002a)

Op basis van ruwe drijfmestsoorten worden door een gecontroleerd procédé mestproducten op maat voor de afnemer geproduceerd. Aan de ruwe drijfmestsoorten, worden stikstof (N), fosfaat(P) en kalium (K) houdende toeslagstoffen bijgevoegd om tot de gewenste receptuur te komen.

## Emissiemetingen

**Tabel 1 Emissiegegevens gecombineerde technieken**

nr.	basistechniek	naam	capaciteit	N-to- taal/N-Kj	CH <sub>4</sub>		N <sub>2</sub> O	
					(g/ton)	(g/ton)	(g/ton)	(g/ton)
			(ton mest/jaar)	(kg/ton mest)	meting 1	meting 2	meting 1	meting 2
1	scheiding indampen	De Swart	1.600	7	368	1.161	6,1	1,4
2	scheiding compostering	Dirven	3.600	5,1	620	349	0	6,3
3	scheiding	Agramaat	8.000	4,6	29	6	0	
4	nitrificatie denitrificatie	Biovink	3.000	4,4	21	6	881	0,005
5	compostering	Bouwman	3.500	19,55	3,1	1,3	1,9	0,1
6	toevoegen scheiden nitrificatie denitrificatie	Biotower	5.000	2,4	31		323	
7	toevoegen	mest-op- maat	25.000		6		0,02	

Bron: 1) Melse et al, 2002a, 2) Melse et al, 2002b, 3) Gijssel et al, 2001a, 4) Melse et al, 2002c, 5) Starmans, Verdoes, 2002, 6) Gijssel et al, 2001b, 7) Verdoes, Starmans, 2002a.

In Tabel 2 is een overzicht gegeven van meetgegevens voor nitrificatie/denitrificatie, Tabel 3 zijn overzichten gegeven van de emissies over verschillende compostering.

**Tabel 2 Emissiegegevens nitrificatie/denitrificatie**

nr.	bron	naam	N-totaal/N- (kg/ton mest)	kj emissie N <sub>2</sub> O
9	Willers et al., 1996	nitrificatie/denitrificatie	2,7 2,6	9-13% van N
10	Burton et al., 1993a	nitrificatie/denitrificatie	4,24	4-11% van N
11	Burton et al., 1993b	nitrificatie/denitrificatie	4,14	6,5% van N

**Tabel 3 Emissiegegevens compostering/vaste mestopslag**

nr.	bron	naam	N-totaal/N- Kj		CH <sub>4</sub>			N <sub>2</sub> O	
			kg/ton mest	(g C/ton mest)	(% C)	(g N/ton mest)	(% N- tot)	(g N/kg DM waste)	
12	Sommer & Moller, 2000	compos- tering	7,2	191,6	0,2	58,6	0,8		
			8,2	<0,1	0,1	<0,1	0,1		
13	Sommer, 2001	compos- tering	8,8	48,06	0,03	27,01	0,3		
			6,9	44,05	0,03	7,4	0,1		
			7,8	9,36	0,01	16,73	0,2		
			8,7	7,56	0,01	10,67	0,1		
14	Ballesterro & Douglas, 1996	compos- tering					2,19		
15	Hellebrand & Kalk, 2000, 2001	compos- tering	5,5		2,1- 7,7		0,3-1,9		
16	Kuroda et al., 1996	compos- tering	9,1				0,1		
17	Hüther et al., 1997	compos- tering			2,6		1,5		
18	Czepiel et al., 1996	compos- tering						0,5	
19	Veeken et al., 2002	compos- tering					2,2		

## **Bijlage 2**

### Achtergrond mestverwerkingsmodel

## Opstellen massabalansenmodel voor mestbewerkingstechnieken

### Inleiding

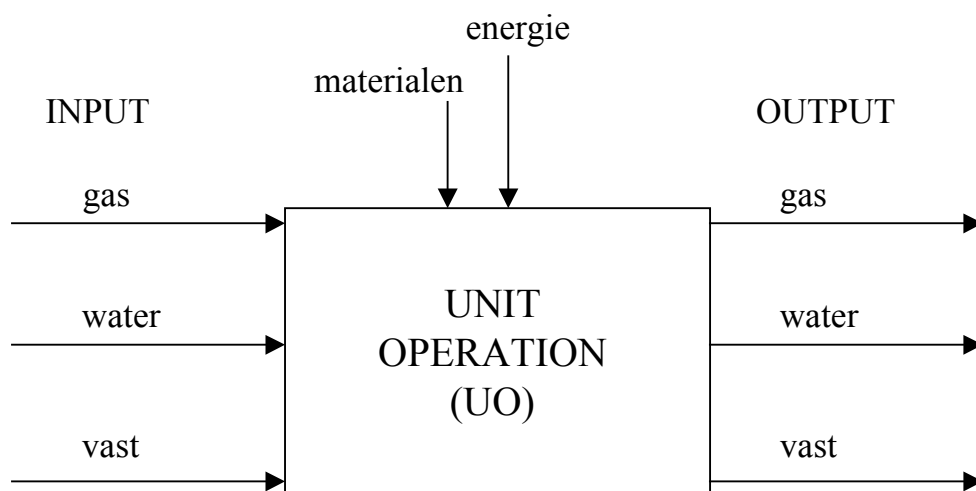
In deze bijlage wordt een model gepresenteerd waarmee de broeikasgasemissies en samenstelling van processtromen voor een mestverwerkingsinstallatie worden berekend. Hiervoor wordt de volgende methodologische aanpak gekozen:

- definitie van basiseenheden (unit operations, UO) voor mestverwerking;
- kwalitatieve beschrijving van de meest relevante unit operations;
- definitie samenstelling mest voor berekening van broeikasgasemissies;
- presentatie massabalansen model;
- definitie van UO in termen van het massabalans model;
- berekeningen met model voor mestverwerkingsinstallaties.

De directe en indirecte broeikasgasemissies worden bepaald uit het opstellen van de koolstof- en stikstofbalansen over de verschillende UO's. De volgende stappen worden hierbij ondernomen:

1. kwalitatieve beschrijving van koolstof- en stikstofbalansen, dat wil zeggen waar blijft de C en N die de UO binnenkomt;
2. balansen kwantitatief maken, gebruikmakend van de inventarisatielijst en algemene milieutechnologische kennis met betrekking tot de beschreven UO;
3. niet voor alle UO's wordt verwacht dat de balansbeschrijving volledig en sluitend zal zijn. Er wordt per UO inzichtelijk gemaakt hoe C en N zich over het systeem verdelen. Ook wordt helder gemaakt waar ontbreken van data kan leiden tot een significant probleem in het beoordelen van een systeem.

In Figuur 1 is het balansmodel voor een UO schematisch weergegeven. De input van een UO is mest uit de opslag of een product- of reststroom van een andere UO. De UO levert als output een (on)gecontroleerde uitstoot aan broeikasgassen die onder de term emissies vallen. Deze kunnen plaatsvinden in gas of vloeibare vorm ( $N_2O$  en  $CH_4$  opgelost in water). De emissies kunnen eventueel door een verdere UO worden behandeld (gecontroleerd), bijvoorbeeld biofilter voor afgasreiniging of waterzuivering voor afvalwater. Daarnaast worden er productstroom(en) gevormd en eventueel reststromen. Onder reststromen wordt verstaan een stroom van nog niet nuttig te gebruiken producten van de UO die in een latere UO in een productstroom kan worden omgezet of moet worden beschouwd als een afvalstroom die bijvoorbeeld via het riool moet worden afgevoerd of verbrand moet worden.



Figuur-1 Massabalans over een mestverwerkingseenheid (UO)

Allereerst moeten de UO's die voor de mestverwerking toepasbaar zijn worden gedefinieerd. Hiervoor wordt de onderverdeling van Barton in procescategorieën genomen. Er zijn voor mestbewerking vijf categorieën onderscheiden. De voor mestverwerking relevante processen zijn in Tabel 1 opgesomd.

**Tabel 1** *Overzicht van basisprocessen voor mestbewerking*

basissysteem	UO
opslag	opslag
scheiding	fysisch
nitrificatie	biologisch
denitrificatie	biologisch
composteren	biologisch
vergisten	biologisch
toevoegen/binden	chemisch
indampen	fysisch
drogen	fysisch
thermisch verwerken	thermisch

Binnen elke categorie worden additionele parameters toegevoegd om een activiteit verder te detailleren. Deze lijst is gebaseerd op de in bijlage 3 beschreven basissystemen voor mestverwerking. In het kader van deze studie wordt geen verdere detaillering van elk proces gegeven en de modellering is uitgevoerd als één type (gemiddeld) proces.

De systeemgrenzen zijn als volgt gedefinieerd (zie hoofdstuk 4):

- mest wordt beschouwd vanaf het moment dat het de opslag binnenkomt;
- aanwending van de mest(producten) op het land (alleen korte termijn effect).

Daarnaast zijn de volgende afspraken gemaakt:

- functionele eenheid: 1 ton mest;
- emissiefactoren: fractie van C en N die worden omgezet in broeikasgassen CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O (emissies per ton mest);
- er kunnen allerlei typen mest als uitgangsmateriaal genomen worden. In het model wordt uitgegaan van de samenstelling (karakteristieken) van de mest om de emissiefactoren te berekenen. De samenstelling wordt bepaald uit de beschikbare analysegegevens van de mest.

**Tabel 2 Definitie van procescategorieën, unit operations en additionele parameters**

<b>Mestverwerkings- eenheid</b>	<b>UO-1 Opslag</b>	<b>UO-2 Fysische processen</b>	<b>UO-3 Thermische processen</b>	<b>UO-4 Chemische processen</b>	<b>UO-5 Biologische processen</b>
A		Menging		Zuurwasser	Composteren
B		Afscheiding	Verwarmen		Vergisten
C		Verkleining	Verbranden		Nitrificatie
D		Samenpersen	Vergassen		Denitrificatie
E		Transport			Biofilter
F		Verhitten			
G		Drogen			
H					
I					
J					
<b>Additionele parameters</b>	<b>Tijdsduur</b>	<b>Hulpmiddelen</b>	<b>Hulpmiddelen</b>	<b>Hulpmiddelen</b>	<b>Hulpmiddelen</b>
	Kort, 2 weken	Elektriciteit	Elektriciteit	Anorganische chemicaliën	Anorganische chemicaliën
	Medium, 6 maanden	Diesel	Diesel	Organische chemicaliën	Organische chemicaliën
	Lang, 5 jaar	Water	Water	Elektriciteit	Elektriciteit
		Chemicaliën	Chemicaliën		
	<b>Type</b>			<b>Reactor</b>	<b>Reactor</b>
	Gesloten			Gesloten	Gesloten
	Open			Open	Open
	Semi-open			Semi-open	Semi-open

## **Bijlage 3**

### Beschrijving basistechnieken



## Basissystemen van mestverwerking

### Inleiding

Allereerst moeten de UO's die voor de mestverwerking toepasbaar zijn worden gedefinieerd. Hiervoor wordt de onderverdeling van Barton in procescategorieën genomen. Er zijn voor mestbewerking vijf categorieën onderscheiden. De voor mestverwerking relevante processen zijn in hoofdstuk 4 opgesomd. Binnen elke categorie worden additionele parameters toegevoegd om een activiteit verder te detailleren. Deze lijst is gebaseerd op de in bijlage 3 beschreven basissystemen voor mestverwerking. Dit is een eerste inventarisatie die verder kan worden aangevuld of waaruit niet relevante processen kunnen worden geschrapd. In het kader van deze studie wordt geen verdere detaillering van elk proces gegeven en de modellering uitgevoerd voor als één type (gemiddeld) proces. In een latere fase is het model echter gemakkelijk uit te breiden voor verschillende uitvoering van een basisproces b.v. voor compostering kan dan worden meegenomen of (1) het proces wordt uitgevoerd in een reactor of in de open lucht en (2) actief wordt belucht met ventilatoren of passieve beluchting plaats vindt (natuurlijke convectie).

### Kwalitatieve beschrijving van basisprocessen mestverwerking

Beschrijving van koolstof- en stikstofbalansen, dat wil zeggen waar blijven de C en N die de UO binnenkomen; wat zijn is de input aan energie en materialen. In tabel 1 zijn de mogelijke UO voor mestbewerking en mestverwerking samengevat. Mestverwerking is gedefinieerd als de toepassing van UO of combinaties hiervan met als doel aard, samenstelling en hoedanigheid van dierlijke mest te wijzigen, terwijl mestbewerking wordt gedefinieerd als behandeling van dierlijke mest zonder noemenswaardige verandering van de mest teweegbrengt. In deze rapportage worden alleen de meest gebruikte technieken behandeld en/of de technieken waarvoor gegevens beschikbaar zijn over broeikasgasemissies.

De basistechnieken worden volgens de volgende indeling beschreven:

- principebeschrijving;
- uitvoering;
- materialen en energie;
- omzettingen;
- processtromen en emissies.

**Tabel 1**      **Beschrijving opslag**

opslag	
principebeschrijving	<p>opslag kan een meerledig doel hebben:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• opslag van de mest die vrijkomt uit de stallen voordat deze wordt uitgereden of getransporteerd</li><li>• opslag bij een mestverwerkinginstallatie om de capaciteit volledig te benutten en fluctuaties in aanvoer/afvoer op te vangen</li><li>• opslag van de gevormde producten uit een installatie voordat deze afgevoerd worden</li></ul>
uitvoering	<p>afhankelijk van de fysische vorm van de mest:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• vloeibaar: silo, tank</li><li>• stapelbaar: bunker, tussen keerwanden</li></ul> <p>Bij de opslag kunnen ook verwijdering van grove delen, verkleining en menging onderdeel zijn.</p>
materialen en energie	geen
omzettingen	<p>In een afgesloten opslag en in opslag van vloeibare mest ontstaan anaërobe condities, waardoor methaanvorming en denitrificatie kunnen optreden. De omzetting wordt bepaald door de temperatuur en de opslagtijd.</p> <p>In een open opslag van vaste mest kan beluchting van de mest optreden. De mate van beluchting is afhankelijk van de porositeit (luchtdoorlatendheid). Hierdoor kunnen aërobe, anaërobe of een combinatie van deze twee processen optreden.</p> <p>Mogelijke biologische omzettingsprocessen zijn:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• nitrificatie</li><li>• denitrificatie</li><li>• aërobe afbraak</li><li>• anaërobe afbraak</li><li>• stikstofmineralisatie (afbraak van organisch gebonden stikstof tot ammonium)</li></ul>
processtromen en emissies	<p>Uitgangsmateriaal dat eventueel veranderingen heeft ondergaan door biologische omzettingen.</p> <p>Gasvormige emissies afhankelijk van omzettingen en type opslag.</p>

**Tabel 2**      **Beschrijving scheiding**

scheiding	
principebeschrijving	In het scheidingsproces worden verschillende fracties van elkaar gescheiden. Hierbij kan een onderscheid gemaakt worden tussen: mechanisch: scheiden op basis van deeltjesgrootte wordt vloeibaar en vast gescheiden fysisch-chemisch: scheiden op basis van de eigenschappen van (veelal) colloïdale deeltjes membranen: scheiden op basis van deeltjesgrootte waarbij een breed gebied kan worden bestreken; van vaste deeltjes bij microfiltratie tot moleculen bij omgekeerde osmose
uitvoering	mechanisch: mestschuif, mestband, vijzelpers, trilzeef fysisch-chemisch: strofilter, microfilter, decanteercentrifuge, bezinkingsinstallatie membranen: microfiltratie, ultrafiltratie, omgekeerde osmose
materialen en energie	vlokmiddelen, reinigingsmiddelen membranen
omzettingen	Er zijn geen biologische omzettingen te verwachten in de scheiding omdat de verblijftijd kort is.
processtromen en emissies	Scheiding van de ingaande stroom in twee fracties: <ul style="list-style-type: none"><li>• mechanische en fysisch-chemische scheiding: dunne fractie en dikke fractie</li><li>• membraan: permeaat en retentaat</li></ul>

**Tabel 3**      **Beschrijving nitrificatie**

nitrificatie	
principebeschrijving	In de biologische nitrificatie wordt ammoniak omgezet naar nitraat via nitriet.
uitvoering	De biologische nitrificatie is bestemd voor waterige stromen en kan in twee typen systemen worden uitgevoerd: <ul style="list-style-type: none"><li>• gesuspendeerd systeem: actiefslibstelsysteem</li><li>• slib-op-drager systeem: trickling filter, roterende contactreactor</li></ul>
materialen en energie	Energie voor de inbreng van zuurstof (lucht). Omdat zuur wordt gevormd, kan pH-buffering met natronloog eventueel noodzakelijk zijn (afhankelijk van de buffercapaciteit van de mest).
omzettingen	Bij de nitrificatie wordt nitraat gevormd en mogelijk $N_2O$ .
processtromen en emissies	Door beluchting kunnen de gassen en vluchtige componenten gemakkelijk uit de mest worden verwijderd.

**Tabel 4**      **Beschrijving denitrificatie**

denitrificatie	
principebeschrijving	De omzetting van nitraat naar stikstofgas voltrekt zich in verschillende stadia volgens $NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO \rightarrow N_2O \rightarrow N_2.$
uitvoering	Het denitrificatieproces is geschikt voor waterige stromen en wordt in twee typen systemen uitgevoerd: <ul style="list-style-type: none"><li>• gesuspendeerd systeem: actief slib systeem</li><li>• slib-op-drager systeem: trickling filter, roterende contactreactor</li></ul>
materialen en energie	Afbreekbare koolstofbron (zoals methanol, melasse) als elektrodendonor en voor celgroei.
omzettingen	Bij denitrificatie is de vorming van $N_2O$ mogelijk (volledige denitrificatie tot $N_2$ wordt sterk geremd in de aanwezigheid van (opgelost) zuurstof omdat het enzymstelsel wordt onderdrukt).
processtromen en emissies	P.M.

**Tabel 5**      **Beschrijving compostering**

compostering	
principebeschrijving	In het proces wordt de organische stof aëroob afgebroken door micro-organismen. In het algemeen vindt het proces batchgewijs (of in propstroom) plaats en doorloopt gedurende een bepaalde periode een thermofiele fase waarna het materiaal langzaam naar de mesofiele fase afkoelt. Door de compostering wordt het uitgangsmateriaal gedroogd, gehygiëniseerd en het organisch materiaal gestabiliseerd. Omdat lucht door de mest moet worden geleid, dient de mest voldoende porositeit te bezitten.
uitvoering	Het proces is geschikt voor vaste stromen met voldoende structuur (structuurmateriaal kan eventueel worden toegevoegd) en kan in vele soorten systemen worden uitgevoerd. De belangrijkste onderscheidingen zijn: <ul style="list-style-type: none"><li>• systeem: gesloten reactor, open lucht</li><li>• beluchting: geforceerd (actief), passief (natuurlijke trek)</li><li>• omzetten: statisch, periodiek, (semi)continue</li></ul>
materialen en energie	Indien het materiaal niet voldoende structuur bezit of te vochtig is dan heeft de hoop een te lage porositeit en luchtdoorlatendheid. In dit geval moet een structuurmateriaal (b.v. houtsnippers, compost) worden bijgemengd voor de juiste structuur. Energie als in actieve beluchting ventilatoren worden gebruikt

omzettingen	Bijna alle mogelijke biologische omzettingsprocessen kunnen plaats hebben: <ul style="list-style-type: none"> <li>• aërobe afbraak organische stof met vorming van kooldioxide, water en ammonium</li> <li>• anaërobe afbraak organische stof met vorming van methaan, kooldioxide, water en ammonium</li> <li>• nitrificatie</li> <li>• denitrificatie</li> <li>• stikstofmineralisatie</li> </ul>
processtromen en emissies	Door beluchting kunnen de gassen en vluchtige componenten gemakkelijk uit de mest worden verwijderd.

**Tabel 6** *Beschrijving vergisten*

vergisten	
principebeschrijving	De organische stof wordt met behulp van micro-organismen onder anaërobe condities omgezet in hoofdzakelijk CH <sub>4</sub> en CO <sub>2</sub> (biogas).
uitvoering	Afhankelijk van de vorm van de mest maar voornamelijk voor vloeibare mest in tanks.
materialen en energie	Geen.
omzettingen	Organische stof wordt anaëroob omgezet in hoofdzakelijk CH <sub>4</sub> en CO <sub>2</sub> . De organische stikstof wordt gedeeltelijk gemineraliseerd tot ammonium.
processtromen en emissies	gestabiliseerde dunne mest; biogas

**Tabel 7** *Beschrijving drogen*

drogen	
principebeschrijving	Doel is de productie van gedroogde mest die (via verdere verwerking zoals bijvoorbeeld pelletiseren) toe te passen is als meststof. Door de droging van mest is het rendabeler (concentratie van nutriënten) het product over grotere afstand te transporteren.
uitvoering	Directe droging in de stal op de transportband of in een gesloten systeem. De energie voor de droging kan afkomstig zijn van onder andere stallucht (warmteproductie van de dieren) en de restwarmte uit vergisting of verbranding. Er wordt uitgegaan van vaste mest die verder wordt ingedroogd.
materialen en energie	energie
omzettingen	In principe vinden geen omzettingen plaats maar bij langere verblijftijden zijn biologische omzettingen mogelijk.

processtromen en emissies	Een gedroogd product. Emissies van water, ammoniak en vluchtige organische verbindingen (bijvoorbeeld azijnzuur, boterzuur). Indien in een gesloten systeem wordt gewerkt en het afgas wordt gekoeld, wordt een condensaat gevormd waarin ammoniak en vluchtige componenten hoofdzakelijk worden afgevangen.
---------------------------	--

**Tabel 8**      **Beschrijving indampen**

indampen	
principebeschrijving	Het principe van indampen is gelijk aan drogen. Het doel is echter het concentreren van dunne mest en het te ontdoen van biologische verontreinigingen. In tegenstelling tot drogen wordt de mest niet volledig ingedroogd maar blijft een verpompbare dikke fractie over. De gehele meststroom wordt verwarmd, waardoor het water verdampt. De verdamping geschiedt bij onderdruk zodat veel minder energie nodig is dan bij atmosferische druk. Naast water worden ook vluchtige componenten vervluchtigd. De waterdamp wordt afgekoeld waardoor een condensaat met vluchtige componenten (o.a. ammoniak en azijnzuur) ontstaat. Het energieverbruik kan verminderd worden door gebruik te maken van onder andere damprecompressie en warmte uit stallucht.
uitvoering	In een gesloten systeem.
materialen en energie	energie
omzettingen	Door de korte verblijftijd vinden geen omzettingen plaats.
processtromen en emissies	Een ingedikte mestfractie die nog verpompbaar is. Een condensaat met vluchtige componenten.

**Tabel 9**      **Beschrijving thermisch verwerken**

thermisch verwerken	
principebeschrijving	Benutten van de energie-inhoud van de mest.
uitvoering	Verbranden, vergassen, pyrolyse.
materialen en energie	geen
omzettingen	Organisch materiaal wordt omgezet in koolzuur, water en stikstofgas.
processtromen en emissies	as

## **Bijlage 4**

Uitgangspunten modellering broeikasgasemissie

## Bijlage 4

### Uitgangspunten modellering broeikasgasemissie

#### Aannames en kengetallen

Om de omzettingen te kunnen berekenen moeten verschillende aannames gemaakt worden.

1. 1.000 kg (1 ton) mest gelijk is aan 1.000 liter (1 m<sup>3</sup>).
2. De afbreekbare fractie van het organisch materiaal wordt niet bepaald en hiervoor zullen aannames moeten worden gemaakt. De afbreekbare organische fractie is afhankelijk van het type mest omdat de voederconversie voor iedere soort dier ander is. Pluimvee converteert het minste voer, gevolgd door varkens en runderen hebben de hoogste voederconversie. De volgende fracties van de organische stof in de mest zijn biologisch afbreekbaar (Haug, 1993)<sup>#</sup>:
  - pluimvee: 70% van organische stof;
  - varkens: 50%;
  - runderen: 30%.

<sup>#</sup>De biologische afbreekbaarheid van een substraat wordt bepaald in batch en gedefinieerd als de afbraak gedurende een bepaalde periode (meestal 1-2 maanden).

3. Logischerwijs kan worden aangenomen dat de stikstofmineralisatie gelijk is aan de organische stof afbraak (hierbij wordt dus aangenomen dat alle componenten van de organische stof in gelijke mate afbreken):
  - pluimvee: 70% van organische stikstof;
  - varkens: 50%;
  - runderen: 30%.

Organisch gebonden stikstof wordt volledig tot ammonium gemineraliseerd.

4. De minerale stikstof bestaat volledig uit ammonium; nitraat is te verwaarlozen. Voor verse mest is deze aanname juist, er zit geen nitraat in urine of feces.
5. De hoeveelheid gevormd kooldioxide en/of methaan per eenheid organische stof is afhankelijk van de samenstelling van de organische stof. Gereduceerde verbindingen zoals vetten hebben een hogere methaanopbrengst dan geoxideerde verbindingen zoals vluchtige vetzuren. Er wordt aangenomen dat de afbreekbare fractie van mest gemiddeld bestaat uit cellulose-type materiaal (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>).
6. De volgende stoichiometrie coëfficiënten gelden voor de omzettingen:
  - bij de anaërobe afbraak van 1 g cellulose-type materiaal omzetting wordt 0.27 g methaan en 0.73 g kooldioxide gevormd:
$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 3CO_2 + 3CH_4.$$
  - bij de aërobe afbraak van 1 g cellulose-type materiaal omzetting wordt 1.07 g zuurstof verbruikt en 1.47 g kooldioxide en 0.60 g water gevormd:
$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O.$$
  - de mineralisatie van 1 g Norg-N geeft 1 g NH<sub>4</sub>-N.
  - de nitrificatie van 1 g NH<sub>4</sub>-N levert 1 g NO<sub>3</sub>-N op.



7. Bij nitrificatie en denitrificatie worden naast eindproducten nitraat en stikstofgas o.a. ook  $N_2O$  gevormd. Het aandeel van  $N_2O$  is echter sterk afhankelijk van onder meer het type substraat (voornamelijk verhouding tussen C en N), procesomstandigheden (bijvoorbeeld verblijftijd, zuurstofgehalte) en fysische en chemische condities. Er is dus geen uniek emissiegetal te geven voor het  $N_2O$ -aandeel. In het algemeen is het aandeel van  $N_2O$ -vorming uit nitrificatie zeer laag maar uit denitrificatie kan het aandeel aanzienlijk zijn (Davidson and Swank, 1986). Op basis van deze uitgangspunten is het  $N_2O$ -emissieaandeel uit nitrificatie op 1% gezet en het emissieaandeel uit denitrificatie op 10%.
8. Bij denitrificatie wordt ongeveer 4 g COD als electronen per g N verbruikt (Metcalf&Eddy, 199?). Aannemende dat de COD inhoud van organische stof in mest 1.0 g COD/g OS draagt en denitrificatie volledig toe te schrijven is aan OS uit de mest (geen externe koolstofbron zoals methanol) wordt per kg N dus 4 g OS afgebroken.

#### **Definitie van basissystemen en omzetting- en emissiefactoren**

In deze paragraaf worden de verschillende mestverwerkingseenheden beschreven volgens het massabalansenmodel. De mogelijke omzettingsprocessen zijn afhankelijk van het type systeem, type mest en procesparameters zoals beluchting. Door de beperkte omvang van dit project, wordt in deze rapportage wordt slechts gewerkt met één of twee beschrijvingen voor iedere basistype. De modelmatige aanpak is flexibel dus er kunnen meerdere eenheden per proces worden gedefinieerd als dit blijkt nodig te zijn en er kunnen meerdere typen basisprocessen worden toegevoegd.

#### **Opslag**

De opslag wordt door twee units beschreven. In de eerste eenheid worden de biologische omzettingen beschreven. Hiervoor zijn de volgende aannames gemaakt:

- opslag is anaëroob;
- een gemiddelde opslagtijd en temperatuur.

Er zijn twee typen opslag gedefinieerd:

- kort (circa twee weken) voorafgaand aan verdere verwerking
- lang (zes maanden) waarna mest wordt aangewend op land

In het geval van mestbewerking wordt de mest een korte tijd opgeslagen, uitgegaan wordt van twee weken. Wordt de mest direct uitgereden dan is een lange opslag van zes maanden gebruikelijk.

Voor ieder proces worden omzettingscoëfficiënten gedefinieerd. In de tweede eenheid wordt de gasscheiding gedefinieerd; dit is de fractie van de gasvormige componenten die naar de gasfase overgaat. Voor iedere vluchtige componenten wordt hiervoor een gasscheidingscoëfficiënt gedefinieerd. De gasvormige componenten  $CH_4$  en  $N_2O$  verdwijnen volledig naar de gasfase en van de aanwezige ammoni(um)ak wordt 1% naar de gasfase geëmitteerd. De modeldefinitie is in Tabel 1 samengevat.

**Tabel 1 Modeldefinitie voor opslag**

<b>Eenheid 1: omzettingen</b>		Coëfficiënten		
Denitrificatie		95% denitrificatie van NO <sub>3</sub> 90% N <sub>2</sub> , 10% N <sub>2</sub> O		
Aërobe afbraak		Kort: 5% van biologisch afbreekbare organische stof; 27% CH <sub>4</sub> Lang: 95% van biologisch afbreekbare organische stof; 27% CH <sub>4</sub>		
Anaërobe afbraak				
Stikstofmineralisatie		Kort: 5% van afbreekbaar N-organisch Lang: 95% van afbreekbaar N-organisch		
<b>Eenheid 2: gas scheiding<sup>#</sup></b>		CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NH <sub>3</sub>
Efficiency (%)		100	100	1

<sup>#</sup>Gedefinieerd als het percentage van de component die naar de gasfase wordt geëmitteerd.

### Vergisten

De vergister wordt door twee units beschreven. In de eerste eenheid worden de biologische omzettingen beschreven en in de tweede de gasscheiding. De gasvormige componenten CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O verdwijnen volledig naar de gasfase en van de aanwezige ammoni(um)ak wordt 1% naar de gasfase geëmitteerd. De modeldefinitie is in Tabel 2 samengevat.

Ongecontroleerde emissies van methaan door verlies tijdens opwerking en verbranding kan niet in het model worden ingevoerd maar kan eenvoudig later berekend uit de hoeveelheid geproduceerd methaan. Uitgegaan wordt van een verlies van 5% van de methaanopbrengst.

**Tabel 2 Modeldefinitie voor vergisten**

<b>Eenheid 1: omzettingen</b>		Coëfficiënten		
Denitrificatie		95% denitrificatie 90% N <sub>2</sub> , 10% N <sub>2</sub> O		
Anaërobe afbraak		95% van afbreekbare organische stof 95% van afbreekbaar N-organisch		
Stikstofmineralisatie				
<b>Eenheid 2: gas scheiding</b>		CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NH <sub>3</sub>
Efficiency (%)		100	100	1

### Scheiding

De scheider wordt door 1 eenheid beschreven. In de scheiding gaat een fractie van de wateroplosbare componenten (ammonium, nitraat en water zelf) naar de vloeibare fase (of permeaat) en een fractie van de onoplosbare componenten (Norganisch, inert, BOM) naar de vloeibare (of permeaat). De rest gaat dus naar het slib (of retentaat). In het geval van omgekeerde osmose wordt tevens een gedeelte van de oplosbare componenten achtergehouden in het retentaat. In Tabel 3 zijn de gedefinieerde scheidingscoëfficiënten gegeven voor de verschillende scheidingsystemen.

**Tabel 3 Modeldefinitie voor scheiding**

<b>Scheiding</b>	Waterige componenten naar vloeistof (permeaat)	Waterige componenten naar vaste stof	Vaste componenten naar vloeistof (permeaat)	Vaste componenten naar vaste stof
Mechanisch	0.8	0.2	0.3	0.7
Fysisch chemisch	0.9	0.1	0.2	0.8
Membraan	0.8	0.2	0.3	0.7

### Nitrificatie

Het nitrificatieproces wordt door twee units beschreven. In de eerste eenheid worden de biologische omzettingen beschreven. In de tweede eenheid wordt de gasscheiding beschreven. Het model is in Tabel 4 samengevat.

**Tabel 4 Modeldefinitie voor nitrificatie**

<b>Eenheid 1: omzettingen</b>	Coefficiënten		
Nitrificatie	95% nitrificatie 99% NO <sub>3</sub> , 1% N <sub>2</sub> O		
<b>Eenheid 2: gas scheiding</b>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NH <sub>3</sub>
Efficiency (%)	100	100	1

### Denitrificatie

Het denitrificatieproces wordt door twee units beschreven. In de eerste eenheid worden de biologische omzettingen beschreven en in de tweede de gasscheiding. De mogelijke omzettingen en bijbehorende omzettingcoëfficiënten zijn in Tabel 5 gedefinieerd.

**Tabel 5. Modeldefinitie voor denitrificatie**

<b>Eenheid 1: omzettingen<sup>#</sup></b>	Coefficiënten		
Denitrificatie	95% denitrificatie 90% N <sub>2</sub> , 10% N <sub>2</sub> O		
<b>Eenheid 2: gas scheiding</b>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NH <sub>3</sub>
Efficiency (%)	100	100	0

<sup>#</sup>Het verbruik van organische stof als elektronendonor voor denitrificatie is later apart doorgerekend omdat deze omzetting niet in het model is meegenomen.

### Composteren

Het composteringsproces vertoont sterke variaties in emissiegetallen. Hier worden de twee extreme situaties beschreven:

- extensieve compostering of 'gecontroleerde' opslag vaste mest;
- intensieve compostering in reactoren (biologische droging).

Biologisch drogen kan ook als een vorm van intensief composteren worden gezien waar het einddoel niet is het stabiliseren van de organische stof is maar het produceren van een droog eindproduct.

Het extensief composteringsproces wordt in twee eenheden beschreven. In de eerste eenheid worden de biologische omzettingen beschreven. Hierbij wordt aangenomen dat:

- het proces zowel aëroob als anaëroob is;
- er nitrificatie en denitrificatie optreden.

In de tweede eenheid wordt de gasscheiding gedefinieerd; dit is de fractie van de gasvormige componenten die naar de gasfase overgaat. Slechts een klein gedeelte van ammonium wordt uitgestoten (5%) en de droging wordt gekwantificeerd door de gas scheiding van water. De modeldefinities zijn in Tabel 6 samengevat.

**Tabel 6 Modeldefinitie voor extensief composteren**

<b>Eenheid 1: omzettingen</b>		Coefficients			
Nitrificatie		95% nitrificatie			
		99% NO <sub>3</sub> , 1% N <sub>2</sub> O			
Denitrificatie		-95% denitrificatie			
		90% N <sub>2</sub> , 10% N <sub>2</sub> O			
Aërobe afbraak		90% van biologisch afbreekbare organische stof			
Anaërobe afbraak		5% van biologisch afbreekbare organische stof			
Stikstofmineralisatie		95% van afbreekbaar N-organisch			
<b>Eenheid 2: gas scheiding</b>		CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O
Efficiency (%)		100	100	5	50

In het intensief composteringsproces wordt een extra eenheid gedefinieerd omdat gebruikge- maakt wordt van een zuurwasser om de ammoniak uit de uitgaande lucht te verwijderen. In de eerste eenheid worden de biologische omzettingen beschreven. Hierbij wordt aangenomen dat:

- het proces volledig aëroob is;
- door de hoge temperatuur geen nitrificatie optreedt.

In de tweede eenheid wordt de zuurwasser (salpeterzuur) beschreven waarbij wordt aangenomen dat ammoniak volledig wordt verwijderd uit de lucht. In de derde eenheid wordt de gasscheiding gedefinieerd; dit is de fractie van de gasvormige componenten die naar de gasfase overgaat. Een groot gedeelte van ammonium wordt via de gasfase uitgestoten (90%). De modeldefinities zijn in Tabel 7 samengevat.

**Tabel 7 Modeldefinitie voor intensief composteren**

<b>Eenheid 1: omzettingen</b>	<b>Coëfficiënten</b>			
Aërobe afbraak	95% van biologisch afbreekbare organische stof			
Stikstofmineralisatie	95% van afbreekbaar N-organisch			
<b>Eenheid 2: gas scheiding</b>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O
Efficiency (%)	100	100	90	50

**Drogen/indampen**

Beide processen kunnen op identieke wijze beschreven worden door 1 eenheid waarin de verdamping van water en vluchtige componenten naar een condensaat. Het drogen is alleen gedefinieerd voor een gesloten systeem. In de scheiding gaat een fractie van het water en een fractie van ammonium (enige bekende vluchtige component in mest) naar het condensaat; de rest blijft achter in de mest. In Tabel 8 zijn de gedefinieerde scheidingscoëfficiënten (in principe hetzelfde als de gedefinieerde gas scheiding) gegeven voor drogen en indampen.

**Tabel 8 Modeldefinitie voor drogen/indampen**

<b>Gas scheiding</b>	H <sub>2</sub> O	NH <sub>3</sub>
<b>Efficiency (%)</b>		
Drogen	80	90
Indampen	50	90

**Verbranden**

De verbranding wordt door twee units beschreven. In de eerste eenheid worden de thermische omzettingen beschreven en in de tweede de gasscheiding. De modeldefinitie is in Tabel 9 samengevat.

**Tabel 9 Modeldefinitie voor verbranden**

<b>Eenheid 1: omzettingen</b>	<b>Coëfficiënten</b>			
Organische stof	100% omzetting			
N-totaal	100% omzetting			
	98% N <sub>2</sub> , 0% N <sub>2</sub> O			
<b>Eenheid 2: gas scheiding</b>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O
Efficiency (%)	100	100	100	100

De conversiefactoren voor alle beschreven processen zijn nogmaals overzichtelijk weergegeven in hoofdstuk 4.

## **Bijlage 5**

### Karakterisatie Mesttypen

## Bijlage 5

### Karakterisatie Mesttypen

mestsoort		drogestof	organische stof	biologisch afbreekbaar org. stof (BOS)	totale N	organische N	organisch afbreekbare N (NH <sub>4</sub> ) <sup>1</sup>	minerale N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O
code		DS	OS	BOS	TN	ON	BON	Nmin					
drijfmest													
runderen	kg/ton	87,68	63,9	19,17	5,45	2,49	0,75	2,96	1,44	4,64	0,89	1,57	0,64
kalveren	kg/ton	22,24	11,51	3,45	2,79	0,85	0,26	1,94	1,37	3,2	0,45	0,65	1,08
vleesvarkens	kg/ton	85,81	56,73	28,37	8,97	3,87	1,94	5,1	5,02	5,33	1,69	3,82	1,15
zeugen	kg/ton	52,28	32,97	16,49	5,06	2,35	1,18	2,71	3,6	2,83	1,16	2,79	0,76
kippen	kg/ton	123,17	81,33	56,93	11,24	3,6	2,52	7,64	5,86	4,64	1,59	11,46	0,92
vaste mest													
kippen (%DS<50)	kg/ton	390,22	285,8	200,06	20,79	15,8	11,06	4,99	16,52	12,25	4,42	29,93	2,05
kippen (%DS>50)	kg/ton	653,67	482,38	337,67	29,47	24,7	17,29	4,77	25,69	19,74	7,02	47,39	3,71
vleeskuikens	kg/ton	603,98	501,1	350,77	30,29	24,73	17,31	5,56	20,68	18,88	5,74	18,51	2,92

## **Bijlage 6**

### Resultaten modelberekeningen

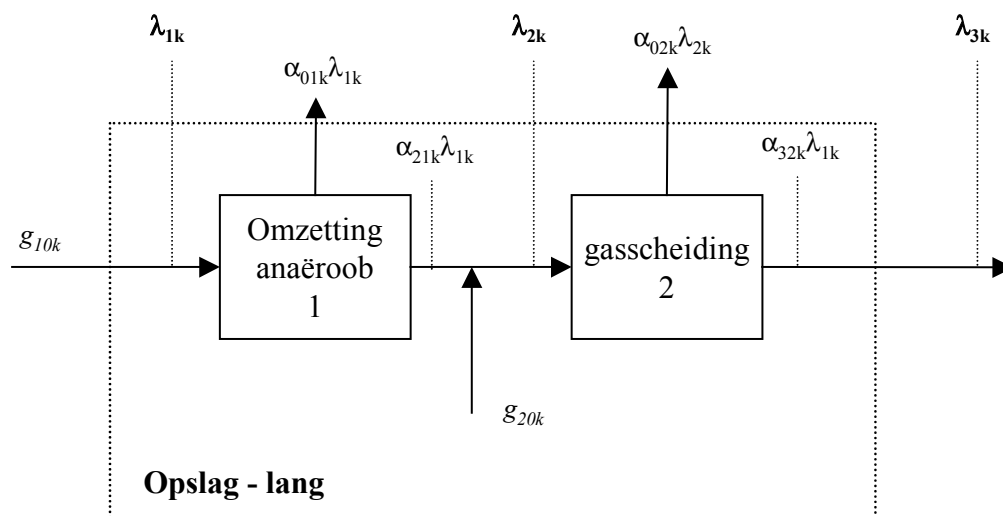


De ingaande samenstelling van de verschillende mesttypen die als invoer van het model worden gebruikt zijn gegeven in de volgende tabel.

Mestsoort	DS (kg/ton)	OS (kg/ton)	Ntot (kg/ton)	Nmin (kg/ton)	Afbreekbaarheid (%)
Drijfmest runderen	87.68	63.9	5.45	2.96	30
Drijfmest kalveren	22.24	11.51	2.79	1.94	30
Drijfmest vleesvarkens	85.81	56.73	8.97	5.1	50
Drijfmest zeugen	52.25	32.97	5.06	2.71	50
Drijfmest kippen	123.17	81.33	11.24	7.64	70
vaste mest kippen <50	390.22	285.8	20.79	4.99	70
vaste mest kippen >50	653.67	482.38	29.47	4.77	70
vaste mest vleeskuikens	603.98	501.1	30.29	5.56	70

Opslag (gedurende 6 maanden)

Modelpresentatie



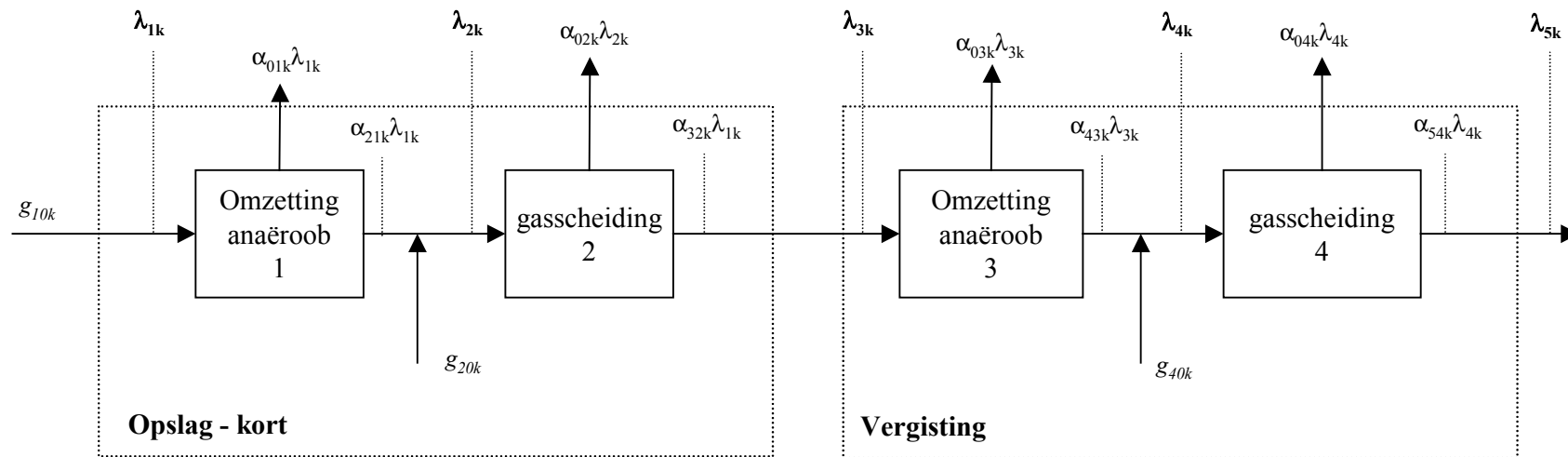
- De mest komt de opslag binnen:  $g_{10k}$

- In omzetting 1 vinden de omzetting (in dit geval anaërobe afbraak, N-mineralisatie, denitrificatie) plaats. De fractie  $\alpha_{01k}\lambda_{1k}$  geeft de fractie weer die omgezet is; de stroom  $g_{20k}$  geeft de fractie weer die in omzetting 1 is gevormd (deze omslachtige methode is inherent aan de gekozen modelaanpak)
- In de gas scheiding 2 worden de emissies naar de lucht beschreven (fractie  $\alpha_{02k}\lambda_{2k}$ )
- De behandelde mest (fractie  $\lambda_{3k}$ ) wordt op het land aangewend.

#### Uitvoer/resultaat

Mestsoort	Uitgaande mest					Emissies CH4	Emissies N2O
	Hoeveelheid (kg)	DS (kg/ton)	OS (kg/ton)	Ntot (kg/ton)	Nmin (kg/ton)	kg	kg
Drijfmest runderen	981.79	70.76	46.54	5.51	3.7	4.92	0
Drijfmest kalveren	996.72	19.02	8.26	2.78	2.17	0.89	0
Drijfmest vleesvarkens	973.06	60.5	30.6	9.15	7.06	7.27	0
Drijfmest zeugen	984.34	37.17	17.59	5.1	3.85	4.23	0
Drijfmest kippen	945.92	73.04	28.8	11.78	10.5	14.6	0

Vergisten  
Modelpresentatie



emissie

- Ingaande mest: stroom  $g_{10k}$

- Emissie uit korte opslag: fractie  $\alpha_{02k}\lambda_{2k}$
- Emissie uit vergistinginstallatie: fractie  $\alpha_{04k}\lambda_{4k}$
- Behandelde mest voor aanwending op land: stroom  $\lambda_{5k}$

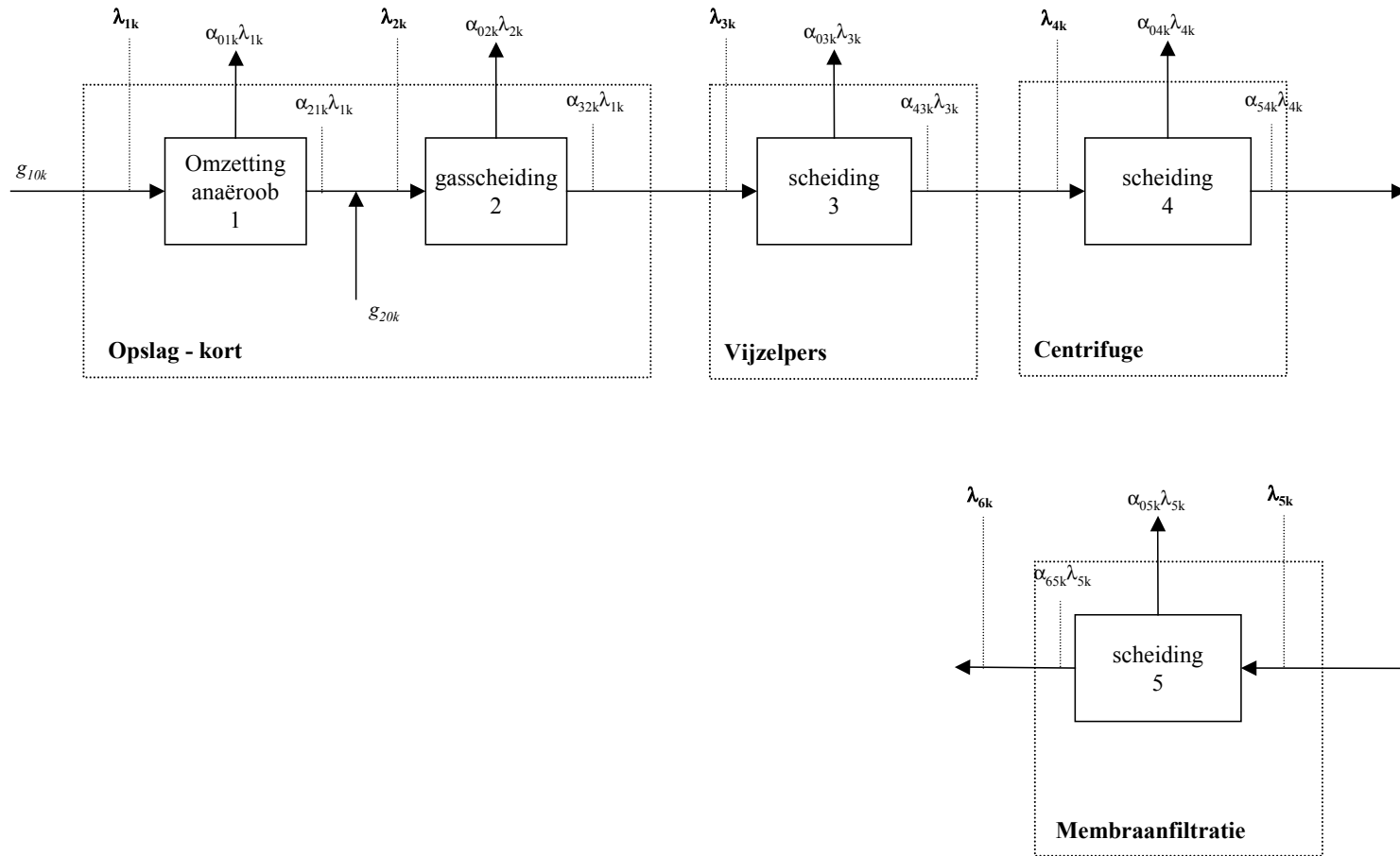
#### Uitvoer

mestsoort	Uitgaande mest					Emissies CH4 (kg)		Emissies N2O (kg)	
	Hoeveelheid (kg)	DS (kg/ton)	OS (kg/ton)	Ntot (kg/ton)	Nmin (kg/ton)	opslag	vergister	opslag	vergister
Drijfmest runderen	981.74	70.71	46.49	5.46	3.67	0.259	4.67	0	0
Drijfmest kalveren	996.71	19.01	8.25	2.75	2.15	0.047	0.84	0	0
Drijfmest vleesvar- kens	972.98	60.43	30.54	9.05	7.01	0.383	6.91	0	0
Drijfmest zeugen	984.3	37.13	17.54	5.05	3.82	0.223	4.02	0	0
Drijfmest kippen	945.77	72.9	28.66	11.66	10.43	0.769	13.87	0	0

*Scheiden (Dirven)*

Modelpresentatie voor de scheiding is in twee gedeelten gesplitst. Allereerst de scheiding en daarna de opslag van 6 maanden van de dikke fracties (samenvoeging van dikke fracties van vijzelpers en centrifuge en concentraat van membraanfiltratie).

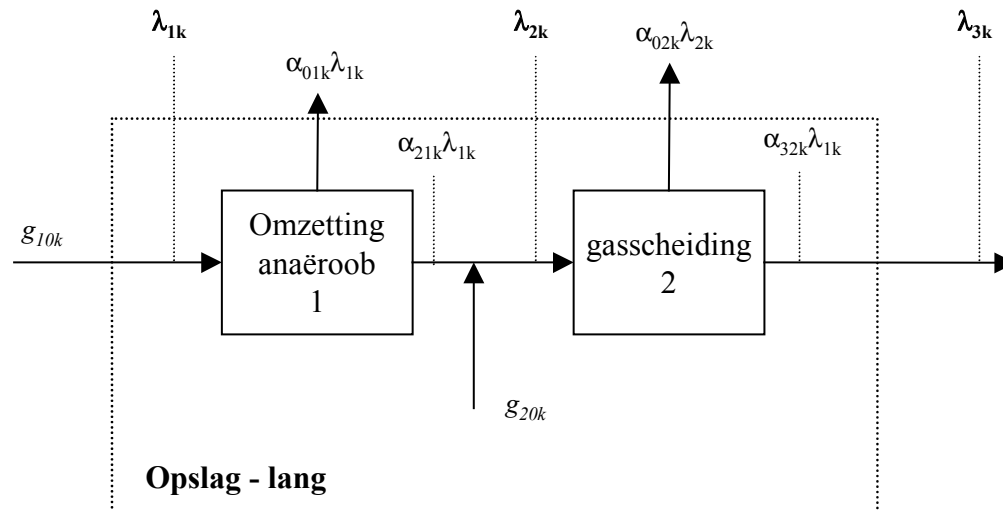
Modelpresentatie scheiding



- Ingaande mest: stroom  $g_{10k}$
- Emissie uit korte opslag: fractie  $\alpha_{02k}\lambda_{2k}$
- Dikke fractie uit vijzelpers: fractie  $\alpha_{03k}\lambda_{3k}$
- Dikke fractie uit centrifuge: fractie  $\alpha_{04k}\lambda_{4k}$

- Concentraat uit membraanfiltratie: fractie  $\alpha_{05k}\lambda_{5k}$
- Permeaat uit membraanfiltratie: stroom  $\lambda_{5k}$

### Modelpresentatie lange naopslag



- Ingaande mest  $g_{10k}$  bestaat uit  $\alpha_{03k}\lambda_{3k}$ ,  $\alpha_{04k}\lambda_{4k}$  en  $\alpha_{05k}\lambda_{5k}$
- Emissie uit opslag: fractie  $\alpha_{02k}\lambda_{2k}$
- Behandelde mest voor aanwending op land: stroom  $\lambda_{3k}$

### Uitvoer

Mestsoort	Dikke fractie vijzelpers					Dikke fractie centrifuge				
	Hoeveelheid (kg)	DS (kg/ton)	OS (kg/ton)	Ntot (kg/ton)	Nmin (kg/ton)	Hoeveelheid (kg)	DS (kg/ton)	OS (kg/ton)	Ntot (kg/ton)	Nmin (kg/ton)
Drijfmest runderen	243.17	249.64	181.19	9.5	2.44	93.8	221.89	161.05	8.81	2.53
Drijfmest kalveren	211	73.21	37.61	4.61	1.83	83.52	63.41	32.58	4.26	1.85
Drijfmest vleesvarkens	241.91	244.2	160.05	15.28	4.25	93.39	216.88	142.15	14.2	4.41
Drijfmest zeugen	225.55	159.6	99.77	9.62	2.43	88.16	140	87.51	8.79	2.49
Drijfmest kippen	259.59	324.46	211.64	15.49	5.92	99.02	291.62	190.22	14.81	6.21

Mestsoort	Concentraat					Permeaat				
	Hoeveelheid (kg)	DS (kg/ton)	OS (kg/ton)	Ntot (kg/ton)	Nmin (kg/ton)	Hoeveelheid (kg)	DS (kg/ton)	OS (kg/ton)	Ntot (kg/ton)	Nmin (kg/ton)
Drijfmest runderen	135.02	27	19.58	3.93	3.17	527.06	1.56	0.75	3.33	3.24
Drijfmest kalveren	141.27	6.54	3.36	2.21	1.96	563.59	1.56	0.055	2	1.98
Drijfmest vleesvar- kens	135.19	26.22	17.18	6.66	5.48	528.09	1.52	0.53	5.74	5.61
Drijfmest zeugen	138.64	15.58	9.74	3.55	2.85	546.83	0.93	0.29	2.96	2.89
Drijfmest kippen	131.32	38.48	25.1	9.57	8.43	507.22	2.17	0.68	8.86	8.73

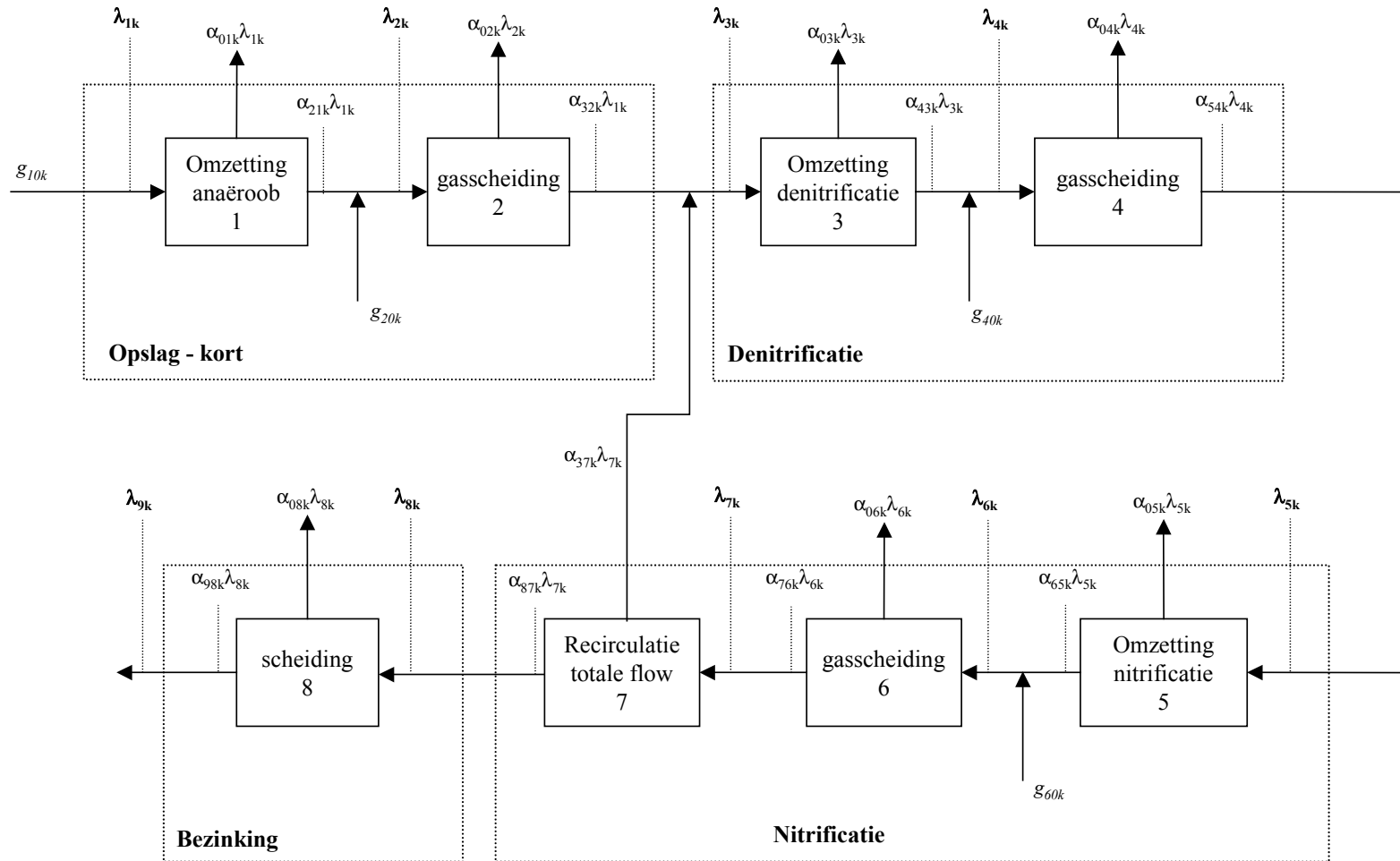
Mestsoort	Uitgaande mest (na opslag)				
	Hoeveelheid (kg)	DS (kg/ton)	OS (kg/ton)	Ntot (kg/ton)	Nmin (kg/ton)
Drijfmest runderen	454.4	148.6	97.2	8.03	4.24
Drijfmest kalveren	432.6	148.6	18.4	3.76	2.41
Drijfmest vleesvar- kens	444.7	128.3	64.1	13.23	8.82
Drijfmest zeugen	437.4	81.2	37.9	7.81	5.08
Drijfmest kippen	453.3	179.9	89.3	14.77	10.73

Mestsoort	Emissies korte opslag		Emissies lange opslag	
	CH4 (kg)	N2O (kg)	CH4 (kg)	N2O (kg)
Drijfmest runderen	0.26	0	4.75	0
Drijfmest kalveren	0.05	0	0.86	0
Drijfmest vleesvarkens	0.38	0	6.96	0
Drijfmest zeugen	0.22	0	4.04	0
Drijfmest kippen	0.77	0	9.88	0

### Nitrificatie-denitrificatie (Biovink)

Modelpresentatie voor Biovink is in twee gedeelten gesplitst. Allereerst de korte vooropslag en nitrificatie-denitrificatie gevolgd door naopslag van 6 maanden van de dikke bezonken fractie.

### Modelpresentatie nitrificatie-denitrificatie

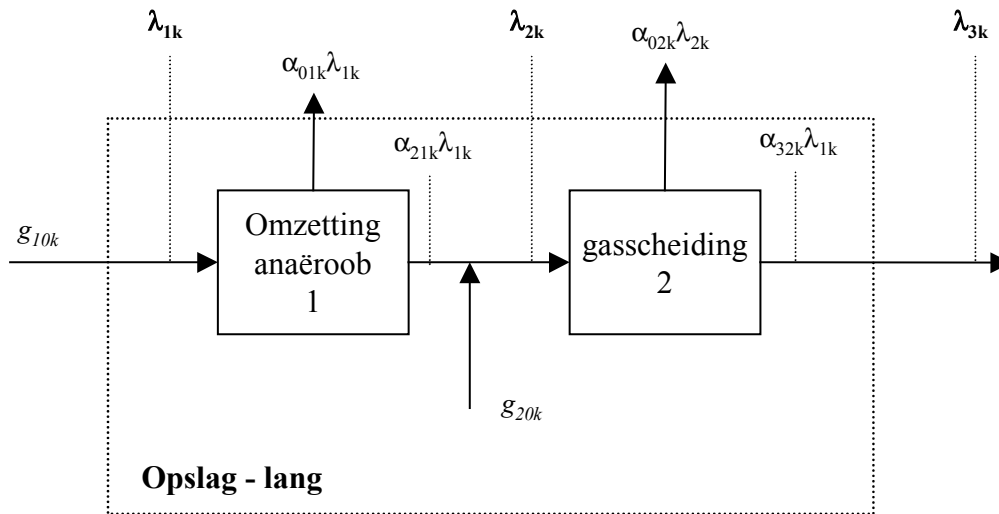


- Ingaande mest: stroom  $g_{10k}$



- Emissie uit korte opslag: fractie  $\alpha_{02k}\lambda_{2k}$
- Emissies uit denitrificatie: fractie  $\alpha_{04k}\lambda_{4k}$
- Emissies uit nitrificatie: fractie  $\alpha_{06k}\lambda_{6k}$
- Dunne fractie uit bezinker:  $\alpha_{08k}\lambda_{8k}$
- Dikke fractie uit bezinker: stroom  $\lambda_{9k}$

Modelpresentatie lange naopslag



- Ingaande mest  $g_{10k}$  bestaat uit  $\lambda_{9k}$
- Emissie uit opslag: fractie  $\alpha_{02k}\lambda_{2k}$
- Behandelde mest voor aanwending op land: stroom  $\lambda_{3k}$

Uitvoer

mestsoort	dikke fractie					dunne fractie				
	Hoeveelheid (kg)	DS (kg/ton)	OS (kg/ton)	Ntot (kg/ton)	Nmin (kg/ton)	Hoeveelheid (kg)	DS (kg/ton)	OS (kg/ton)	Ntot (kg/ton)	Nmin (kg/ton)
Drijfmest runderen	251.84	275.48	166.1	8.06	0.26	747.2	23.21	14.0	1.01	0.36
Drijfmest kalveren	213.21	82.8	16.5	3.35	0.2	786.62	5.61	1.1	0.43	0.22
Drijfmest vleesvar- kens	250.35	269.67	117.8	12.52	0.46	748.23	22.56	9.9	1.63	0.62
Drijfmest zeugen	230.69	178.34	77.4	8.21	0.27	768.49	13.38	5.8	0.92	0.32
Drijfmest kippen	271.63	354.38	149.8	10.87	0.64	725.53	33.17	14.0	1.91	0.95

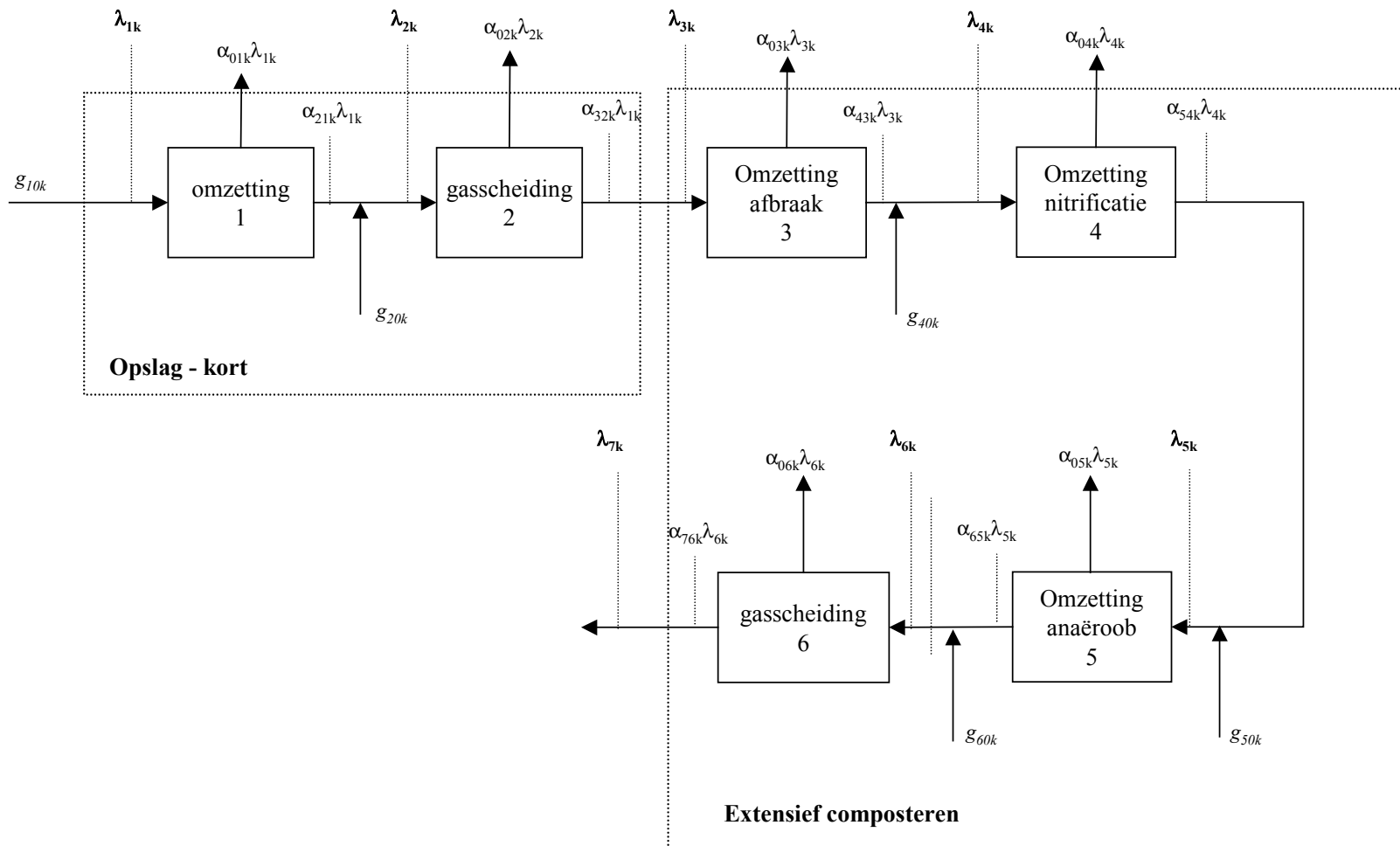
mestsoort	Emissies CH4			Emissies N2O (kg)		
	Opslag	Nitrificatie	Denitrificatie	Opslag	Nitrificatie	Denitrificatie
Drijfmest runderen	0.259	0	0	0	0.029	0.449
Drijfmest kalveren	0.047	0	0	0	0.019	0.168
Drijfmest vleesvar- kens	0.383	0	0	0	0.051	0.446
Drijfmest zeugen	0.223	0	0	0	0.027	0.238
Drijfmest kippen	0.769	0	0	0	0.076	0.667

Mestsoort	Uitgaande mest (na opslag)				
	Hoeveelheid (kg)	DS (kg/ton)	OS (kg/ton)	Ntot (kg/ton)	Nmin (kg/ton)
Drijfmest runderen	237.5	231.7	151.6	8.52	2.61
Drijfmest kalveren	210.6	71.5	30.8	3.38	1.10
Drijfmest vleesvar- kens	229.3	202.7	101.3	13.60	6.69
Drijfmest zeugen	218.5	132.4	61.8	8.63	4.23
Drijfmest kippen	229.9	237.1	91.5	12.76	8.71

mestsoort	Emissies na-opslag	
	CH4 (kg)	N2O (kg)
Drijfmest runderen	3.88	0.00
Drijfmest kalveren	0.70	0.00
Drijfmest vleesvarkens	5.68	0.00
Drijfmest zeugen	3.30	0.00
Drijfmest kippen	11.27	0.00

*Extensief composteren*  
Modelpresentatie

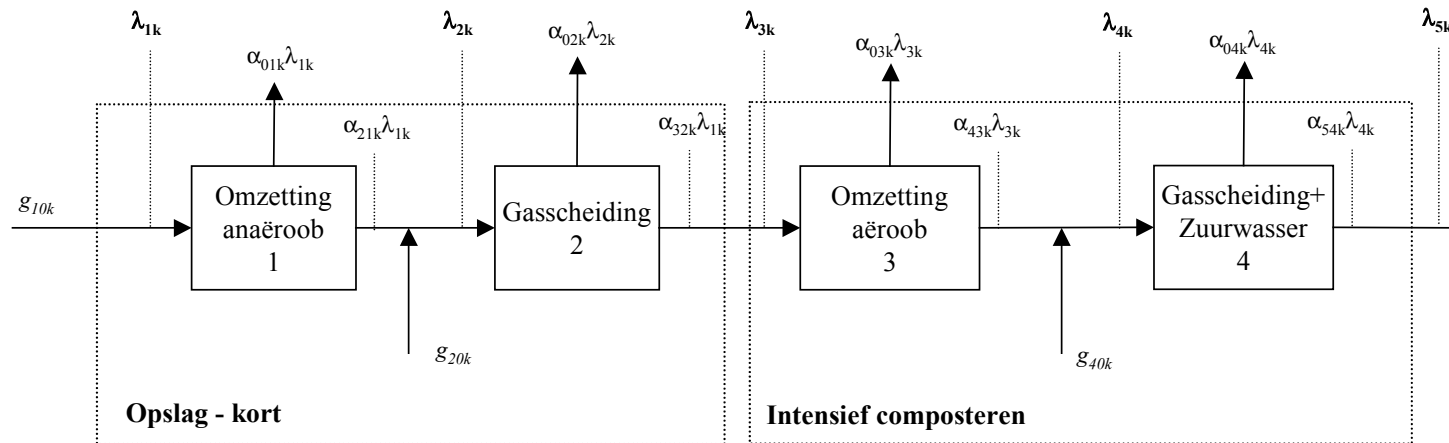




- Ingaande mest: stroom  $g_{10k}$
- Emissie uit korte opslag: fractie  $\alpha_{02k}\lambda_{2k}$
- Emissies uit compostering: fractie  $\alpha_{06k}\lambda_{6k}$
- Compost voor aanwendung: stroom  $\lambda_{7k}$

mestsoort	compost					Emissies CH4 (kg)		Emissies N2O (kg)	
	Hoeveelheid (kg)	DS (kg/ton)	OS (kg/ton)	Ntot (kg/ton)	Nmin (kg/ton)	opslag	composteren	opslag	composteren
Vaste mest kippen <50	513.11	405.8	202.29	13.46	2.85	2.701	0.257	0	1.477
Vaste mest kippen <50	519.64	666.76	337.13	20.23	3.85	4.558	0.433	0	2.013
Vaste mest vleeskuikens	482.88	589.94	376.88	21.95	4.31	4.735	0.45	0	2.092

Intensief composteren  
Modelpresentatie



- Ingaande mest: stroom  $g_{10k}$
- Emissie uit korte opslag: fractie  $\alpha_{02k}\lambda_{2k}$
- Emissies uit compostering (opvang in wasvloeistof): fractie  $\alpha_{04k}\lambda_{4k}$
- Compost voor aanwending: stroom  $\lambda_{5k}$

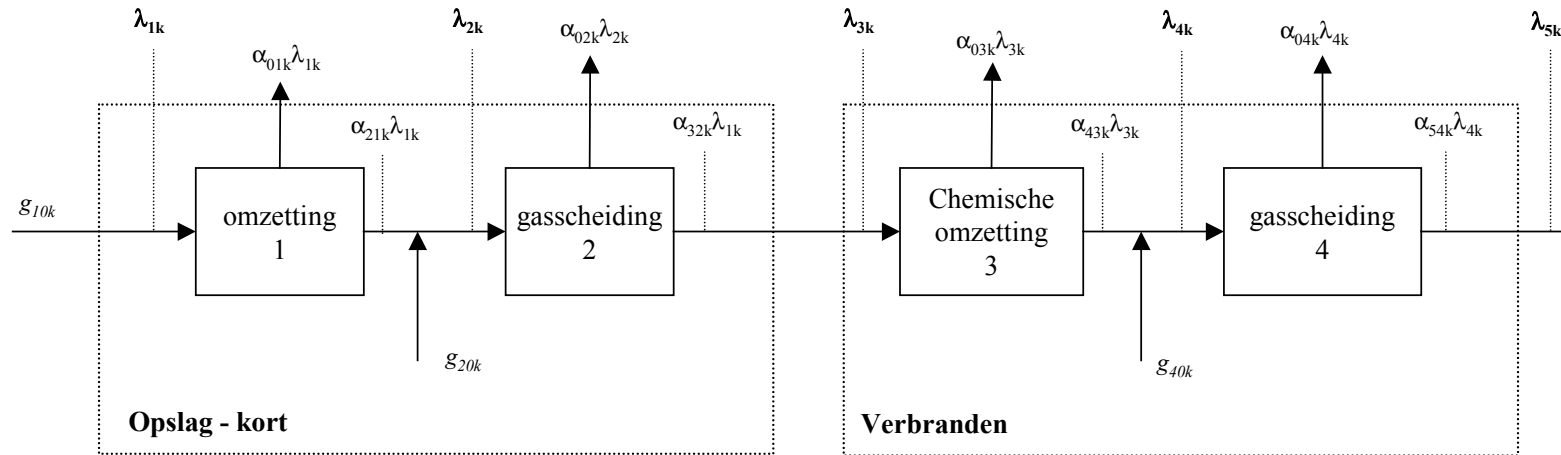
Uitvoer

mestsoort	compost					wasvloeistof		
	Hoeveelheid (kg)	DS (kg/ton)	OS (kg/ton)	Ntot (kg/ton)	Nmin (kg/ton)	Hoeveelheid (kg)	Ntot (kg/ton)	Nmin (kg/ton)
Vaste mest kippen <50	504.55	395.72	206.96	13.19	3.07	304.89	46	46
Vaste mest kippen <50	505.21	657.24	318.19	20.00	4.19	173.17	110	110
Vaste mest vleeskuikens	476.88	576.80	356.91	21.79	4.70	198.01	100	100



mestsoort	Emissies CH4 (kg)		Emissies N2O (kg)	
	Opslag	composteren	opslag	composteren
Vaste mest kippen <50	2.701	0	0	0
Vaste mest kippen <50	4.558	0	0	0
Vaste mest vleeskuikens	4.735	0	0	0

Verbranden  
Modelpresentatie



- Ingaande mest: stroom  $g_{10k}$
- Emissie uit korte opslag: fractie  $\alpha_{02k}\lambda_{2k}$
- Emissies uit verbranding: fractie  $\alpha_{04k}\lambda_{4k}$
- Asrest: stroom  $\lambda_{5k}$

Uitvoer

mestsoort	asrest					Emissies CH4 (kg)		Emissies N2O (kg)	
	Hoeveelheid (kg)	DS (kg/ton)	OS (kg/ton)	Ntot (kg/ton)	Nmin (kg/ton)	opslag	verbranden	opslag	verbranden
Vaste mest kippen <50	104.42	1000	0	0	0	2.701	0	0	0
Vaste mest kippen <50	171.29	1000	0	0	0	4.558	0	0	0
Vaste mest vleeskui- kens	102.88	1000	0	0	0	4.735	0	0	0

## **Bijlage 7**

### Overige Emissiefactoren

## Bijlage 7

### Overige Emissiefactoren

In de volgende tabel staan de overige emissiefactoren die zullen worden gebruikt bij de TEWI-analyse.

**Tabel 4-1** Overige algemene emissiefactoren

	emissiefactoren kg CO <sub>2</sub> equivalenten	Referentie
<b>transport</b>		
1 ton km regionaal transport	0,03	Dings, 2003
1 ton km lokaal transport	0,26	Dings, 2003
<b>hulpstoffen:</b>		
1 ton NH <sub>3</sub> (25%-oplossing)	430	SIMAPRO LCA Database, versie 4.0
1 ton urea	1.166	SIMAPRO LCA Database, versie 4.0
1 ton actieve kool (als 'char coal')	126	SIMAPRO LCA Database, versie 4.0
1 ton HCl	1036	SIMAPRO LCA Database, versie 4.0
1 ton NaOH (50% oplossing)	1289	SIMAPRO LCA Database, versie 4.0
1 ton FeCl <sub>3</sub> (40% oplossing)	638	SIMAPRO LCA Database, versie 4.0
1 ton H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	170.507	SIMAPRO LCA Database, versie 4.0
1 ton H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	147	SIMAPRO LCA Database, versie 4.0
1 ton zetmeel (mais)	2.758	SIMAPRO LCA Database, versie 4.0
1 kWh elektriciteitsverbruik	0.67	NOVEM 2003
1 MJ dieselverbruik	0.077	Vroonhof, 1997
1 ton CaO	1.130	SIMAPRO LCA Database, versie 4.0
<b>kunstmest:</b>		
1 ton NKP (15/12,5/6,5)	8800	SIMAPRO LCA Database, versie 4.0
<b>energieproductie vergisten+ vergassen:</b>		
1 kWh elektriciteit	0,37	
1 kWh lage temperatuur warmte	0,09	
<b>elektriciteitsproductie verbranden:</b>		
1 kWh elektriciteitsverbruik	0,67	NOVEM 2003
<b>aanwending</b>		
1 ton stikstof uit kunstmest	5.230	Kroeze 1994
1 ton stikstof uit dierlijke mest	8.184	Kroeze 1994